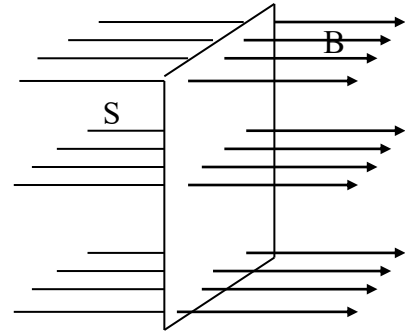


ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΗ ΕΠΑΓΩΓΗ

Το γινόμενο της έντασης B του μαγνητικού πεδίου επί το εμβαδόν S της επιφάνειας ορίζεται σαν ένα νέο φυσικό μέγεθος που ονομάζουμε **ροή** και συμβολίζεται με Φ , δηλαδή

$$\Phi = BS$$

Μονάδα μαγνητικής ροής: $1\text{Wb} = 1\text{T} \cdot \text{m}^2$



Αν η επιφάνεια S τοποθετηθεί πλάγια στις δυναμικές γραμμές του μαγνητικού πεδίου τότε ισχύει:

$$\Phi = B \cdot S \cdot \sigma\upsilon\nu\alpha$$

Εάν $\alpha = 0$ τότε $\sigma\upsilon\nu 0^\circ = 1$ και $\Phi_{\max} = B \cdot S$

Εάν $\alpha = 90^\circ$ τότε $\sigma\upsilon\nu 90^\circ = 0$ και $\Phi_{\min} = 0$

Η ολική ροή που περνά από μια κλειστή επιφάνεια είναι μηδέν.

Η μεταβολή με οποιοδήποτε τρόπο της μαγνητικής ροής που περνά από τις σπείρες ενός πηνίου προκαλεί ανάπτυξη **ηλεκτρεγερτικής δύναμης** στο πηνίο που διαρκεί όσο χρόνο διαρκεί η μεταβολή της μαγνητικής ροής.

Το φαινόμενο αυτό ονομάζουμε **επαγωγή**.

NOMΟΣ Faraday

Η ηλεκτρεγερτική δύναμη από επαγωγή που δημιουργείται σε ένα πηνίο είναι ανάλογη με το ρυθμό μεταβολής της μαγνητικής ροής $\Delta\Phi / \Delta t$ και ανάλογη με τον αριθμό N των σπείρων του πηνίου

$$E = - \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} N$$

Μονάδα στο SI: $\frac{1\text{Wb}}{\text{s}} = 1\text{V}$

1 Wb είναι η μαγνητική ροή ,η οποία όταν περνά από μια σπείρα και ελαττώνεται ομοιόμορφα ως την τιμή μηδέν μέσα σε 1s, αναπτύσσει ΗΕΔ επαγωγής ίση με 1V.

$$1\text{Wb} = 1\text{V} \cdot \text{s}$$

ΕΠΑΓΩΓΙΚΟ ΡΕΥΜΑ

Αν συνδέσουμε τις άκρες ενός πηνίου με γαλβανόμετρο παρατηρούμε ότι οποιαδήποτε μεταβολή της ροής συνοδεύεται από τη δημιουργία ρεύματος. Το ρεύμα αυτό ονομάζεται **επαγωγικό**.

KANONΑΣ ΤΟΥ Lenz

Το επαγωγικό ρεύμα έχει τέτοια φορά ώστε το μαγνητικό του πεδίο να αντιτίθεται στο αίτιο που το προκάλεσε. Ο κανόνας του Lenz είναι αποτέλεσμα **της αρχής διατήρησης της ενέργειας**.

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΕΠΑΓΩΓΙΚΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΣ

Από το νόμο του Ohm ισχύει:

$$I = \frac{E}{R} \quad (1) \quad \text{αλλά} \quad E = \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} \quad (2)$$

$$(1), (2) \quad I = \frac{\Delta\Phi}{R \cdot \Delta t}$$

NΟΜΟΣ Neumanu

Το ηλεκτρικό φορτίο που περνάει από μια διατομή είναι:

$$\left. \begin{array}{l} Q = I \cdot \Delta t \\ I = \frac{\Delta\Phi}{R \cdot \Delta t} \end{array} \right\} Q = \frac{\Delta\Phi}{R}$$

Το **ηλεκτρικό φορτίο** που μετατοπίζεται σε ορισμένη μεταβολή μαγνητικής ροής είναι **ανεξάρτητο** από το χρόνο που διαρκεί η μεταβολή αυτή.

ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΗ ΕΠΑΓΩΓΗ ΘΕΩΡΙΑ

Το φαινόμενο της εμφάνισης τάσης στα άκρα κάποιου αγωγού, εξαιτίας της μεταβολής της μαγνητικής ροής που διέρχεται από την επιφάνεια που ορίζει, ονομάζεται **ηλεκτρομαγνητική επαγωγή**.

Ο νόμος που περιγράφει το φαινόμενο, ονομάζεται **νόμος της επαγωγής** ή **νόμος του Faraday** και διατυπώνεται ως εξής:

Η ηλεκτρεγερτική δύναμη που επάγεται σ' ένα κύκλωμα είναι ίση με το ρυθμό μεταβολής της μαγνητικής ροής που διέρχεται από την επιφάνεια που ορίζει το κύκλωμα. $E_{\varepsilon\pi} = \frac{|\Delta\Phi_B|}{\Delta t}$ (1)

Αν το κύκλωμα έχει N σπείρες και $\Delta\Phi_B$ είναι η μεταβολή της μαγνητικής ροής σε κάθε σπείρα, ο νόμος της επαγωγής γράφεται:

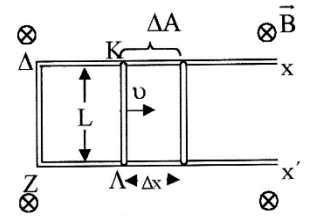
$$E_{\varepsilon\pi} = N \cdot \frac{|\Delta\Phi|}{\Delta t}$$

Αν ο ρυθμός μεταβολής της μαγνητικής ροής είναι σταθερός τότε και η $E_{\varepsilon\pi}$ θα έχει σταθερή τιμή στο χρονικό διάστημα Δt .

Ο αγωγός (πηνίο ή πλαίσιο) κατά την ηλεκτρομαγνητική επαγωγή μετατρέπεται σε ηλεκτρική πηγή. Επομένως η τάση στα άκρα του θα εξαρτάται από το ρεύμα που διαρρέει το κύκλωμα. Η σχέση (1) δίνει την Η.Ε.Δ. της πηγής, δηλαδή την τάση στα άκρα του αγωγού όταν δεν διαρρέεται από ρεύμα. Αν ο αγωγός συνδεθεί σε κλειστό κύκλωμα, η τάση στα άκρα του δεν είναι ίση με την Η.Ε.Δ. αλλά είναι μειωμένη κατά τον παράγοντα $I \cdot R$, όπου, R η αντίστασή του.

ΕΥΘΥΓΡΑΜΜΟΣ ΑΓΩΓΟΣ ΚΙΝΟΥΜΕΝΟΣ ΣΕ ΟΜΟΓΕΝΕΣ ΜΑΓΝΗΤΙΚΟ ΠΕΔΙΟ

Έστω ο αγωγός ΚΛ του σχ. 1 που κινείται. Ο αγωγός που κινείται και οι ακίνητοι αγωγοί σχηματίζουν ένα κλειστό πλαίσιο σχήματος ορθογωνίου παραλληλογράμμου με αυξανόμενο εμβαδόν Α. Σύμφωνα με το νόμο του Faraday, στο πλαίσιο θ' αναπτυχθεί Η.Ε.Δ. από επαγωγή.



$$E_{\varepsilon\pi} = \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = \frac{\Delta(BA)}{\Delta t} = \frac{B\Delta A}{\Delta t} = \frac{B \cdot L \cdot \Delta x}{\Delta t} = BvL \quad \text{άρα } \boxed{E_{\varepsilon\pi} = BvL}$$

Σχ. 1

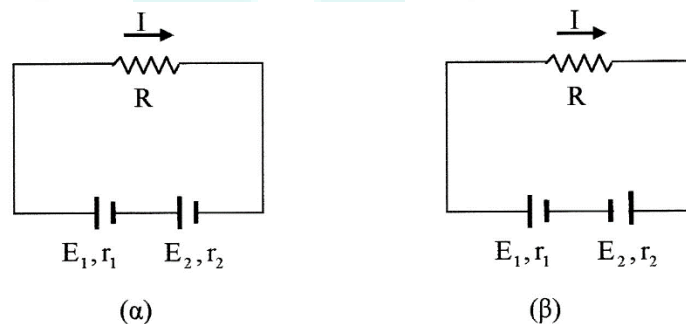
Αν ένας ευθύγραμμος αγωγός κινείται με ταχύτητα v , μέσα σε ομογενές μαγνητικό πεδίο, έτσι ώστε ο αγωγός, η ταχύτητα και το μαγνητικό πεδίο να είναι κάθετα ανά δύο μεταξύ τους, στον αγωγό αναπτύσσεται ηλεκτρεγερτική δύναμη από επαγωγή.

Αν σε ένα κύκλωμα υπάρχουν δύο πηγές, συνδεδεμένες όπως δείχνει το σχ. 2α η συνολική ηλεκτρεγερτική δύναμη στο κύκλωμα είναι:

$$E_{o\lambda} = E_1 + E_2 \quad \text{και το ρεύμα } I = \frac{E_{o\lambda}}{R_{o\lambda}} = \frac{E_1 + E_2}{R_{o\lambda}}$$

Αν οι δύο πηγές είναι συνδεδεμένες όπως στο κύκλωμα του σχ. 2β η συνολική ηλεκτρεγερτική δύναμη στο κύκλωμα είναι:

$$E_{o\lambda} = E_1 - E_2 \quad \text{και το ρεύμα } I = \frac{E_{o\lambda}}{R_{o\lambda}} = \frac{E_1 - E_2}{R_{o\lambda}}$$



Σχ. 2

Ο ΚΑΝΟΝΑΣ ΤΟΥ LENZ ΚΑΙ Η ΑΡΧΗ ΔΙΑΤΗΡΗΣΗΣ ΤΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΤΗΣ ΕΠΑΓΩΓΗΣ

Κανόνας του Lenz: “Τα επαγωγικά ρεύματα έχουν τέτοια φορά ώστε να αντιτίθενται στο αίτιο που τα προκαλεί”.

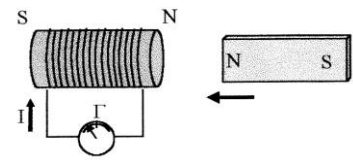
Λαμβάνοντας υπόψη τον κανόνα του Lenz ο νόμος του Faraday γράφεται: $E_{\varepsilon\pi} = -N \cdot \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$

Ο κανόνας του Lenz αποτελεί συνέπεια της αρχής διατήρησης της ενέργειας.

Πλησιάζουμε στο πηνίο του σχ. 3 το βόρειο πόλο ενός ευθύγραμμου μαγνήτη. Καθώς πλησιάζει ο μαγνήτης, η μαγνητική ροή που περνάει από τις σπείρες του πηνίου αυξάνεται και το πηνίο συμπεριφέρεται ως πηγή. Επειδή τα άκρα του είναι ενωμένα, το κύκλωμα είναι κλειστό και έτσι το πηνίο διαρρέεται από ρεύμα.

Η φορά αυτού του ρεύματος σύμφωνα με τον κανόνα του Lenz, θα είναι τέτοια ώστε να αντιτίθεται στην αιτία που το προκάλεσε, να εμποδίζει δηλαδή το βόρειο πόλο του μαγνήτη να πλησιάσει. Αυτό σημαίνει ότι η άκρη του πηνίου που είναι προς το μέρος του βόρειου πόλου του μαγνήτη που πλησιάζει θα συμπεριφέρεται ως βόρειος πόλος. Για να υπερνικηθεί η άπωση που δέχεται ο

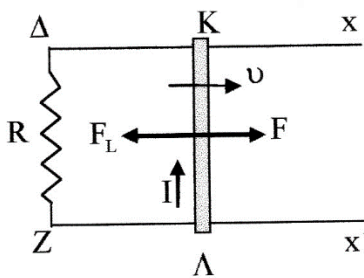
μαγνήτης από το πηνίο δαπανάται ενέργεια, που μετατρέπεται σε θερμότητα στους αγωγούς. Αν το πηνίο διαρρέεται από ρεύμα αντίθετης φοράς, απέναντι από το βόρειο πόλο του μαγνήτη θα δημιουργούσε νότιο μαγνητικό πόλο. Ο νότιος μαγνητικός πόλος θα ασκούσε ελκτική δύναμη στο μαγνήτη με αποτέλεσμα να μην απαιτείται καμία προσπάθεια για να πλησιάσει. Αυτό όμως είναι αντίθετο με την αρχή διατήρησης της ενέργειας, γιατί χωρίς καμία προσπάθεια, χωρίς να δαπανάται ενέργεια, στο πηνίο θα παραγόταν ηλεκτρική ενέργεια λόγω του φαινομένου της επαγωγής.



Σχ. 3. Ο μαγνήτης πλησιάζει στο πηνίο.

Σύμφωνα με τον κανόνα του Lenz, το ρεύμα που επάγεται στο πηνίο έχει τέτοια φορά ώστε

Η αρχή διατήρησης της ενέργειας στο φαινόμενο της επαγωγής.



σχ. 4

Έστω αγωγός ΚΛ που κινείται με σταθερή ταχύτητα v μέσα σε ομογενές μαγνητικό πεδίο, B , μένοντας σε επαφή με τους ακίνητους αγωγούς Δχ και Ζχ'. Θεωρούμε ότι η κίνηση του αγωγού γίνεται χωρίς τριβές. Για να διατηρούμε την κίνηση του αγωγού ΚΛ ισοταχή πρέπει να ασκούμε εξωτερική δύναμη F , αντίθετη της F_L (Λαπλάς) που δέχεται ο ΚΛ. Αρκεί να δείξουμε ότι χρειάστηκε να προσφέρω έργο ίσο με τη θερμότητα που παράχθηκε δηλ. $W_F = Q$.

Αλλά

$$\begin{aligned} Q &= I^2 \cdot R \cdot \Delta t \\ &= \left(\frac{E_{\text{επ}}}{R} \right)^2 \cdot R \cdot \Delta t \\ &= \frac{(BvL)^2}{R^2} \cdot R \cdot \Delta t \\ &= \frac{B^2 v^2 L^2}{R} \cdot \Delta t \quad (1) \end{aligned}$$

και

$$\begin{aligned} W_F &= F \cdot \Delta x \quad \text{επειδή } F = F_L \\ &= BIL \cdot \Delta x \\ &= B \frac{E_{\text{επ}}}{R} L \cdot \Delta x \\ &= B \frac{BvL}{R} L \cdot \Delta x \quad \text{και } \Delta x = v \cdot \Delta t \\ &= \frac{B^2 L^2 v^2}{R} v \cdot \Delta t \\ &= \frac{B^2 L^2 v^2}{R} \Delta t \quad (2) \end{aligned}$$

(1) = (2) άρα αποδείχθηκε ότι χρειάστηκε να προσφέρουμε έργο ίσο με την παραγόμενη θερμότητα.

ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ – ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ

1. Η ένταση του μαγνητικού πεδίου \vec{B} είναι διανυσματικό μέγεθος. Αν ζητείται σε άσκηση η ένταση \vec{B} σ' ένα σημείο το οποίο συμπίπτουν δύο πεδία μαγνητικά τότε η συνολική ένταση στο εν λόγω σημείο υπολογίζεται από το διανυσματικό άθροισμα των επιμέρους εντάσεων. Αν οι εντάσεις

• Είναι ομόρροπες τότε: $B_{ολ} = B_1 + B_2$

• Είναι αντίρροπες τότε: $B_{ολ} = B_1 - B_2$

• Σχηματίζουν γωνία $\varphi = 90^\circ$: $B_{ολ} = \sqrt{B_1^2 + B_2^2}$

• Σχηματίζουν γωνία $\varphi \neq 90^\circ$: $B_{ολ} = \sqrt{B_1^2 + B_2^2 + 2B_1B_2 \cdot \text{συν}\varphi}$

2. Θυμίζουμε ότι όταν αναφερόμαστε στο σωληνοειδές ασχολούμαστε μόνο με το ομογενές μαγνητικό πεδίο στο εσωτερικό του και γι' αυτό ισχύει ο τύπος $B = 4\pi \cdot K\mu \cdot I \cdot \frac{N}{\ell}$

3. Για να υπολογίσουμε τη μεταβολή της ροής ($\Delta\Phi$) πρέπει να γνωρίζουμε ποιο μέγεθος είναι υπεύθυνο γι' αυτή τη μεταβολή.

Η ροή εκφράζεται από τη σχέση $\Phi = B \cdot S \cdot \text{συν}\alpha$

i) Αν μεταβάλλεται η ένταση του μαγνητικού πεδίου, τότε:

$$\Delta\Phi = \Phi_{\text{τελ}} - \Phi_{\text{αρχ}} = B_{\text{τελ}} \cdot S \cdot \text{συν}\alpha - B_{\text{αρχ}} \cdot S \cdot \text{συν}\alpha = (B_{\text{τελ}} - B_{\text{αρχ}}) \cdot S \cdot \text{συν}\alpha$$

ii) Αν μεταβάλλεται το εμβαδόν S της επιφάνειας, τότε:

$$\Delta\Phi = \Phi_{\text{τελ}} - \Phi_{\text{αρχ}} = B \cdot S_{\text{τελ}} \cdot \text{συν}\alpha - B \cdot S_{\text{αρχ}} \cdot \text{συν}\alpha = B(S_{\text{τελ}} - S_{\text{αρχ}}) \cdot \text{συν}\alpha$$

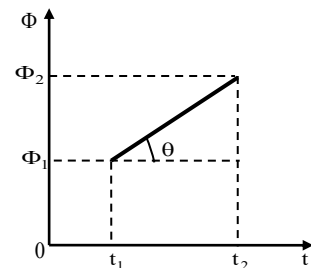
iii) Αν μεταβάλλεται η γωνία α , τότε:

$$\Delta\Phi = \Phi_{\text{τελ}} - \Phi_{\text{αρχ}} = B \cdot S \cdot \text{συν}\alpha_{\text{τελ}} - B \cdot S \cdot \text{συν}\alpha_{\text{αρχ}} = B \cdot S(\text{συν}\alpha_{\text{τελ}} - \text{συν}\alpha_{\text{αρχ}})$$

4. Από την κλίση της καμπύλης $\Phi = f(t)$ μπορούμε να υπολογίσουμε τη μέση τιμή της ΗΕΔ από επαγωγή που αναπτύσσεται σε κάποιο πλαίσιο.

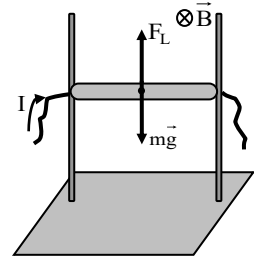
$$\text{Κλίση} = \varepsilon_{\text{φθ}} = \frac{\Phi_2 - \Phi_1}{t_2 - t_1} = \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$$

$$\text{Άρα: } E_{\varepsilon\pi} = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$$



5. Αν ένας ρευματοφόρος αγωγός ισορροπεί ή κινείται ευθύγραμμα και ομαλά μέσα σε ένα ομογενές πεδίο, σύμφωνα με τον πρώτο νόμο του Νεύτωνα,

$$\text{ισχύει: } \vec{\Sigma F} = 0 \quad \text{ή} \quad \begin{cases} \Sigma F_x = 0 \\ \Sigma F_y = 0 \end{cases}$$



6. Αν ένας ρευματοφόρος αγωγός κινείται ομαλά επιταχυνόμενος ή ομαλά επιβραδυνόμενος μέσα σε ένα ομογενές μαγνητικό πεδίο, σύμφωνα με τον Θεμελιώδη νόμο της Μηχανικής, ισχύει: $\vec{\Sigma F} = m\vec{a}$

