

Ηλεκτρομαγνητισμός



Μαγνητικά πεδία

δυναμικές γραμμές

- σε κάθε σημείο το διάνυσμα της έντασης του μαγνητικού πεδίου είναι **εφαπτόμενο**
- δεν τέμνονται
- είναι πάντοτε κλειστές

ομογενές

μαγνητικό πεδίο σωληνοειδούς απείρου μήκους

μέτρο

$$B = \mu_0 \frac{N}{L} \cdot I$$

$n = \frac{N}{L} = \frac{\text{αριθμός σπειρών}}{\text{μήκους σωληνοειδούς}}$

νόμος του Ampere

$$\sum B \Delta l \cos \theta = \mu_0 N I$$

στο εσωτερικό του σωληνοειδούς το μαγνητικό πεδίο είναι ομογενές

κοντά στα άκρα του σωληνοειδούς $B_1 = B/2$

μαγνητική διαπερατότητα ενός υλικού

σιδηρομαγνητικά	$\mu \gg 1$	Fe, Ni, Co
παραμαγνητικά	$\mu > 1$	Al, Cr
διαμαγνητικά	$\mu < 1$	C, Cu

όπου B' η ένταση του μαγνητικού πεδίου με την είσοδο του υλικού και B η αρχική τιμή

μήκος του σωληνοειδούς $L = N \cdot \delta$ όπου δ η διάμετρος του σύρματος θεωρώντας το πάχος της μόνωσης αμελητέο και τις σπείρες κολλημένες

μήκος σύρματος σωληνοειδούς $l = N \cdot \pi \cdot \Delta$ όπου Δ η διάμετρος του σωληνοειδούς

Νόμος των Biot και Savart

- ✓ πειραματικός νόμος
- ✓ οποιοσδήποτε αγωγός τυχαίου σχήματος διαρρέεται από ρεύμα I δημιουργεί μαγνητικό πεδίο
- ✓ χωρίζουμε τον αγωγό σε στοιχειώδη τμήματα Δl και υπολογίζουμε τις στοιχειώδεις εντάσεις:

μέτρο

$$\Delta B = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{I \cdot \Delta l}{r^2} \eta \mu \phi$$

$k_\mu = \frac{\mu_0}{4\pi}$

αθροίζουμε όλα τα στοιχειώδη διανύσματα: $\vec{B} = \sum \Delta \vec{B}$

Νόμος του Ampere

- ✓ ισχύει μόνο για σταθερά ρεύματα και σταθερά μαγνητικά πεδία
- ✓ χωρίζουμε μία κλειστή διαδρομή (βρόχος) σε στοιχειώδη τμήματα Δl και υπολογίζουμε

$$\sum B \Delta l \cos \theta = \mu_0 (I_1 - I_2 + I_3)$$

η φορά που αντιστοιχεί σε θετικό ρεύμα ορίζεται από τον κανόνα του δεξιού χεριού

Το B οφείλεται τόσο στα ρεύματα που περικλείει ο βρόχος όσο και σε ρεύματα που βρίσκονται έξω από αυτόν.

μας διευκολύνει να υπολογίσουμε το B σε μαγνητικά πεδία που εμφανίζουν συμμετρία.

ένταση μαγνητικού πεδίου ευθύγραμμου ρευματοφόρου αγωγού

μέτρο

$$B = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{2 \cdot I}{r}$$

κάτωψη

ο αγωγός θεωρείται απείρου μήκους όταν η απόσταση r είναι πολύ μικρή σε σχέση με το μήκος του

νόμος του Ampere

$$B \cdot 2\pi r = \mu_0 \cdot I$$

ένταση μαγνητικού πεδίου κυκλικού ρευματοφόρου αγωγού

μέτρο

$$B = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{2\pi \cdot I}{r}$$

κάτωψη

νόμος των Biot και Savart

$$B = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{I \cdot \sum \Delta l}{r^2} \cdot \eta \mu 90^\circ = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{I \cdot 2\pi r}{r^2}$$

Για N ομόκεντρα δακτυλίστια

$$B = N \cdot \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{2\pi \cdot I}{r}$$

Δύναμη Laplace

σε ευθύγραμμο ρευματοφόρο αγωγό

$$F_L = B \cdot I \cdot l \cdot \eta \mu \phi$$

$F_L = B_K \cdot I \cdot l$ $F_L = B \cdot I \cdot l$ $F_L = 0$

Η δύναμη Laplace είναι πάντα κάθετη στο επίπεδο που σχηματίζει ο αγωγός με τις δυναμικές γραμμές

$\Gamma = 1 \frac{N}{A \cdot m}$ Μονάδα μέτρησης έντασης μαγν. πεδίου ή αλλιώς μαγνητικής επαγωγής στο S.I

Δύο παράλληλοι ρευματοφόροι αγωγοί μήκους l που διαρρέονται από ρεύματα **ίδιες φορές έλκονται**, ενώ αντίθετες φορές απωθούνται

$$F = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{2 I_1 \cdot I_2 \cdot l}{r}$$

Μαγνητική ροή

$\Phi = B \cdot A \cdot \cos \alpha$

όπου α η γωνία που σχηματίζει η κάθετος n στην επιφάνεια με τις **δυναμικές γραμμές**

εκφράζει το **πλήθος** των μαγνητικών γραμμών που περνούν από μία επιφάνεια εμβαδού S ή A

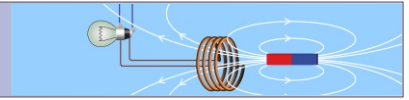
μονάδα μέτρηση στο S.I το 1 Weber

όταν η επιφάνεια εμβαδού A είναι τοποθετημένη **παράλληλα** στις δυναμικές γραμμές $\alpha = 90^\circ$ και $\Phi = 0$

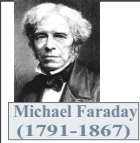
όταν η επιφάνεια εμβαδού A είναι τοποθετημένη **κάθετα** στις δυναμικές γραμμές $\alpha = 0^\circ$ και $\Phi = BA$

$\Phi = B \cdot A$

Ηλεκτρομαγνητισμός



Επαγωγή



ο νόμος του Faraday

$$E_{\text{επ}} = -N \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$$



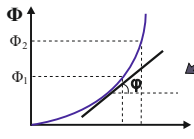
$$1W = 1 \frac{Wb}{s}$$

✓ μέση ηλεκτρεγερτική δύναμη από επαγωγή ΗΕΔ που αναπτύσσεται στα άκρα ενός πλαισίου

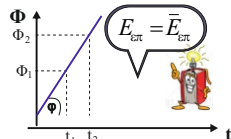
$$|E_{\text{επ}}| = \left| \frac{\Phi_2 - \Phi_1}{t_2 - t_1} \right|$$

✓ στιγμιαία ΗΕΔ που αναπτύσσεται στα άκρα ενός πλαισίου: **ρυθμός μεταβολής της ροής**

$$|E_{\text{επ}}| = \left| \frac{d\Phi}{dt} \right|$$

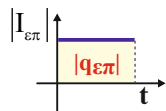
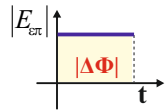


$$E_{\text{επ}} = -\epsilon \frac{d\Phi}{dt}$$



$$E_{\text{επ}} = -\epsilon \frac{d\Phi}{dt}$$

✓ σε **κλειστό κύκλωμα** που συμβαίνει μεταβολή της ροής δημιουργείται επαγωγικό ρεύμα



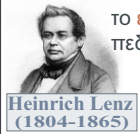
$$I_{\text{επ}} = \frac{E_{\text{επ}}}{R}$$

✓ το **επαγωγικό φορτίο** που μετατοπίζεται για ορισμένη μεταβολή της μαγνητικής ροής είναι **ανεξάρτητο από το χρόνο** που διαρκεί η μεταβολή

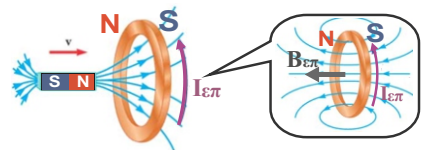
Νόμος του Neumann

$$q_{\text{επ}} = |I_{\text{επ}}| \cdot \Delta t = \left| \frac{E_{\text{επ}}}{R} \right| \cdot \Delta t = N \cdot \left| \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} \right| \cdot \frac{1}{R} \cdot \Delta t = N \cdot \frac{|\Delta \Phi|}{R}$$

κανόνας του Lenz



το **επαγωγικό ρεύμα** έχει τέτοια φορά ώστε το μαγνητικό του πεδίο να **αντιτίθεται** στο αίτιο που το προκάλεσε



επαγόμενο μαγν. πεδίο

✓ διατήρηση ενέργειας

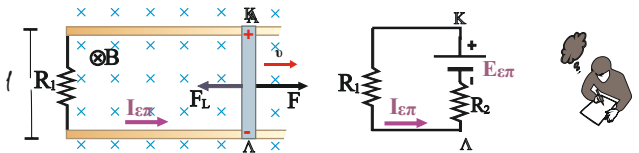
✓ όταν το πλαίσιο είναι "κομμένο" και μεταβάλλεται η ροή Φ που περνάει μέσα απ' αυτό δημιουργείται Εεπ όχι όμως και Ιεπ.

✓ όταν το μέτρο της έντασης B του μαγνητικού πεδίου μέσα στο οποίο βρίσκεται το πλαίσιο **μειώνεται**: $B_{\text{ext}} \uparrow \uparrow B$ ενώ όταν **αυξάνεται**: $B_{\text{ext}} \uparrow \downarrow B$

Κίνηση ευθύγραμμου αγωγού σε ΟΜΠ

Κινούμενος ευθύγρ. αγωγός κάθετα στις δυναμ. γραμμές

$$\text{νόμος του Faraday} \quad |E_{\text{επ}}| = \left| \frac{d\Phi}{dt} \right| = B \cdot \left| \frac{dA}{dt} \right| = B \cdot L \cdot \frac{dx}{dt} = B \cdot L \cdot v$$



✓ Για την **πολικότητα του Εεπ** εφαρμόζω τον κανόνα των τριών δακτύλων του δεξιού χεριού: τοποθετώ τον αντίχειρα αντίθετα από τη φορά της κίνησης, τότε το μεσαίο δάκτυλο δείχνει το άκρο της ράβδου, όπου λόγω των δυνάμεων Lorentz έχουν συσσωρευτεί τα ηλεκτρόνια.

✓ **κλειστό κύκλωμα**

$$|I_{\text{επ}}| = \frac{|E_{\text{επ}}|}{R_{\text{ολ}}}$$

$$V_{\text{ΚΛ}} = |E_{\text{επ}}| - |I_{\text{επ}}| \cdot R_2$$

$$V_{\text{ΚΛ}} = |I_{\text{επ}}| \cdot R_1$$

✓ κίνηση αγωγού χωρίς τριβές

✓ Αν το κύκλωμα έχει μόνο αντιστάτες

$$\text{Θ.Μ.Κ.Ε} \quad \Delta K = W_{\text{ολ}} = W_F - W_{F_L}$$

$$|W_{F_L}| = Q_J$$

✓ Αν κατά την κίνηση του αγωγού υπάρχουν τριβές τότε:

$$Q_{\text{ολ}} = Q_J + |W_T|$$

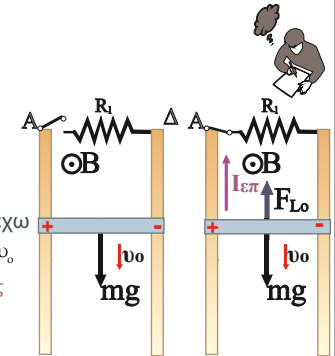
✓ οριακή ταχύτητα του αγωγού

$$v = v_{\text{op}} \quad \text{όταν} \quad \sum F = 0$$



Αν ο αγωγός έχει v_0 προσέχω αν $\sum F_{\text{αγρ}} \uparrow \uparrow v_0$ ή $\sum F_{\text{αγρ}} \uparrow \downarrow v_0$

για να προσδιορίσω το είδος της κίνησης



✓ Αν ο αγωγός κινείται **παράλληλα** στις δυναμικές γραμμές τότε $|E_{\text{επ}}| = 0$

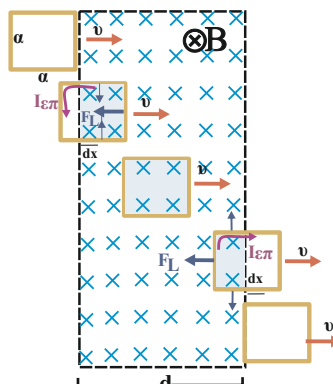
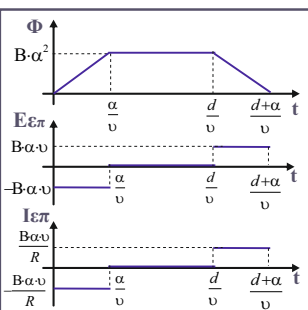
είσοδος - έξοδος πλαισίου από Ο.Μ.Π



μεταβάλλεται το εμβαδόν

$$|E_{\text{επ}}| = \left| \frac{d\Phi}{dt} \right| = B \cdot \left| \frac{dA}{dt} \right| = B \cdot \alpha \cdot \frac{dx}{dt} = B \cdot \alpha \cdot v$$

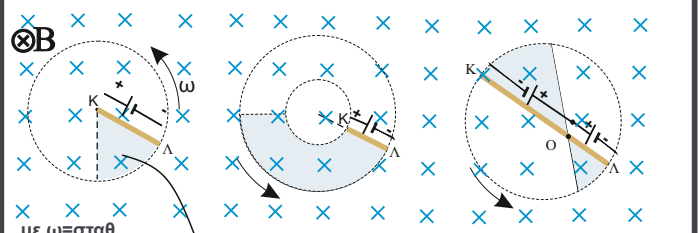
με $v = \text{σταθ.}$



✓ Στη χάραξη της $E_{\text{επ}} = f(t)$ μας ενδιαφέρει η αλγεβρική τιμή της επαγωγικής τάσης

✓ Για να κινείται το πλαίσιο με $v = \text{σταθ.}$ πρέπει: $F_{\text{εξ}} = F_L$

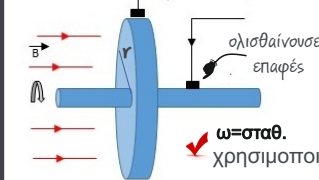
Στρεφόμενος αγωγός



με $\omega = \text{σταθ.}$

$$|E_{\text{επ}}| = \left| \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} \right| = B \cdot \frac{\Delta A}{\Delta t} = B \cdot \frac{\pi \cdot l^2}{T} = \frac{1}{2} \cdot B \cdot \omega \cdot l^2$$

δίσκος του Faraday

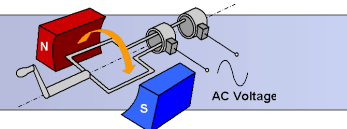


$$|E_{\text{επ}}| = \frac{1}{2} \cdot B \cdot \omega \cdot r^2$$

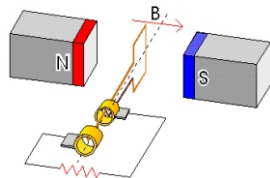
$\omega = \text{σταθ.}$

✓ χρησιμοποιείται ως πηγή συνεχούς τάσης

Ηλεκτρομαγνητισμός

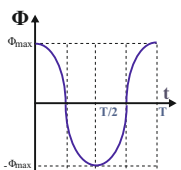


Αρμονικά εναλλασσόμενη τάση



εμφανίζεται στις άκρες ενός πλαισίου που περιστρέφεται με $\omega = \text{σταθ}$ μέσα σε Ο.Μ.Π γύρω από άξονα κάθετο στις δυναμικές γραμμές

Αν για $t=0$ το πλαίσιο είναι **κάθετο** στις δυναμικές γραμμές



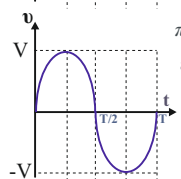
$$\Phi = BA \cos \omega t$$

$$E_{\text{επ}} = -N \cdot \frac{d\Phi}{dt} = N\omega BA \cdot \eta \mu \omega t$$

που συνήθως γράφεται:

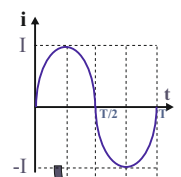
εξίσωση της εναλλασσόμενης τάσης

$$v = V \eta \mu \omega t \quad \text{με} \quad V = N\omega BA \quad \text{και} \quad \omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T}$$



εξίσωση της στιγμιαίας έντασης

$$i = I \eta \mu \omega t$$



$$I_{\text{επ}} = \frac{I}{\sqrt{2}} \quad V_{\text{επ}} = \frac{V}{\sqrt{2}}$$

ενεργό ένταση ονομάζουμε την ένταση ενός συνεχούς ρεύματος το οποίο προκαλεί το **ίδιο θερμικό αποτέλεσμα** με το εναλλασσόμενο ρεύμα όταν διαρρέει τον αντιστάτη στον ίδιο χρόνο

Νόμος του Ohm

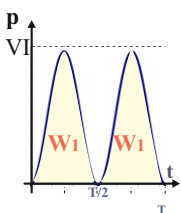
$$i = \frac{v}{R}$$

ή

$$I = \frac{V}{R}$$

ή

$$I_{\text{επ}} = \frac{V_{\text{επ}}}{R}$$



ισχύς

$$p = v \cdot i = V \cdot I \cdot \eta \mu^2 \omega t$$

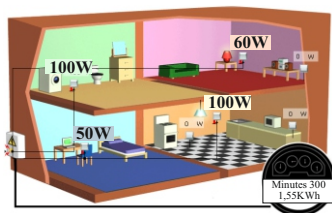
$$\text{Μέση ισχύς} \quad \bar{P} = \frac{W}{T}$$

$$\bar{P} = \frac{P_{\text{max}}}{2}$$

$$\bar{P} = V_{\text{επ}} \cdot I_{\text{επ}} = I_{\text{επ}}^2 \cdot R = \frac{V_{\text{επ}}^2}{R}$$

Θερμότητα Joule

$$Q = I_{\text{επ}}^2 \cdot R \cdot t$$



✓ Για να λειτουργεί κανονικά μια συσκευή πρέπει

$$I_{\text{κ}} = I_{\text{επ}}$$

✓ Στην Ελλάδα στα δίκτυα των πόλεων $f=50\text{Hz}$

✓ Τα όργανα για τη μέτρηση εναλλασσόμενης τάσης δείχνουν ενεργές τιμές

✓ Εναλλασσόμενη τάση: μεταβάλλεται **περιοδικά** η **πολικότητα** της

✓ Η συχνότητα με την οποία μεταβάλλεται η στιγμιαία ισχύς είναι $2f$

Αυτεπαγωγή

ο νόμος της αυτεπαγωγής

$$E_{\text{αυτ}} = -L \frac{di}{dt}$$

όπου L συντελεστής αυτεπαγωγής και $\frac{di}{dt}$ ρυθμός μεταβολής της έντασης του ρεύματος.

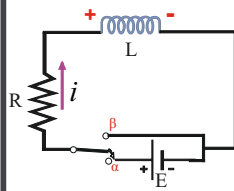
ειδική περίπτωση επαγωγής

$$E_{\text{αυτ}} = E_{\text{επ}} = -N \frac{d\Phi}{dt} = -N \frac{dB}{dt} \cdot A = -N \frac{d(\mu_0 n i)}{dt} \cdot A = -N \mu_0 n \cdot A \frac{di}{dt} = -L \frac{di}{dt}$$

Ενέργεια του μαγνητικού πεδίου του πηνίου

$$U_B = \frac{1}{2} L \cdot i^2$$

κλείσιμο του διακόπτη



✓ (2ος κανόνας του Kirchhoff)

$$E - |E_{\text{αυτ}}| - iR = 0 \Rightarrow$$

$$i = \frac{E - |E_{\text{αυτ}}|}{R}$$

✓ Ρυθμός μεταβολής της ενέργειας του μαγνητικού πεδίου του πηνίου

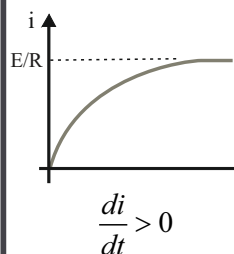
$$P_L = \frac{dU_B}{dt} = |E_{\text{αυτ}}| \cdot i$$

✓ Ρυθμός παραγωγής θερμότητας στον αντιστάτη R

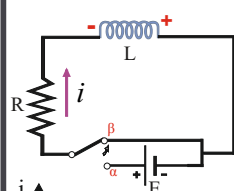
$$P_R = i^2 R$$

✓ Ρυθμός παραροχής ενέργειας στο κύκλωμα

$$P_{\text{πηγ}} = E \cdot i$$



άνοιγμα του διακόπτη



✓ (2ος κανόνας του Kirchhoff)

$$|E_{\text{αυτ}}| - iR = 0 \Rightarrow$$

$$i = \frac{|E_{\text{αυτ}}|}{R}$$

✓ Ρυθμός μεταβολής της ενέργειας του μαγνητικού πεδίου του πηνίου

$$P_L = \frac{dU_B}{dt} = -|E_{\text{αυτ}}| \cdot i$$

✓ Ρυθμός παραγωγής θερμότητας στον αντιστάτη R

$$P_R = |P_L| = i^2 R$$

✓ Θερμότητα στον αντιστάτη

$$Q_J = |\Delta U_B|$$

όπου ΔU_B μεταβολή της ενέργειας του μαγνητικού πεδίου του πηνίου

