Αμοιβαία Επαγωγή - Αυτεπαγωγή

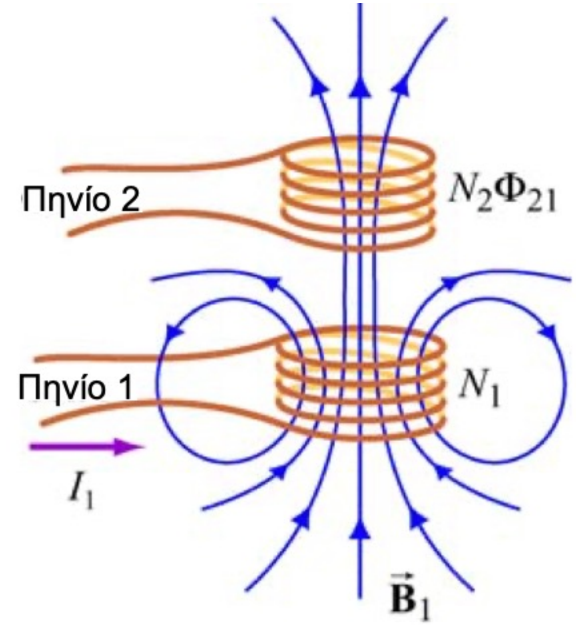
Αμοιβαία Επαγωγή

Θεωρούμε δύο πηνία που είναι τοποθετημένα το ένα κοντά στο άλλο.

Το πηνίο 1 έχει N_1 σπείρες και διαρρέεται από ρεύμα I_1 το οποίο δημιουργεί ένα μαγνητικό πεδίο $\vec{B}_1$.

Εφόσον τα δύο πηνία είναι κοντά το ένα στο άλλο, κάποιες από τις μαγνητικές γραμμές από το πεδίο του πηνίου 1 θα περάσουν και από το δεύτερο πηνίο.

Έστω Φ_{21} η μαγνητική ροή που περνά από μια σπείρα του πηνίου 2 εξαιτίας του ρεύματος I_1 .



Αν το ρεύμα I_1 μεταβάλλεται με τον χρόνο, τότε μια ΗΕΔ θα επαχθεί στο πηνίο 2:

$$\mathcal{E}_{21} = -N_2 \frac{d\Phi_{21}}{dt} = -\frac{d}{dt} \iint_{\pi\eta\nu\acute{\iota}o\ 2} \vec{B}_1 \cdot d\vec{A}_2$$

Ο ρυθμός μεταβολής της μαγνητικής ροής Φ_{21} στο πηνίο 2, είναι ανάλογος της μεταβολής του ρεύματος στο πηνίο 1:

$N_2 \frac{d\Phi_{21}}{dt} = \mathrm{M}_{21} \frac{dI_1}{dt}$ η σταθερά αναλογίας $M_{21} = \frac{N_2\Phi_{21}}{I_1}$ καλείται η αμοιβαία επαγωγή

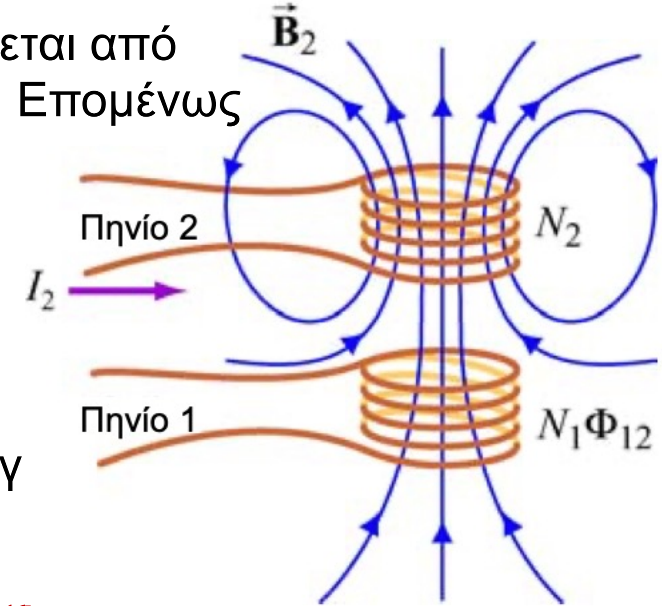
Μονάδα μέτρησης της επαγωγής στο SI είναι το **Henry (H)** [1H = 1 Tm^2/A]

Αμοιβαία Επαγωγή

Η σταθερά της αμοιβαίας επαγωγής εξαρτάται όπως θα δούμε παρακάτω από τις γεωμετρικές ιδιότητες των δύο πηνίων (ακτίνα σπειρών, αριθμός σπειρών)

Θα μπορούσαμε να υποθέσουμε ότι το πηνίο 2 διαρρέεται από ρεύμα I_2 και αυτό το ρεύμα μεταβάλλεται με τον χρόνο. Επομένως επάγει ΗΕΔ στο πηνίο 1:

$$\mathcal{E}_{12} = -N_1 \frac{d\Phi_{12}}{dt} = -\frac{d}{dt} \iint_{\pi\eta\nu\acute{\iota}o\ 1} \vec{B}_2 \cdot d\vec{A}_1$$



και ρεύμα επάγεται στο πηνίο 1:

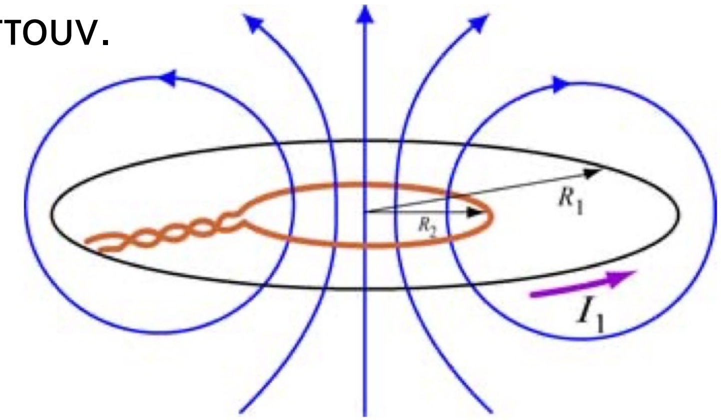
Η αλλαγή στη μαγνητική ροή του πηνίου 1 είναι ανάλογη της αλλαγής τους ρεύματος που διαρρέει το πηνίο 2

$$N_1 \frac{d\Phi_{12}}{dt} = \mathrm{M}_{12} \frac{dI_2}{dt}$$ η σταθερά αναλογίας $M_{12} = \frac{N_1\Phi_{12}}{I_2}$ καλείται αμοιβαία επαγωγή

Οι δύο σταθερές αποδεικνύεται ότι είναι ίσες μεταξύ τους και άρα $M_{12} = M_{21} = M$

Παράδειγμα: Αμοιβαία επαγωγή μεταξύ δύο ομοεπίπεδων και ομόκεντρων βρόχων

Έστω δύο κυκλικοί βρόχοι αποτελούμενοι από μια σπείρα ο καθένας, ακτίνων $R_2 \ll R_1$ βρίσκονται στο ίδιο επίπεδο και τα κέντρα τους συμπίπτουν. Θα υπολογίσουμε την αμοιβαία επαγωγή τους.



Από τις εφαρμογές του νόμου Biot-Savart, είχαμε υπολογίσει το μαγνητικό πεδίο ενός κυκλικού αγωγού ακτίνας *R,* που διαρρέεται από ρεύμα *I,* σε σημεία του άξονα που περνά από το κέντρο του αγωγού και είναι κάθετος στο επίπεδο του και είχαμε βρει:

$$B = \frac{\mu_0 I R^2}{2(R^2+z^2)^{3/2}}$$ όπου z η απόσταση του σημείου από το επίπεδο του αγωγού

Για $z = 0$ βρίσκουμε το πεδίο στο κέντρο του βρόχου: $B_1 = \frac{\mu_0 I_1 R_1^2}{2R_1^3} \Rightarrow B_1 = \frac{\mu_0 I_1}{2R_1}$

Εφόσον $R_2 \ll R_1$, προσεγγίζουμε το μαγνητικό πεδίο σε ολόκληρο τον εσωτερικό βρόχο με B_1 και επομένως η μαγνητική ροή στο εσωτερικό του εσωτερικού βρόχου είναι:

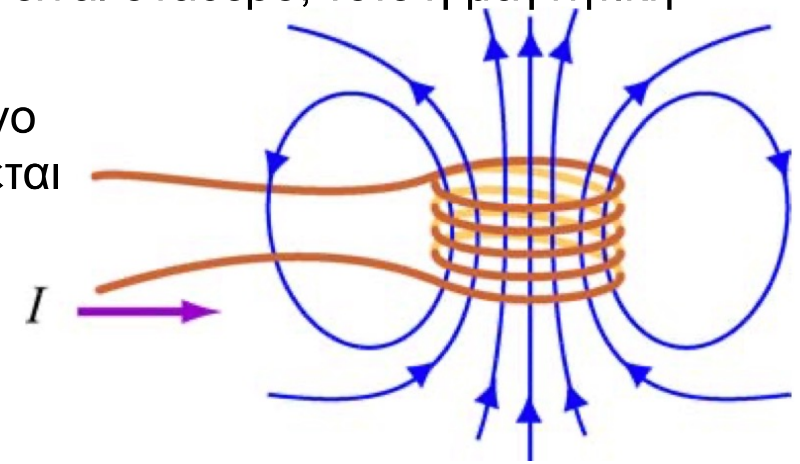
$$\Phi_{21} = B_1 A_2 = \frac{\mu_0 I_1}{2R_1}\pi R_2^2 \Rightarrow \Phi_{21} = \frac{\mu_0 \pi I_1 R_2^2}{2R_1}$$

Η αμοιβαία επαγωγή δίνεται από τη σχέση: $\frac{d\Phi_{21}}{dt} = M_{12}\frac{dI_1}{dt} \Rightarrow M_{12} = M = \frac{\Phi_{21}}{I_1}$

άρα: $M = \frac{\mu_0 \pi \mathrm{I}_1 R_2^2}{2R_1 I_1} \Rightarrow M = \frac{\mu_0 \pi R_2^2}{2R_1}$ Η αμοιβαία επαγωγή εξαρτάται μόνο από γεωμετρικούς παράγοντες και όχι από το ρεύμα

Αυτεπαγωγή

Θεωρούμε και πάλι ένα πηνίο το οποίο διαρρέεται από ρεύμα ***I*** με φορά αντίθετη της φοράς των δεικτών του ρολογιού. Αν το ρεύμα είναι σταθερό, τότε η μαγνητική ροή που διαπερνά το πηνίο παραμένει σταθερή.



Υποθέτουμε ότι το ρεύμα μεταβάλλεται με το χρόνο και άρα σύμφωνα με τον νόμο του Faraday επάγεται ΗΕΔ η οποία αντιτίθεται στην αλλαγή της ροής.

Το ρεύμα που επάγεται έχει φορά αντίθετη με την αλλαγή του ρεύματος που προκαλεί την μεταβολή της μαγνητικής ροής. Συγκεκριμένα αν:

- $dI/dt > 0$ τότε το επαγόμενο ρεύμα έχει τη φορά των δεικτών του ρολογιού
- $dI/dt < 0$ τότε το επαγόμενο ρεύμα έχει φορά αντίθετη της φοράς των δεικτών του ρολογιού

Η ιδιότητα του βρόχου σύμφωνα με την οποία το ίδιο μαγνητικό πεδίο του βρόχου αντιτίθεται σε οποιαδήποτε αλλαγή τους ρεύματος που το διαρρέει ονομάζεται αυτεπαγωγή και η ΗΕΔ που εμφανίζεται ονομάζεται τάση αυτεπαγωγής, $\mathcal{E}_L$

Η ιδιότητα αυτή εμφανίζεται σε όλα τα πηνία που διαρρέονται από ρεύμα.

Αυτεπαγωγή

Μαθηματικά, η τάση αυτεπαγωγής μπορεί να γραφεί ως:

$$\mathcal{E}_L = -N\frac{d\Phi_m}{dt} = -N\frac{d}{dt}\iint_{\pi\eta\nu\acute{\iota}o} \vec{B}\cdot d\vec{A}$$

και σχετίζεται με τον συντελεστή αυτεπαγωγή *L*: $\mathcal{E}_L = -L\frac{dI}{dt}$

$$\Rightarrow L = N\frac{\Phi_m}{I}$$

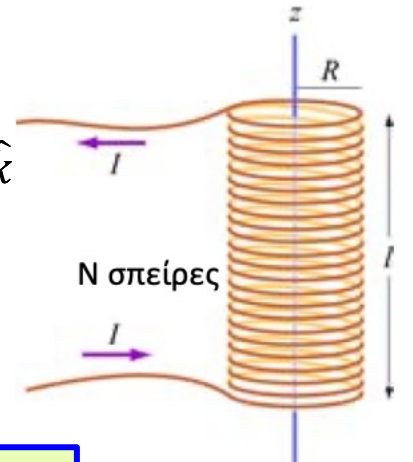
Ο συντελεστής αυτεπαγωγής *L* αποτελεί ιδιότητα του πηνίου και δείχνει την αντίσταση ενός πηνίου σε αλλαγές του ρεύματος. Μεγαλύτερος ο συντελεστής *L* μικρότερος ο ρυθμός μεταβολής του ρεύματος.

Ο συντελεστής αυτεπαγωγής *L* εξαρτάται:

- Τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του πηνίου
- Τις φυσικές ιδιότητες του κυκλώματος, όπως για παράδειγμα οι μαγνητικές ιδιότητες του μέσου και η εγγύτητα σε άλλα κυκλώματα

Παράδειγμα: Συντελεστής αυτεπαγωγής πηνίου

Θα υπολογίσουμε τον συντελεστή αυτεπαγωγής ενός πηνίου που αποτελείται από N σπείρες ακτίνας R, έχει μήκος l, διαρρέεται από ρεύμα I



Από τον νόμο του Ampere, έχουμε ότι το μαγνητικό πεδίο στο εσωτερικό του πηνίου δίνεται από την σχέση: $\vec{B} = \frac{\mu_0 N I}{l}\hat{k}$

Η μαγνητική ροή που διαπερνά κάθε σπείρα είναι: $\Phi_m = \frac{\mu_0 N I}{l}\pi R^2$

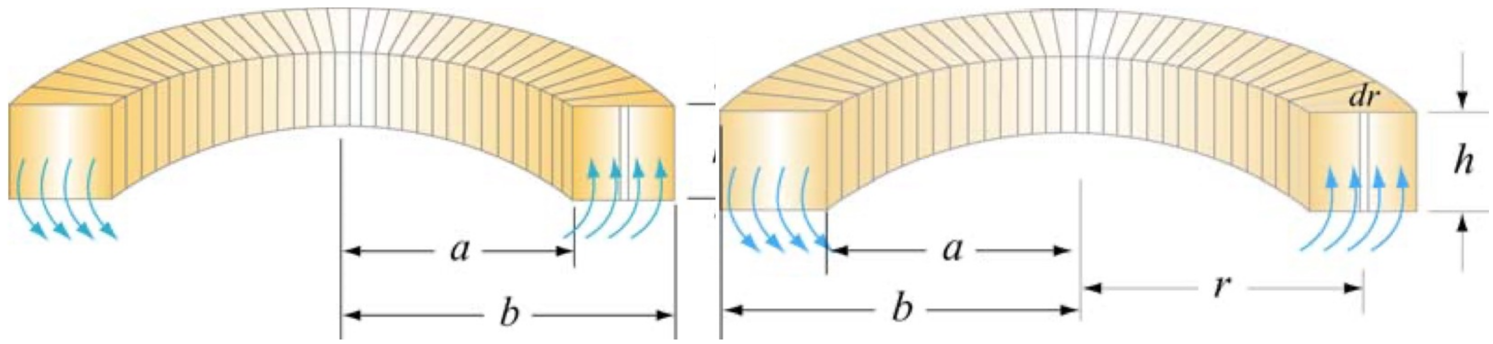
Επομένως, ο συντελεστής αυτεπαγωγής θα είναι:

$$L = \frac{N\Phi_m}{I} = N\frac{\mu_0 N I}{l I}\pi R^2 \Rightarrow L = \frac{N\Phi_m}{I} = \frac{\mu_0 \pi N^2}{l}R^2 \Rightarrow \boxed{L = \mu_0 \pi n^2 l R^2}$$

Ο συντελεστής αυτεπαγωγής εξαρτάται από όλους τους γεωμετρικούς παράγοντες και είναι ανεξάρτητος του ρεύματος που διαρρέει το πηνίο.

Παράδειγμα: Συντελεστής αυτεπαγωγής τοροειδούς

Θα υπολογίσουμε τον συντελεστή αυτεπαγωγής ενός τοροειδούς πηνίου που αποτελείται από N σπείρες, έχει το σχήμα ορθογωνίου, εσωτερική ακτίνα α, εξωτερική ακτίνα b και ύψος σπείρας h.



Σύμφωνα με τον νόμο του Ampere, το μαγνητικό πεδίο στο εσωτερικό του τοροειδούς δίνεται από τη σχέση:

$$\oint \vec{B}\cdot d\vec{s} = \oint B\,ds = B\oint ds = B2\pi r = \mu_0 NI \Rightarrow B = \frac{\mu_0 NI}{2\pi r}$$

Η μαγνητική ροή που περνά μέσω μιας σπείρας είναι: $\Phi_m = \iint \vec{B}\cdot d\vec{A}$ όπου $d\vec{A} = hdr$

$$\Rightarrow \Phi_m = \int_a^b \frac{\mu_0 NI}{2\pi r} hdr \Rightarrow \Phi_m = \frac{\mu_0 NI}{2\pi} hln\left(\frac{b}{a}\right) \Rightarrow \Phi_m^{o\lambda} = N\Phi_m = \frac{\mu_0 N^2 I}{2\pi} hln\left(\frac{b}{a}\right)$$

Παράδειγμα: Συντελεστής αυτεπαγωγής τοροειδούς

Επομένως ο συντελεστής αυτεπαγωγής είναι: $L = \frac{\Phi_m^{ολ.}}{I} = \frac{\mu_0 N^2 h}{2\pi} ln\left(\frac{b}{a}\right)$

Όπως και στις προηγούμενες περιπτώσεις, ο συντελεστής αυτεπαγωγής είναι ανεξάρτητος του ρεύματος και εξαρτάται από γεωμετρικά χαρακτηριστικά.

Εξετάζουμε την περίπτωση όπου $a \gg b - a$. Αναπτύσσουμε τον *log* οπότε:

$$ln\left(\frac{b}{a}\right) = ln\left(1 + \frac{b-a}{a}\right) \approx \frac{b-a}{a}$$

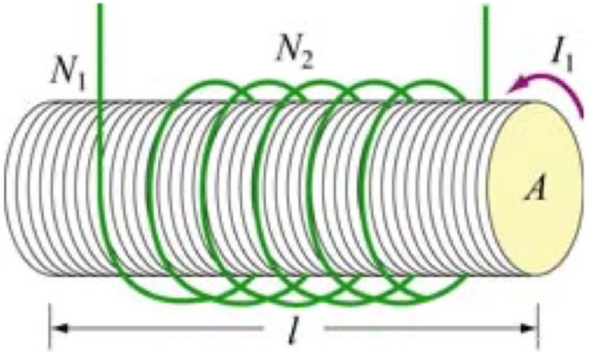
και ο συντελεστής της αυτεπαγωγής γίνεται: $L = \frac{\mu_0 N^2 h}{2\pi}\frac{b-a}{a} \Rightarrow L \approx \frac{\mu_0 N^2 A}{2\pi a}$

όπου $A = h(b-a)$ το εμβαδό της σπείρας και $l = 2\pi a$ το μήκος του τοροειδούς.

Παρατηρούμε ότι στο όριο αυτό, ο συντελεστής αυτεπαγωγής για το τοροειδές και το πηνίο συμπίπτουν.

Παράδειγμα: Συντελεστής αμοιβαίας επαγωγής μεταξύ ενός βρόχου που περιβάλει σωληνοειδές

Ένα μακρύ σωληνοειδές μήκους l και επιφάνειας διατομής A, αποτελείτε από N_1 σπείρες. Ένας δεύτερος μονωμένος βρόχος είναι τυλιγμένος γύρω από το σωληνοειδές.



(α) Θα βρεθεί η αμοιβαία επαγωγή μεταξύ των δύο πηνίων υποθέτοντας ότι ροή δεν χάνεται.

(β) Θα βρεθεί η σχέση της αμοιβαίας επαγωγή M με τους συντελεστές αυτεπαγωγής L_1 και L_2 των δύο πηνίων.

(α) Η μαγνητική ροή που περνά από κάθε σπείρα του εξωτερικού βρόχου εξαιτίας του σωληνοειδούς είναι: .

$\Phi_{21} = BA = \dfrac{\mu_0 N_1 I_1}{l} A$ όπου $B = \mu_0 N_1 I_1 / l$ το ομογενές μαγνητικό πεδίο του σωληνοειδούς

Επομένως ο συντελεστής αμοιβαίας επαγωγής θα είναι: $M = \dfrac{N_2 \Phi_{21}}{I_1} = \dfrac{\mu_0 N_1 N_2}{l} A$

(β) Είδαμε ότι ο συντελεστής αυτεπαγωγής για ένα πηνίο είναι: $L_1 = \dfrac{N_1 \Phi_{11}}{I_1} = \dfrac{\mu_0 N_1^2}{l} A$

όπου Φ_{11} η μαγνητική ροή που περνά από μια σπείρα του σωληνοειδούς και προέρχεται από το πεδίο που δημιουργεί το ρεύμα I_1.

Παράδειγμα: Συντελεστής αμοιβαίας επαγωγής μεταξύ ενός βρόχου που περιβάλει σωληνοειδές

Παρόμοια θα πάρουμε για τον δεύτερο (εξωτερικό) βρόχο ότι ο συντελεστής αυτεπαγωγής θα είναι:

$$L_2 = \frac{\mu_0 N_2^2}{l} A$$

Ο συντελεστής αμοιβαίας επαγωγής συναρτήσει των L_1 και L_2 είναι: $M = \sqrt{L_1 L_2}$

Γενικά, ο συντελεστής αμοιβαίας επαγωγής συναρτήσει των L_1 και L_2 είναι:

$M = k\sqrt{L_1 L_2}$ όπου $0 \leq k \leq 1$ ο συντελεστής σύζευξης

Στις εξεταζόμενες περιπτώσεις υποθέτουμε ότι όλη η ροή που παράγει το σωληνοειδές περνά από το εξωτερικό βρόχο και το ανάποδο.

Ενέργεια Μαγνητικού Πεδίου

Ενέργεια που αποθηκεύεται σε μαγνητικό πεδίο

Είδαμε ότι ο συντελεστής αυτεπαγωγής υποδηλώνει την αντίσταση ενός πηνίου στην αλλαγή του ρεύματος που το διαρρέει.

Επομένως η εξωτερική πηγή θα πρέπει να δαπανήσει έργο ώστε να αποκαταστήσει ένα ρεύμα διαμέσου του πηνίου.

Από το θεώρημα έργου-ενέργειας συμπεραίνουμε ότι ενέργεια μπορεί να αποθηκευτεί σε ένα πηνίο. Ο ρόλος που παίζει ένα πηνίο στην περίπτωση του μαγνητισμού είναι ανάλογος του ρόλου που παίζει ο πυκνωτής στην περίπτωση της ηλεκτροστατικής.

Η ισχύς ή διαφορετικά ο ρυθμός που μια εξωτερική ΗΕΔ, $\mathcal{E}_{\varepsilon\xi.}$, δουλεύει για να αποκαταστήσει το ρεύμα που διαρρέει ένα πηνίο είναι ως ακολούθως:

$$P_L = \frac{dW_{\varepsilon\xi.}}{dt} = I\mathcal{E}_{\varepsilon\xi.}$$

Αν στο κύκλωμα υπάρχει μόνο η εξωτερική πηγή και το πηνίο, τότε: $\mathcal{E}_{\varepsilon\xi.} = -\mathcal{E}_L$

Από αυτό συνεπάγεται ότι: $P_L = \frac{dW_{\varepsilon\xi.}}{dt} = I\mathcal{E}_{\varepsilon\xi.} = -I\mathcal{E}_L \Rightarrow P_L = IL\frac{dI}{dt}$

Ενέργεια που αποθηκεύεται σε μαγνητικό πεδίο

Αν το ρεύμα που διαρρέει το πηνίο αυξάνει, $dI/dt > 0$, τότε $P > 0$ που σημαίνει ότι η εξωτερική πηγή καταναλώνει έργο στο κύκλωμα ώστε να μεταφέρει ενέργεια στο πηνίο και η εσωτερική ενέργεια του πηνίου αυξάνει.

Αν το ρεύμα που διαρρέει το πηνίο ελαττώνεται, $dI/dt < 0$, τότε $P < 0$ που σημαίνει ότι η εξωτερική πηγή παίρνει ενέργεια από το πηνίο ελαττώνοντας την ενέργειά του.

Το ολικό έργο που παράγει η εξωτερική πηγή για να φέρει το ρεύμα από την τιμή 0 στη τιμή I είναι:

$$W_{\varepsilon\xi.} = \int dW_{ex.} = \int_0^I LI'dI' = \frac{1}{2}LI^2$$

Αυτό ισούται με την μαγνητική ενέργεια που αποθηκεύεται στο πηνίο: $U_M = \frac{1}{2}LI^2$

Η τελευταία εξίσωση είναι ανάλογη της ενέργειας που αποθηκεύεται σε πυκνωτή στην ηλεκτροστατική: $U_{E.} = \frac{1}{2}QC = \frac{1}{2}\frac{Q^2}{C}$

Επομένως καθαρά ενεργειακά, υπάρχει σαφής διαχωρισμός μεταξύ αντιστάτη και πηνίου. Όταν ρεύμα *I* ρέει διαμέσου μιας αντίστασης, ενέργεια καταναλώνεται στην αντίσταση και την ζεσταίνει ανεξάρτητα αν το ρεύμα είναι σταθερό ή μεταβάλλεται.

Στην περίπτωση του πηνίου, ενέργεια εισέρχεται στο πηνίο μόνο όταν $dI/dt > 0$ και αποθηκεύεται στο πηνίο. Καταναλώνεται αργότερα όταν $dI/dt < 0$.

Όταν το ρεύμα που περνά από ένα πηνίο είναι σταθερό, τότε δεν υπάρχει αλλαγή στην ενέργεια εφόσον: $P_L = LIdI/dt = 0$

Ενέργεια αποθηκευμένη σε σωληνοειδές

Θεωρούμε ένα μακρύ σωληνοειδές, μήκους l, N σπειρών ακτίνας R που διαρρέεται από ρεύμα *I*. Πόση ενέργεια είναι αποθηκευμένη στο σωληνοειδές;

Χρησιμοποιούμε την εξίσωση της ενέργειας: $U_M = \frac{1}{2}LI^2$

Αλλά : $L = \frac{\mu_0 N^2}{l}A$

Αντικατάσταση της 2ης στην 1η δίνει: $U_M = \frac{1}{2}\frac{\mu_0 A N^2 I^2}{l} = \frac{1}{2}\mu_0 \pi l R^2 n^2 I^2$

Μπορούμε να εκφράσουμε το αποτέλεσμα συναρτήσει του πεδίου, $B = \mu_0 n I$ οπότε θα έχουμε:

$$U_M = \frac{1}{2}\frac{\pi l R^2 B^2}{\mu_0}$$

Αλλά $\pi l R^2$ είναι ο όγκος που καταλαμβάνει το πηνίο

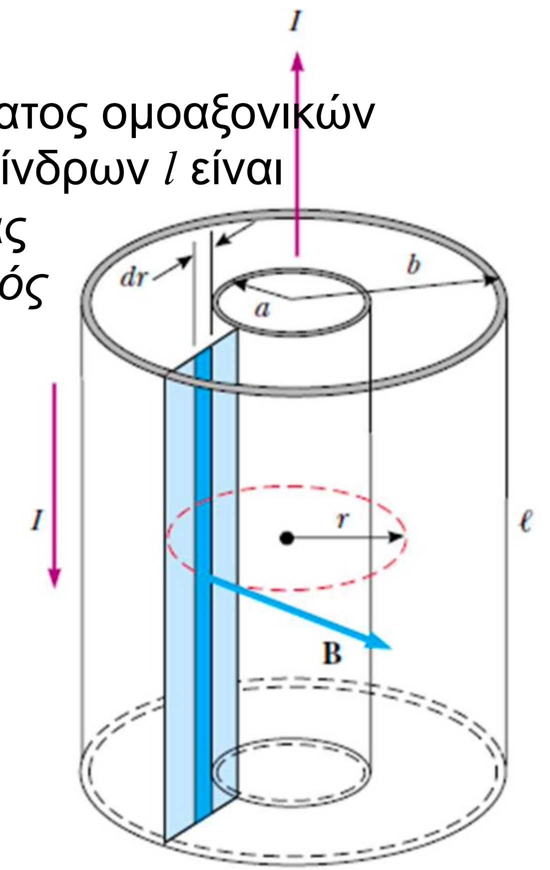
Ορίζουμε την πυκνότητα μαγνητικής ενέργειας: $\boxed{u_M = \frac{U_M}{V} = \frac{B^2}{2\mu_0}}$

Η παραπάνω έκφραση ισχύει τόσο για ομογενές όσο και μη ομογενές πεδίο.

Το αποτέλεσμα μπορεί να συγκριθεί με αυτό του ηλεκτρικού πεδίου: $\boxed{u_E = \frac{1}{2}\varepsilon_0 E^2}$

Παράδειγμα:

Θα υπολογίσουμε τον συντελεστή αυτεπαγωγής ενός συστήματος ομοαξονικών κυλίνδρων με ακτίνες α και b. Θεωρούμε ότι το μήκος των κυλίνδρων l είναι πολύ μεγάλο και οι κύλινδροι διαρρέονται από αντίθετης φοράς ρεύματα, έντασης I. *Το σύστημα αυτό αποτελεί προσέγγιση ενός ομοαξονικού καλωδίου.*



Όταν το σύστημα διαρρέεται από τα αντίθετα ρεύματα, δημιουργείται μαγνητικό πεδίο το οποίο μπορούμε να υπολογίσουμε με τον νόμο του Ampere.

- Για $r < a$: $B_1 = 0$
- Για $a \le r \le b$: θα πάρουμε: $\oint_C \vec{B}_2 \cdot d\vec{s} = \mu_0 I \Rightarrow$

$$\oint_C B ds = \mu_0 I \Rightarrow B 2\pi r = \mu_0 I \Rightarrow B2\pi r = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}$$

- Για $r \ge b$: $B_3 = 0$

Από το γραμμοσκιασμένο ορθογώνιο του σχήματος με διαστάσεις $(b-a)\times l$ διέρχεται μαγνητική ροή Φ_m που μπορούμε υπολογίσουμε θεωρώντας τα στοιχειώδη εμβαδά των έντονα γραμμοσκιασμένων ορθογωνίων: $d\vec{A} = l\hat{\imath}\times dr\hat{\jmath} \Rightarrow d\vec{A} = ldr\hat{k}$

Παράδειγμα

Θα έχουμε επομένως: $d\Phi_m = B_2 l dr = \frac{\mu_0 I}{2\pi r} l dr$

Ολοκληρώνοντας, παίρνουμε: $\Phi_m = \int d\Phi_m = \int_a^b \frac{\mu_0 I}{2\pi r} l dr = \frac{\mu_0 I}{2\pi} l \int_a^b \frac{dr}{r} \Rightarrow$

$$\Phi_m = \frac{\mu_0 l I}{2\pi} ln\left(\frac{b}{a}\right)$$

Από τον ορισμό της επαγόμενης τάσης θα έχουμε: $\mathcal{E} = -\frac{d\Phi_m}{dt} = -\frac{\mu_0 l}{2\pi} ln\left(\frac{b}{a}\right)\frac{dI}{dt}$

Από τον ορισμό της τάσης αυτεπαγωγής έχουμε: $\mathcal{E} = -L\frac{dI}{dt}$

Επομένως καταλήγουμε ότι ο συντελεστής αυτεπαγωγής είναι: $L = \frac{\mu_0 l}{2\pi} ln\left(\frac{b}{a}\right)$

Παράδειγμα

Θεωρούμε ένα πλατύ χάλκινο έλασμα πλάτους *w*, το οποίο τυλίγεται σε κύλινδρο ακτίνας *R* , όπως στο σχήμα. Το έλασμα διαρρέεται από ρεύμα *I* το οποίο είναι κατανεμημένο ομοιόμορφα κατά το πλάτος της επιφάνειας του ελάσματος. Με τον τρόπο αυτό σχηματίζεται ένα σωληνοειδές μια σπείρας.

(α) Ποιο το μέτρο της έντασης του μαγνητικού πεδίου *B* μέσα στο σωληνωτό τμήμα. Υποθέτουμε ότι το μαγνητικό πεδίο έξω από το σωληνοειδές αυτό τμήμα είναι αμελητέο.

(β) Ποιος είναι ο συντελεστής αυτεπαγωγής του σωληνοειδούς αυτού, αγνοώντας τις επίπεδες προεκτάσεις.

Θεωρούμε μια κλειστή καμπύλη που να περνά από το έλασμα, όπως στο σχήμα, και εφαρμόζουμε το νόμο του Ampere:

$$\oint_{ABCDA} B ds = \mu_0 I \Rightarrow \cancelto{0}{\int_A^B Bd} + \cancelto{0}{\int_B^C BW} + \cancelto{0}{\int_C^D Bd} + \int_D^A BW = \mu_0 I \Rightarrow BW = \mu_0 I \Rightarrow B = \frac{\mu_0 I}{W}$$

Από τις σχέσεις:

$$\left.\begin{aligned} \mathcal{E} &= -\frac{d\Phi_m}{dt} \\ \mathcal{E} &= -L\frac{dI}{dt} \end{aligned}\right\} \Rightarrow LI = \Phi_m \Rightarrow L = \frac{\Phi_m}{I} = \frac{\pi R^2 B}{I} = \frac{\pi R^2 \mu_0 I}{WI} \Rightarrow L = \frac{\mu_0 \pi R^2}{W}$$

16ο Quiz

- Γράψτε σε μια σελίδα το όνομά σας και τον αριθμό ταυτότητάς σας

Έτοιμοι