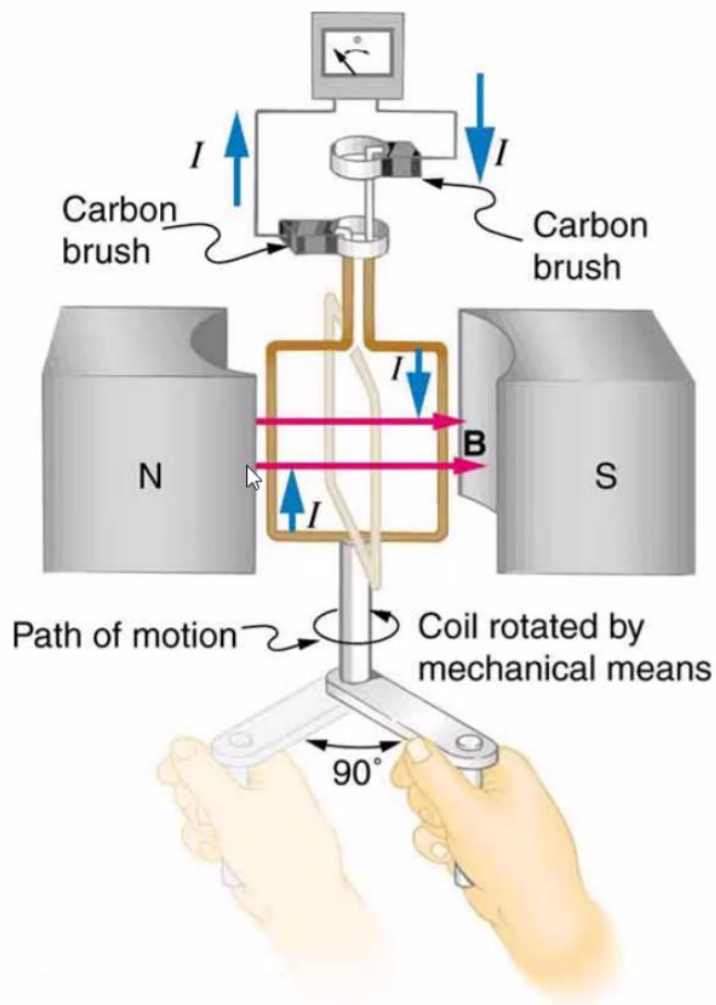


ΕΠΑΝΑΛΗΨΗ

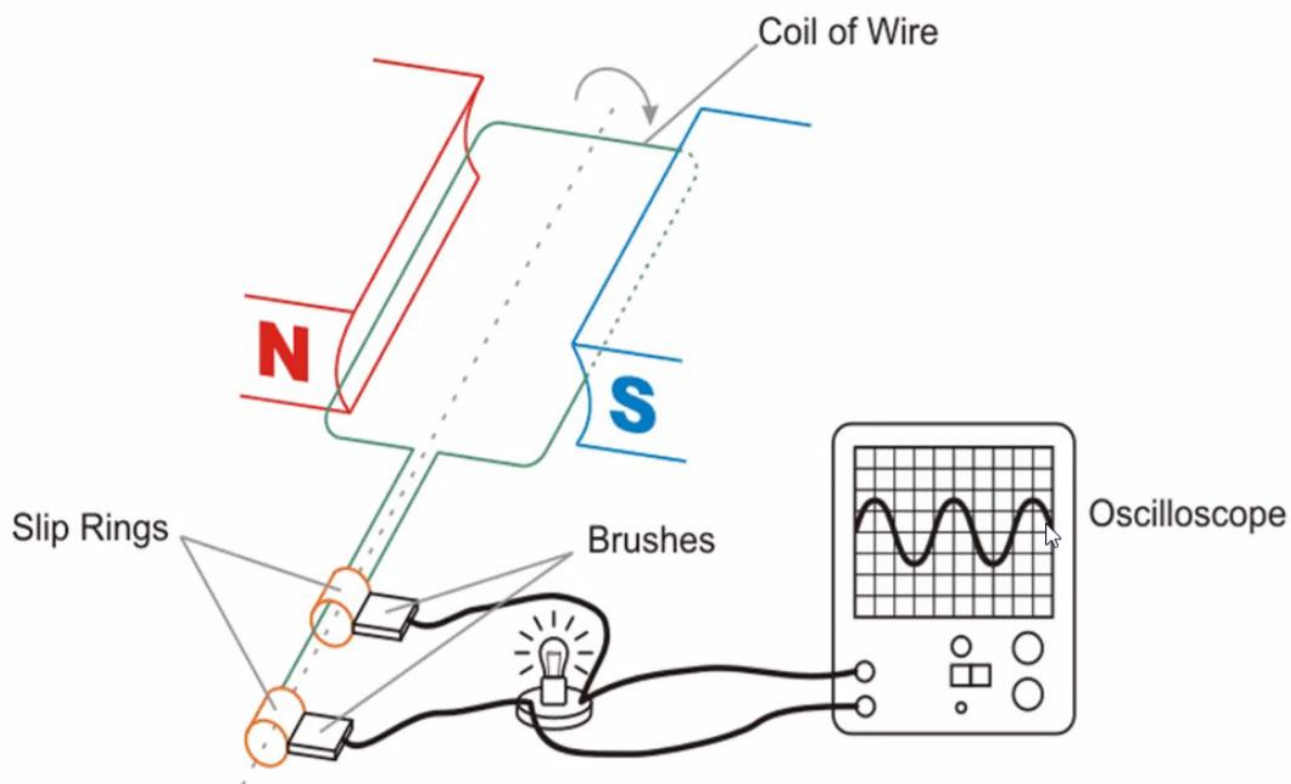
ΚΙΝΗΤΗΡΑΣ Ή ΓΕΝΝΗΤΡΙΑ ?

AC Ή DC ?



Γεννήτρια: δέχεται κινητική ενέργεια και παράγει ηλεκτρική ενέργεια που ανιχνεύεται από το γαλβανόμετρο

AC: έχει μόνο δακτυλίους και όχι συλλέκτη, η τάση στις ψήκτρες δεν ανορθώνεται

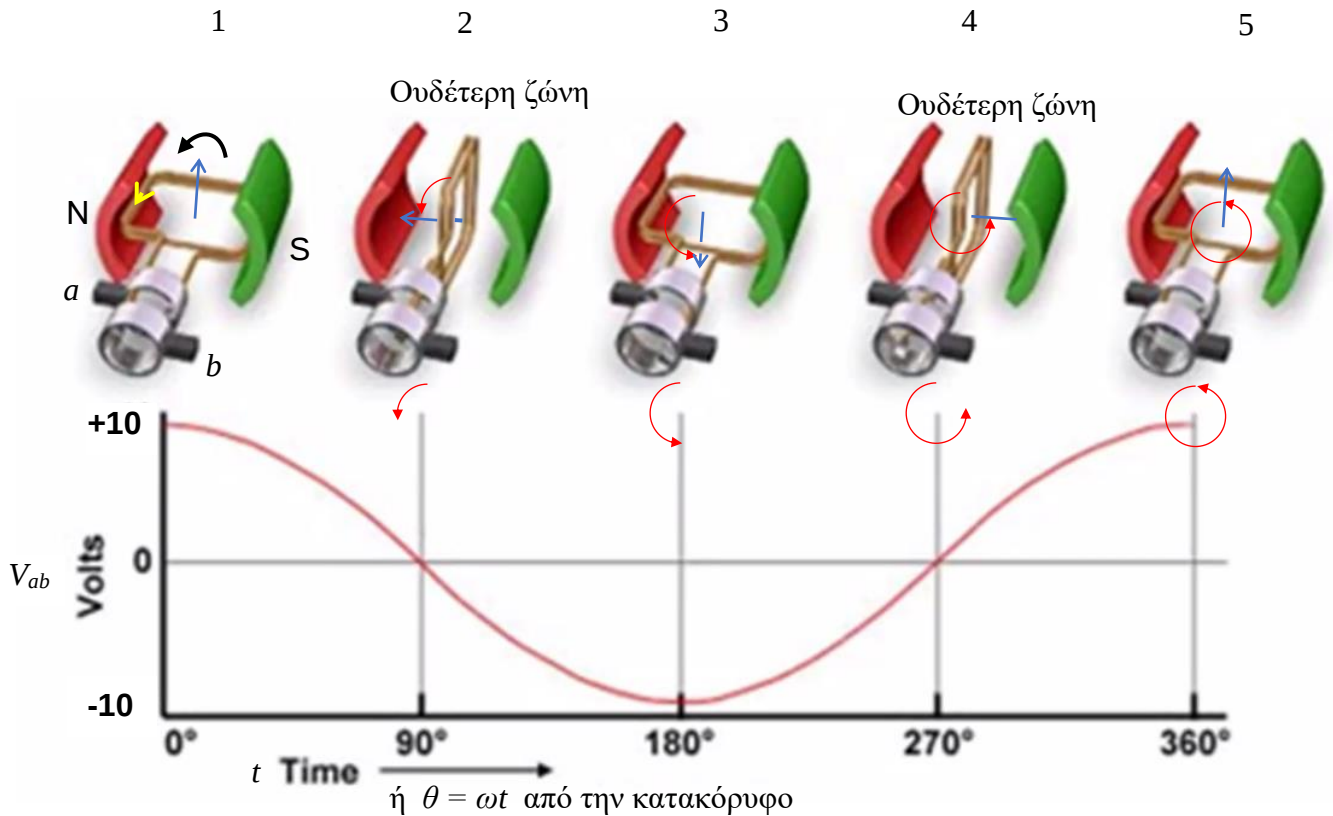


Γεννήτρια: δεν υπάρχει πηγή ηλεκτρικής ενέργειας

AC: έχει δακτυλίους, φαίνεται στον παλμογράφο η ημιτονοειδής τάση εξόδου

Εξηγήστε την πολικότητα της γεννήτριας AC του παρακάτω σχήματος

Η πλευρά του πλαισίου που βρίσκεται κάτω από τον νότιο πόλο S (πράσινο) στην πρώτη εικόνα είναι αυτή που είναι συνδεδεμένη με τον μπροστινό δακτύλιο που εφάπτεται με την δεξιά ψήκτρα b .



Η γραφική παράσταση αναπαριστά την πτώση τάσης : $\mathcal{E}_A \equiv V_{ab} = V_a - V_b = -\frac{d\Phi}{dt}$, που είναι η ηλεκτρεγερτική δύναμη από επαγωγή που δίνει η γεννήτρια στους ακροδέκτες του οπλισμού (armature), δηλαδή τους δακτυλίους που εφάπτονται στις ψήκτρες $a-b$.

Στην πρώτη εικόνα η φορά του ρεύματος, που βρίσκεται από τη φορά του διανύσματος $\vec{v} \times \vec{B}$, είναι όπως δείχνει το κίτρινο βελάκι. Άρα στην πρώτη εικόνα η ψήκτρα a είναι ο θετικός πόλος (εκεί μαζεύονται τα θετικά φορτία που κινούνται κατά τη φορά του ρεύματος) και η ψήκτρα b ο αρνητικός πόλος.

Ακολουθήστε την περιστροφή του πλαισίου και βρείτε τη φορά του ρεύματος και άρα την πολικότητα της γεννήτριας στις εικόνες 3 και 4. Παρατηρείστε ότι το ρεύμα αλλάζει φορά.

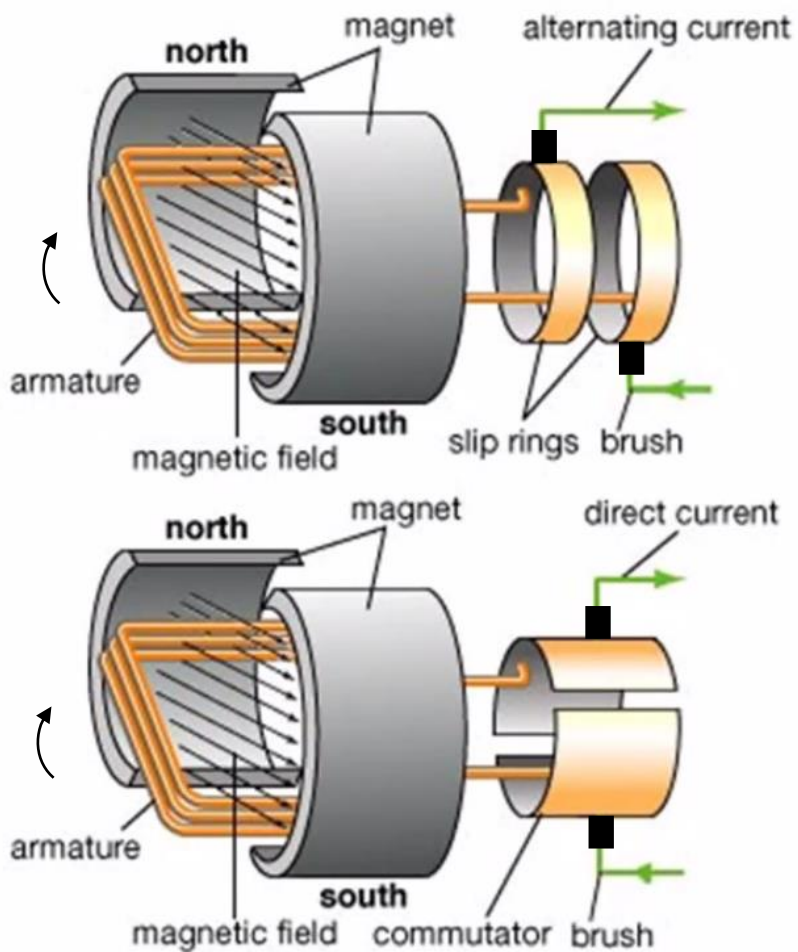
Στις εικόνες 2 και 3 οι πλευρές του πλαισίου κινούνται παράλληλα με τις γραμμές του μαγνητικού πεδίου και δεν δημιουργείται επαγωγικό ρεύμα (λέμε ότι είναι στην ουδέτερη ζώνη).

Η περίοδος της κυκλικής κίνησης είναι $T = \frac{2\pi}{\omega}$

1. $t=0$	$\theta = 0$	$\Phi=0$	$d\Phi/dt = -\max$	$V_a = +$	$V_b = -$	$V_{ab} = +\max$
2. $t=T/4$	$\theta = \pi/2$	$\Phi = -\max$	$d\Phi/dt = 0$	$V_a = 0$	$V_b = 0$	$V_{ab} = 0$
3. $t=T/2$	$\theta = \pi$	$\Phi=0$	$d\Phi/dt = +\max$	$V_a = -$	$V_b = +$	$V_{ab} = -\max$
4. $t=3T/4$	$\theta = 3\pi/2$	$\Phi = +\max$	$d\Phi/dt = 0$	$V_a = 0$	$V_b = 0$	$V_{ab} = 0$
5. $t=T$	$\theta = 2\pi$	$\Phi=0$	$d\Phi/dt = +\max$	$V_a = +$	$V_b = -$	$V_{ab} = +\max$

Το μπλε διάνυσμα είναι το διάνυσμα της επιφάνειας του πλαισίου. Η μαγνητική ροή θεωρείται θετική όταν οι μαγνητικές γραμμές διαπερνούν το πλαίσιο κατά τη φορά του μπλε διανύσματος.

Μνημονικός κανόνας : η ψήκτρα είναι **θετικός πόλος** όταν η **πλευρά του πλαισίου** με την οποία είναι συνδεδεμένη περνάει κάτω από το **βόρειο πόλο** του μαγνήτη (με τη φορά του σχήματος)

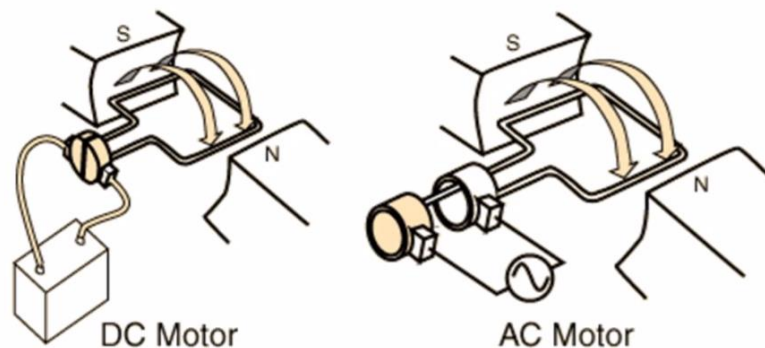


AC: δακτύλιοι (rings)

DC: συλλέκτης (commutator)

Η πλευρά που ακουμπάει στην πάνω ψήκτρα είναι πάντα αυτή που βρίσκεται κάτω από το βόρειο πόλο

ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ Ή ΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ ?



Κινητήρες: είναι συνδεδεμένοι με πηγές ηλεκτρικής τάσης

DC : αυτός που έχει συλλέκτη (ένα δακτύλιο χωρισμένο σε τομείς)

AC : αυτός που έχει δύο δακτυλίους

Μαγνητικές ιδιότητες των υλικών

Οι μαγνητικές ιδιότητες των υλικών, δηλαδή η συμπεριφορά τους μέσα σε μαγνητικά πεδία, οφείλεται στα ατομικά μαγνητικά δίπολα (ατομικά μαγνητάκια) που δημιουργούνται από την κίνηση των αζευγάρωτων ηλεκτρονίων που μπορεί να έχουν στα άτομά τους. Οι μαγνητικές ιδιότητες των υλικών εξηγούνται μόνο κβαντομηχανικά.

Σε ένα υλικό θεωρούμε ένα μικρό όγκο v γύρω από κάποιο σημείο του. Προσθέτουμε όλες τις μαγνητικές ροπές $\vec{\mu}_i$ των ατόμων του υλικού που βρίσκονται σε αυτόν τον όγκο και βρίσκουμε την ολική μαγνητική ροπή στον όγκο. Έστω ότι έχω N μόρια : $\vec{\mu}_v = \sum_{i=1}^N \vec{\mu}_i$. Διαιρώντας την ολική μαγνητική ροπή $\vec{\mu}_v$ στον όγκο v διά τον όγκο v παίρνω ένα φυσικό μέγεθος που ονομάζεται μαγνήτιση και είναι η μαγνητική ροπή ανά μονάδα όγκου του υλικού:

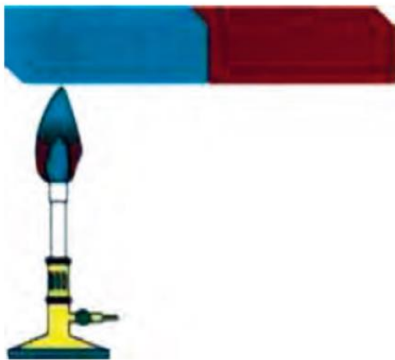
$$\vec{M} = \frac{\vec{\mu}_v}{v}$$

$$\text{με μονάδες : } [M] = \frac{[\mu_v]}{[v]} = \frac{\text{A} \cdot \text{m}^2}{\text{m}^3} = \frac{\text{A}}{\text{m}}.$$

Η μαγνήτιση για όλα σχεδόν τα υλικά (διαμαγνητικά, παραμαγνητικά) είναι μηδέν όταν αυτά δεν βρίσκονται μέσα σε κάποιο εξωτερικό μαγνητικό πεδίο είτε επειδή τα άτομά τους δεν έχουν μαγνητική ροπή είτε επειδή οι ατομικές μαγνητικές ροπές είναι τυχαία προσανατολισμένες και άρα κατά μέσο όρο αθροίζουν στο μηδέν. Μόνο τα λεγόμενα σιδηρομαγνητικά υλικά μπορούν και διατηρούν μαγνήτιση και χωρίς εξωτερικό μαγνητικό πεδίο καθώς σε μεγάλες περιοχές του υλικού τα ατομικά μαγνητάκια ευθυγραμμίζονται μεταξύ τους.

Η μαγνήτιση ακόμα και σε αυτά τα υλικά χάνεται με την πάροδο του χρόνου

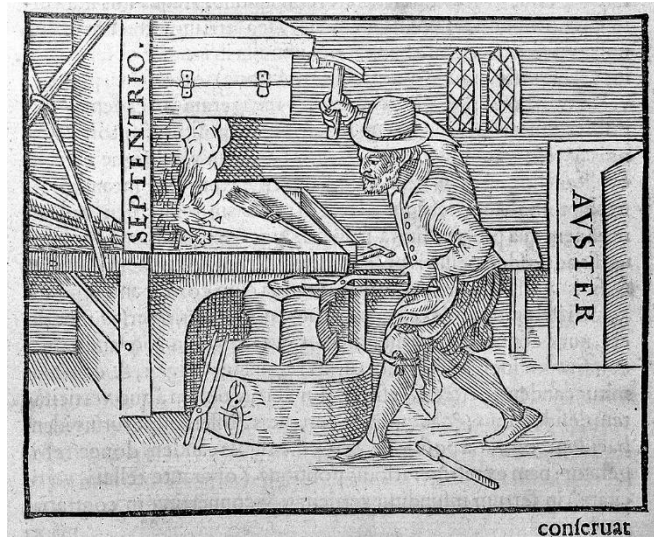
- από την άνοδο της θερμοκρασίας και
- τους κραδασμούς που δέχεται το υλικό



Απομαγνήτιση υλικού με θέρμανση.



Απομαγνήτιση υλικού με κρούση.



Μαγνήτιση υλικού από σιδηρουργό τα παλιά χρόνια (Auster: νότος στα λατινικά π.χ. Australia)
Το πυρωμένο υλικό τοποθετείται στην ευθεία βορρά-νότου και σφυρηλατείται.

Όταν ένα υλικό βρεθεί μέσα σε εξωτερικό μαγνητικό πεδίο $\vec{B}_0$, θα αποκτήσει μαγνήτιση.

Το εξωτερικό μαγνητικό πεδίο $\vec{B}_0$ δημιουργείται από κάποιο πηνίο που διαρρέεται από ηλεκτρικό ρεύμα. Το γράφουμε και ως:

$$\vec{B}_0 = \mu_0 \vec{H} ,$$

όπου το πεδίο $\vec{H}$ το ονομάζουμε μαγνητίζον πεδίο. Το μαγνητίζον πεδίο ενός πηνίου είναι ανάλογο με το ηλεκτρικό ρεύμα i που το διαρρέει, τον αριθμό των σπειρών του N και επίσης εξαρτάται από τα γεωμετρικά του χαρακτηριστικά. Στο κέντρο ενός πηνίου έχουμε δει ότι ισχύει $H = Ni/\ell$, όπου ℓ το μήκος του πηνίου. Άρα το μαγνητίζον πεδίο έχει και αυτό μονάδες $[H] = A/m$ όπως και η μαγνήτιση M . Το γινόμενο Ni το ονομάζουμε μαγνητεγερτική δύναμη και το συμβολίζουμε με καλλιγραφικό $\mathcal{F}$: $\mathcal{F} = Ni$

Η προκαλούμενη μαγνήτιση θα δημιουργήσει ένα πρόσθετο μαγνητικό πεδίο $\vec{B}_M$ μέσα και γύρω από το υλικό. Αυτό το πρόσθετο μαγνητικό πεδίο προκύπτει ότι είναι ανάλογο με τη μαγνήτιση :

$$\vec{B}_M = \mu_0 \vec{M} .$$

Άρα το συνολικό μαγνητικό πεδίο θα είναι $\vec{B} = \vec{B}_0 + \vec{B}_M = \mu_0 (\vec{H} + \vec{M})$

Οι κυριότερες κατηγορίες υλικών ανάλογα με τη φορά και το μέγεθος της μαγνήτισης τους είναι οι εξής:

Διαμαγνητικά υλικά : Αποκτούν **ασθενή μαγνήτιση αντίρροπη** με το εφαρμοζόμενο εξωτερικό πεδίο και έτσι απωθούνται από τους μαγνήτες. Είναι τα υλικά τα άτομα των οποίων αρχικά δεν έχουν μαγνητική ροπή και η μαγνητική ροπή που επάγεται (Faraday) λόγω της διατάραξης της κίνησης των ηλεκτρονίων στα άτομα τους από τη δράση του εξωτερικού μαγνητικού πεδίου (αλλάζει η κεντρομόλος δύναμη και άρα η ακτίνα της τροχιάς) είναι αντίθετη του αιτίου που την προκάλεσε (Lenz). Έτσι το πρόσθετο μαγνητικό πεδίο $\vec{B}_M$ που δημιουργείται μέσα στο υλικό έχει αντίθετη φορά με το εξωτερικό $\vec{B}_0$ και μειώνει το συνολικό πεδίο μέσα στο υλικό ενώ ταυτόχρονα το υλικό απωθείται όπως απωθούνται δύο μαγνήτες. Διαμαγνητικά υλικά είναι π.χ. ο χαλκός Cu, ο άργυρος Ag, ο υδράργυρος Hg, ο μόλυβδος Pb, ο άνθρακας C, το νερό H_2O , κ.α.

Τα τέλεια διαμαγνητικά υλικά είναι οι υπεραγωγοί οι οποίοι αποβάλλουν εντελώς το εξωτερικό μαγνητικό πεδίο από το εσωτερικό τους (το μηδενίζουν).

Στα διαμαγνητικά υλικά μπορεί να επιτευχθεί η αιώρησή τους μέσα σε ένα μαγνητικό πεδίο (magnetic levitation)



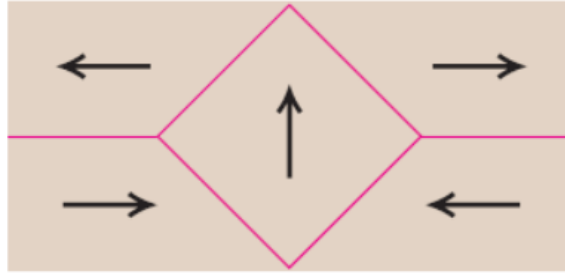
Με 16 Τ μαγνητικό πεδίο μπορείς να σηκώσεις έναν βάτραχο ή κάποιο μικρό φρούτο μέσα σε ένα σωληνοειδές πηνίο αφού αποτελούνται κυρίως από νερό και οργανικές ενώσεις (άνθρακας).

Παραμαγνητικά υλικά : Αποκτούν **ασθενή μαγνήτιση ομόρροπη** με το εφαρμοζόμενο εξωτερικό πεδίο και άρα έλκονται πολύ ασθενώς από τους μαγνήτες. Τα άτομά τους αρχικά έχουν μαγνητική ροπή (της τάξης του μ_B) όμως οι μαγνητικές ροπές τους είναι τυχαία προσανατολισμένες λόγω της θερμικής κίνησης των ατόμων. Όταν εφαρμοστεί εξωτερικό μαγνητικό πεδίο τα ατομικά αυτά δίπολα τείνουν να ευθυγραμμιστούν με το πεδίο. Έτσι σε χαμηλότερες θερμοκρασίες οι μαγνήτιση θα είναι ισχυρότερη και σε πολλές περιπτώσεις είναι αντιστρόφως ανάλογη της θερμοκρασίας (Curie): $M = C \frac{B}{T}$ όπου B το ολικό μαγνητικό πεδίο και C σταθερά που εξαρτάται από το υλικό.

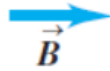
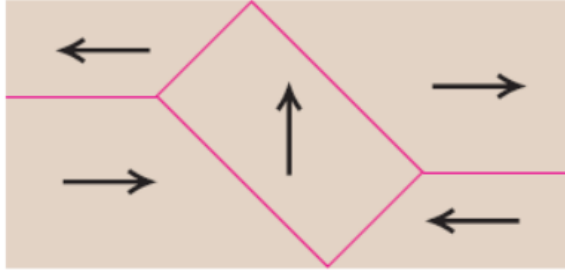
Παραμαγνητικά υλικά είναι π.χ. το αλουμίνιο Al, το τιτάνιο Ti, το οξείδιο του σιδήρου (II) FeO, κ.α.

Σιδηρομαγνητικά υλικά : Είναι τα υλικά που έλκονται ισχυρά από τους μαγνήτες (Fe, Ni, Co, κράματά τους, κ.α.). Αυτά αποκτούν **ισχυρή μαγνήτιση ομόρροπη** με το εφαρμοζόμενο εξωτερικό πεδίο η οποία παραμένει ακόμα και όταν το εξωτερικό πεδίο αφαιρεθεί. Τα άτομά τους έχουν μαγνητικές ροπές (της τάξης του μ_B) οι οποίες μάλιστα είναι παράλληλες ανά μεγάλες περιοχές του υλικού (10^{10} ευθυγραμμισμένα άτομα σε έκταση περίπου 1 μm). Όπως και τα στοιχειώδη δίπολα οι μαγνητικές ροπές αυτών των **μαγνητικών περιοχών** είναι τυχαία προσανατολισμένες. Όταν εφαρμοστεί εξωτερικό μαγνητικό πεδίο οι μαγνητικές περιοχές που είναι ομόρροπες με αυτό αυξάνουν το μέγεθός τους ενώ οι άλλες το μειώνουν οδηγώντας σε πολύ μεγάλη μαγνήτιση η οποία παραμένει σε μεγάλο βαθμό μόνιμη και όταν το εξωτερικό πεδίο μηδενιστεί (υστέρηση). Με τη μείωση της θερμοκρασίας η μαγνήτιση αυξάνεται (παρόμοια με τα παραμαγνητικά) ενώ για θερμοκρασίες μεγαλύτερες από μία κρίσιμη (Curie) τα σιδηρομαγνητικά υλικά χάνουν την ιδιότητα της διατήρησης μόνιμης μαγνήτισης.

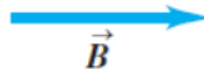
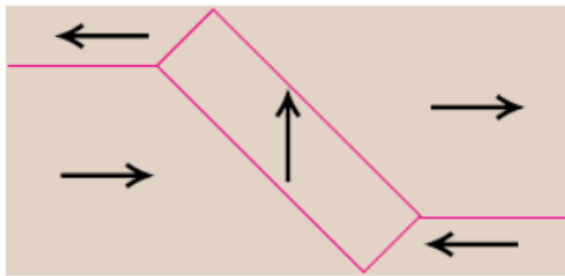
(a) No field



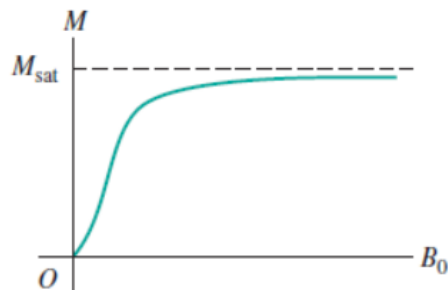
(b) Weak field



(c) Stronger field



Όταν οι μαγνητικές ροπές όλων των ατόμων ευθυγραμμιστούν με το εξωτερικό πεδίο έχουμε τη μέγιστη δυνατή μαγνήτιση (κορεσμό)



Μαγνητική διαπερατότητα μ , σχετική μαγνητική διαπερατότητα K_m και μαγνητική επιδεκτικότητα χ_m

Μαγνητική διαπερατότητα μ είναι η ικανότητα του υλικού να ευνοεί την εγκατάσταση μαγνητικού πεδίου στο χώρο που καταλαμβάνει.

Σχετική μαγνητική διαπερατότητα K_m είναι ο λόγος της μαγνητικής διαπερατότητας του υλικού προς τη μαγνητική σταθερά. Δηλαδή πόσο παραπάνω σε σχέση με το κενό ευνοεί το υλικό τη δημιουργία μαγνητικού πεδίου : $K_m = \frac{\mu}{\mu_0}$

Η μαγνητική επιδεκτικότητα δείχνει αν ένα υλικό απωθείται ($\chi_m < 0$) ή έλκεται ($\chi_m > 0$) από ένα μαγνήτη. Συνδέεται με τη σχετική μαγνητική διαπερατότητα με τη σχέση: $K_m = 1 + \chi_m$

Για ένα μεγάλο εύρος εξωτερικών μαγνητικών πεδίων τα περισσότερα υλικά αντιδρούν γραμμικά στην επίδραση του εξωτερικού μαγνητικού πεδίου (δηλαδή ισότροπα και ομογενώς) με αποτέλεσμα η δημιουργούμενη μαγνήτιση να είναι ανάλογη του εφαρμοζόμενου εξωτερικού μαγνητικού πεδίου :

$$\vec{B}_M \equiv \mu_0 \vec{M} = \chi_m \vec{B}_0$$

Η σταθερά χ_m είναι αδιάστατη και ονομάζεται **μαγνητική επιδεκτικότητα** (καθαρός αριθμός):

Διαμαγνητικά : $\chi_m < 0$, $|\chi_m| \approx 10^{-5}$ ως 10^{-4} , για υπεραγωγούς $\chi_m = -1$

Παραμαγνητικά : $\chi_m > 0$, $\chi_m \approx 10^{-6}$ ως 10^{-3}

Σιδηρομαγνητικά : $\chi_m > 0$, $\chi_m \approx 10^3$ ως 10^5 (δεν είναι σταθερή)

Table 28.1 Magnetic Susceptibilities of Paramagnetic and Diamagnetic Materials at $T = 20^\circ\text{C}$

Material	$\chi_m = K_m - 1 (\times 10^{-5})$
Paramagnetic	
Iron ammonium alum	66
Uranium	40
Platinum	26
Aluminium	2.2
Sodium	0.72
Oxygen gas	0.19
Diamagnetic	
Bismuth	-16.6
Mercury	-2.9
Silver	-2.6
Carbon (diamond)	-2.1
Lead	-1.8
Sodium chloride	-1.4
Copper	-1.0

Οπότε, αφού η μαγνήτιση είναι ανάλογη με το εξωτερικό μαγνητικό πεδίο και το συνολικό μαγνητικό πεδίο μέσα στο υλικό θα είναι τελικά και αυτό ανάλογο με το εξωτερικό μαγνητικό πεδίο :

$$\vec{B} = \vec{B}_0 + \vec{B}_M \Rightarrow \vec{B} = \vec{B}_0 + \mu_0 \vec{M} \Rightarrow \vec{B} = \vec{B}_0 + \chi_m \vec{B}_0 = (1 + \chi_m) \vec{B}_0 = (1 + \chi_m) \mu_0 \vec{H} \Rightarrow$$

$$\vec{B} = K_m \vec{B}_0 = \mu \vec{H}$$

όπου η αδιάστατη σταθερά $K_m = 1 + \chi_m$ ονομάζεται **σχετική μαγνητική διαπερατότητα** του υλικού (καθαρός αριθμός), ενώ η σταθερά

$$\mu = (1 + \chi_m) \mu_0 = K_m \mu_0$$

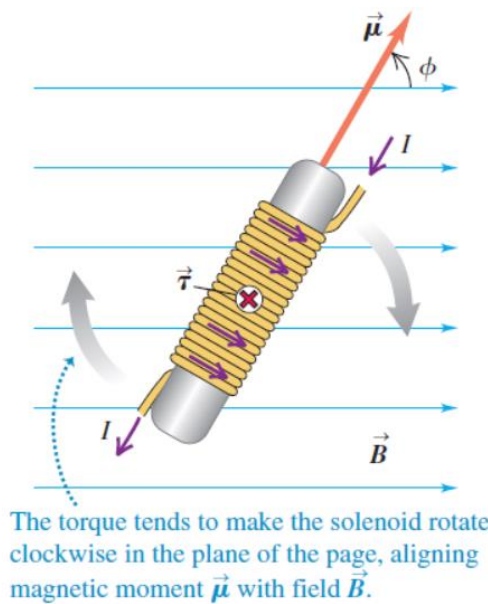
ονομάζεται **μαγνητική διαπερατότητα** του υλικού. Οι μονάδες της μαγνητικής διαπερατότητας είναι ίδιες με τις μονάδες της μαγνητικής σταθεράς : $[\mu] = [\mu_0] = \frac{T \cdot m}{A} = \frac{Wb}{A \cdot m} = \frac{H}{m} = \frac{N}{A^2}$

Έτσι για να βρούμε το τελικό μαγνητικό πεδίο $\vec{B}$ σε ένα υλικό πολλαπλασιάζουμε το εξωτερικό μαγνητικό πεδίο $\vec{B}_0$ που δημιουργείται από το ηλεκτρικό ρεύμα με τη σχετική μαγνητική διαπερατότητα K_m του υλικού ή ισοδύναμα αντικαθιστούμε στον τύπο του μαγνητικού πεδίου $\vec{B}_0$, τη μαγνητική σταθερά μ_0 με τη μαγνητική διαπερατότητα του υλικού μ :

$$\vec{B}_0 \rightarrow K_m \vec{B}_0 = \vec{B} \quad \text{ή} \quad \mu_0 \rightarrow K_m \mu_0 = \mu$$

Π.χ. το μαγνητικό πεδίο στο εσωτερικό σωληνοειδούς πηνίου με υλικό στον πυρήνα του θα γίνει:

$$B_0 = \mu_0 \frac{Ni}{\ell} \rightarrow B = \mu \frac{Ni}{\ell} = K_m B_0 = \mu H$$

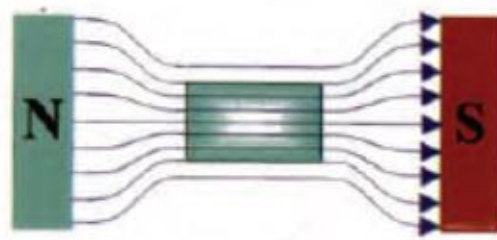


Έτσι εισάγοντας ένα σιδηρομαγνητικό υλικό στο εσωτερικό των τυλιγμάτων του ηλεκτρομαγνήτη μας πετυχαίνουμε να αυξήσουμε την ένταση του μαγνητικού πεδίου και ακολούθως τη μαγνητική ροή μέσα και γύρω από το υλικό κατά χιλιάδες φορές

Για τη μαγνήτιση θα ισχύει επίσης : $\mu_0 \vec{M} = \chi_m \vec{B}_0 = \frac{\chi_m}{1 + \chi_m} \vec{B}$



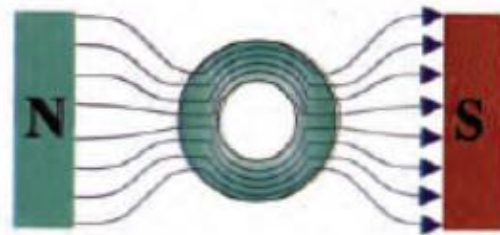
Εικόνα 4.4-34. Ομογενές μαγνητικό πεδίο.



Εικόνα 4.4-35. Οι δυναμικές γραμμές εκτρέπονται.



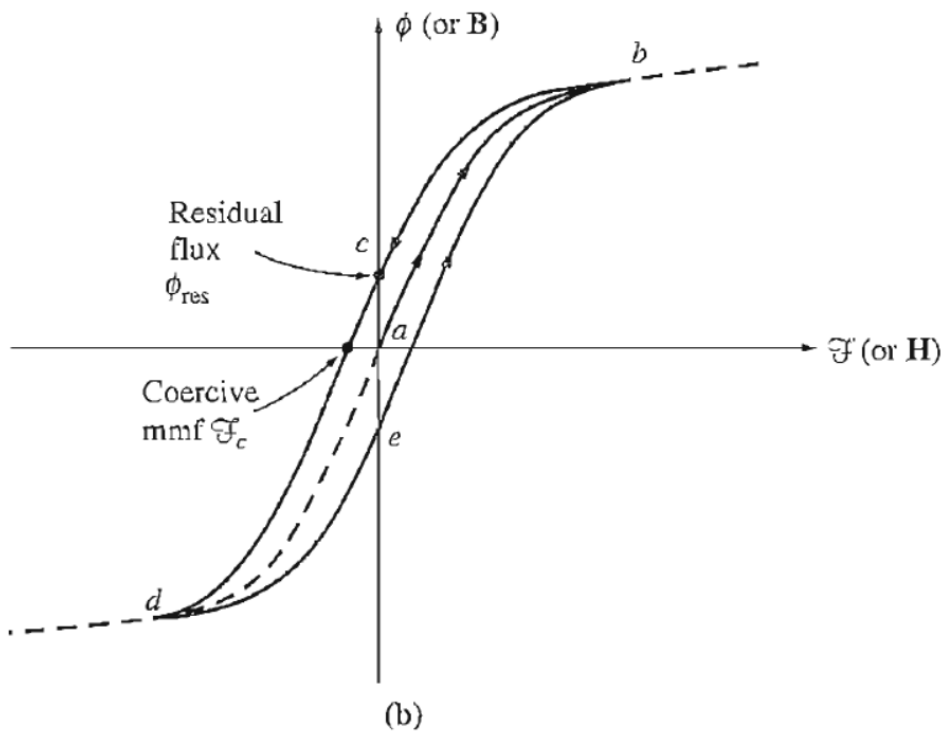
Εικόνα 4.4-36. Ομογενές μαγνητικό πεδίο.



Εικόνα 4.4-37. Το μαγνητικό πεδίο μετά την εισαγωγή του κυκλικού σιδερένιου πυρήνα.

Βρόχος υστέρησης

Με την σταδιακή μείωση του εξωτερικού εφαρμοζόμενου μαγνητικού πεδίου η μαγνήτιση του σιδηρομαγνητικού υλικού δεν μηδενίζεται (υστέρηση) αλλά η μαγνήτιση ακολουθεί ένα βρόχο υστέρησης.



Όταν μηδενιστεί το εξωτερικό μαγνητικό πεδίο το υλικό έχει παραμένουσα μαγνήτιση (παραμένουσα μαγνητική ροή Φ_r : residual) σημείο c

Πρέπει να εφαρμόσω αντίθετο μαγνητίζον πεδίο H_c για να μηδενίσω πάλι τη μαγνήτιση του υλικού (coercive mmf : μαγνητεγερτική δύναμη εξαναγκαστικής απομαγνήτισης).

Στη συνέχεια αυξάνοντας το αρνητικό μαγνητικό πεδίο η μαγνήτιση αυξάνεται προς την αντίθετη φορά από την αρχική μέχρι να κορεστεί και πάλι στο σημείο d. Μειώνοντας ως το μηδέν το αρνητικό πεδίο, παραμένει μαγνήτιση αντίθετης φοράς, σημείο e. Τέλος αυξάνοντας το πεδίο πάλι από τη θετική φορά, το υλικό απομαγνητίζεται και μετά μαγνητίζεται πάλι θετικά και φτάνει στο ίδιο σημείο κορεσμού b.

Όταν το ρεύμα που δημιουργεί το μαγνητικό πεδίο είναι εναλλασσόμενο τότε η μαγνήτιση του υλικού ακολουθεί αυτό το συμμετρικό βρόχο b-c-d-e-b

Η απαιτούμενη ενέργεια ανά μονάδα όγκου για την μαγνήτιση – απομαγνήτιση του υλικού αποδεικνύεται ότι είναι ίση με τον εμβαδόν του βρόχου υστέρησης. Η ενέργεια αυτή μετατρέπεται σε θερμότητα στο υλικό και αποτελεί ανεπιθύμητη απώλεια.

Η απώλεια ισχύος λόγω υστέρησης προκύπτει προσεγγιστικά ότι είναι ίση με :

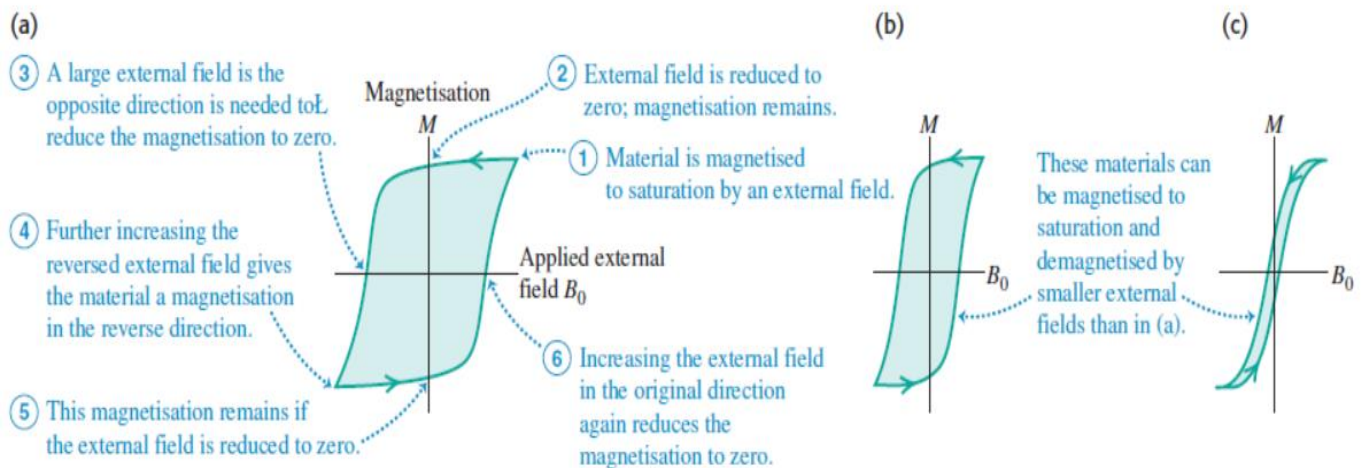
$$P_h = K_h f B^{1,5 \text{ ως } 2,5}$$

όπου B η μέγιστη τιμή του μαγνητικού πεδίου, f η συχνότητα εναλλαγής της φοράς του μαγνητικού πεδίου (συχνότητα του εναλλασσόμενου ρεύματος που το δημιουργεί) και K_h σταθερά που εξαρτάται από το υλικό (βρόχος υστέρησης) και το μέγεθός του.

Άρα για μετασχηματιστή, που η μαγνήτιση του πρέπει διαρκώς να αναστρέφεται από το εναλλασσόμενο ρεύμα που τον μαγνητίζει, πρέπει να διαλέγω υλικά με στενό βρόχο υστέρησης.

Παράδειγμα : Επιλέξτε τη χρήση για την οποία είναι κατάλληλα τα υλικά που έχουν τους παρακάτω βρόχους υστέρησης (a), (b) και (c).

28.29 Hysteresis loops. The materials of both (a) and (b) remain strongly magnetised when B_0 is reduced to zero. Since (a) is also hard to demagnetise, it would be good for permanent magnets. Since (b) magnetises and demagnetises more easily, it could be used as a computer memory material. The material of (c) would be useful for transformers and other alternating-current devices where zero hysteresis would be optimal.

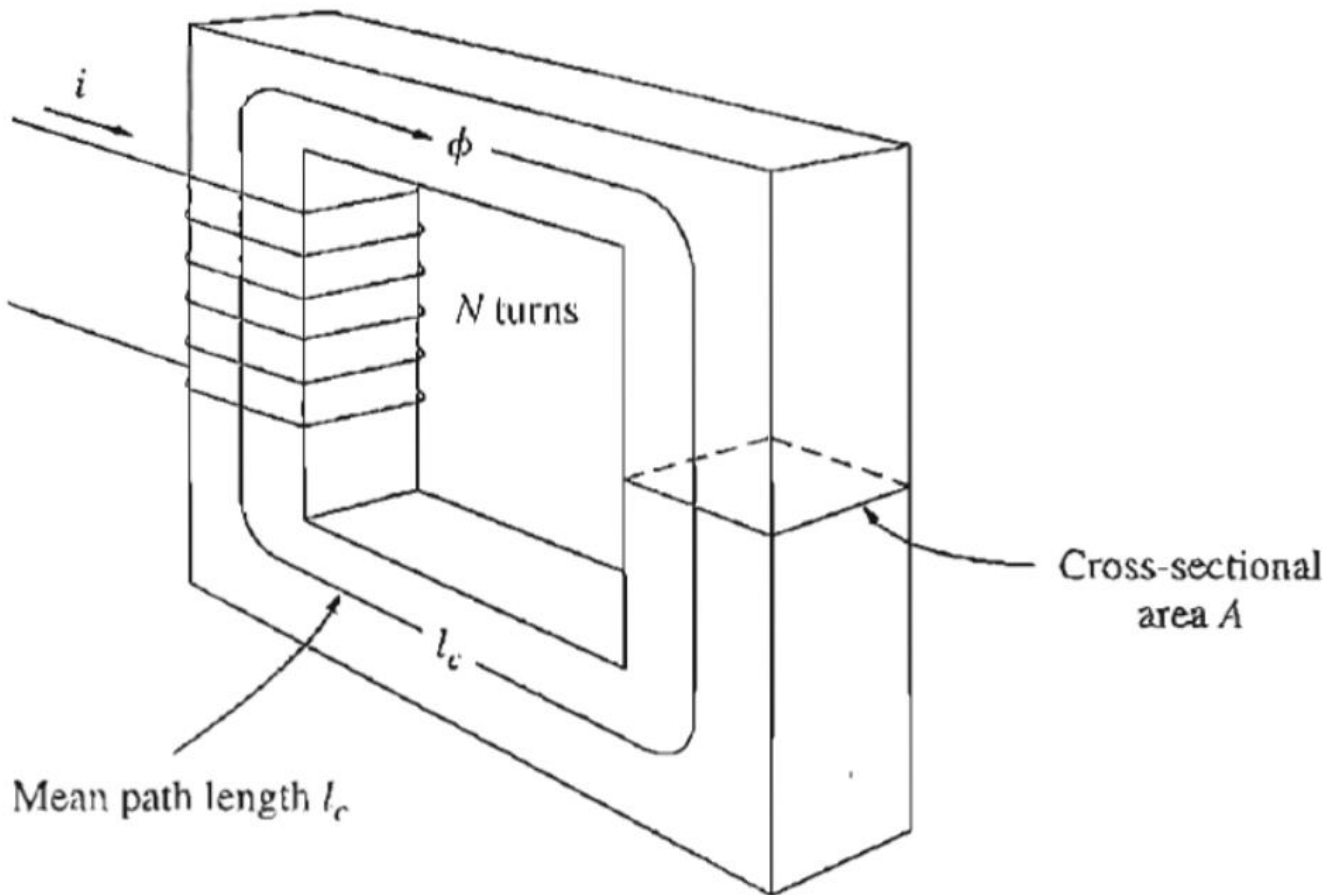


Το υλικό (a) είναι κατάλληλο για μόνιμος μαγνήτης : κρατάει τη μαγνήτιση του και δεν απομαγνητίζεται εύκολα.

Το υλικό (b) είναι κατάλληλο για μνήμη ηλεκτρονικού υπολογιστή : κρατάει τη μαγνήτιση του αλλά απομαγνητίζεται εύκολα από ένα μικρό αντίθετο μαγνητικό πεδίο (κεφαλή εγγραφής)

Το υλικό (c) είναι κατάλληλο για πυρήνα μετασχηματιστή : δεν διατηρεί τη μαγνήτιση του και την αναστρέφει πολύ εύκολα. Έχει πολύ στενό βρόχο υστέρησης

ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΟΝ ΠΥΡΗΝΑ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΗ



Η τεράστια μαγνητική διαπερατότητα του σιδηρομαγνητικού υλικού «παγιδεύει» όλο σχεδόν το μαγνητικό πεδίο μέσα στο υλικό. Εκεί οι μαγνητικές γραμμές κατανομούνται ομοιόμορφα ακολουθώντας τη γεωμετρία του υλικού. Είναι παράλληλες σε κάθε διαδρομή που ακολουθεί το σχήμα του υλικού $\vec{H} \parallel d\vec{\ell} \Rightarrow \vec{H} \cdot d\vec{\ell} = H d\ell$ και είναι κάθετες σε κάθε εγκάρσια διατομή του $\vec{B} \parallel d\vec{A} \Rightarrow \vec{B} \cdot d\vec{A} = BA$.

Νόμος Ampere: $\mathcal{F} \equiv \int_C \vec{H} \cdot d\vec{\ell} = I_{net} \Rightarrow$

$$H \ell_c = Ni \Rightarrow H = \frac{Ni}{\ell_c}$$

$$B = \mu H = \mu \frac{Ni}{\ell_c}$$

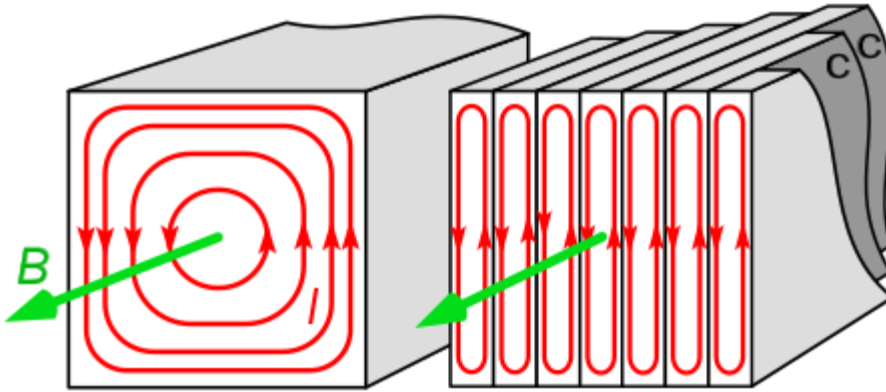
Μαγνητική ροή : $\Phi = \int_S \vec{B} \cdot d\vec{A} = BA \Rightarrow$

$$\Phi = \frac{\mu NiA}{\ell_c}$$

Δινορεύματα

Όταν το μαγνητικό πεδίο μέσα σε ένα υλικό μεταβάλλεται χρονικά τότε σε κάθε κλειστή διαδρομή μέσα στο υλικό που είναι κάθετη στο μαγνητικό πεδίο θα δημιουργούνται από το νόμο της επαγωγής του Faraday ηλεκτρικά κυκλικά ρεύματα. Επειδή θα μοιάζουν με δίνες (eddies) τα λέμε δινορεύματα (eddy currents).

Τα δινορεύματα είναι ανεπιθύμητα στις ηλεκτρικές μηχανές επειδή συνεπάγονται απώλειες ενέργειας. Τα ρεύματα θερμαίνουν το υλικό.

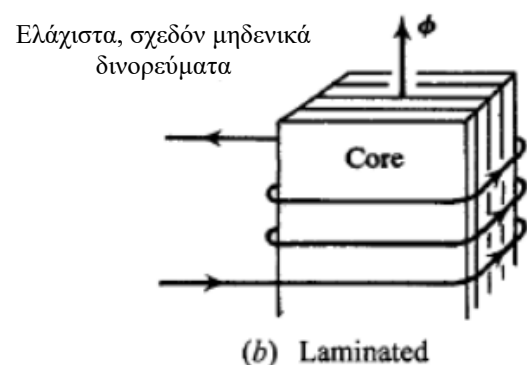
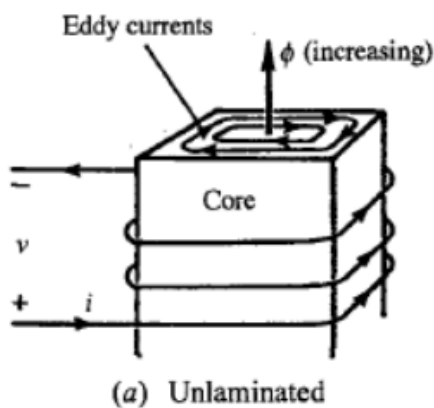


Η απώλεια ισχύος που προκύπτει από τα δημιουργούμενα δινορεύματα είναι προσεγγιστικά:

$$P_e = K_e f^2 B^2 t^2$$

όπου B η μέγιστη τιμή του μαγνητικού πεδίου, f η συχνότητα εναλλαγής της φοράς του μαγνητικού πεδίου (συχνότητα του εναλλασσόμενου ρεύματος που το δημιουργεί) και K_h σταθερά που εξαρτάται από το υλικό (αγωγιμότητα και πάχος) και το μέγεθός του ενώ το t είναι το πάχος του υλικού (thickness).

Αρά βλέπουμε ότι αν το υλικό είναι φτιαγμένο από πολύ λεπτά ελάσματα (laminas), δηλαδή με $t \ll 1$, οι απώλειες δινορευμάτων μπορούν να ελαχιστοποιηθούν. Για αυτό το λόγο όλοι οι πυρήνες των ηλεκτρικών μηχανών (πόλοι στάτη, τύμπανο δρομέα) είναι κατασκευασμένοι από λεπτά ελάσματα όπως στα σχήματα.



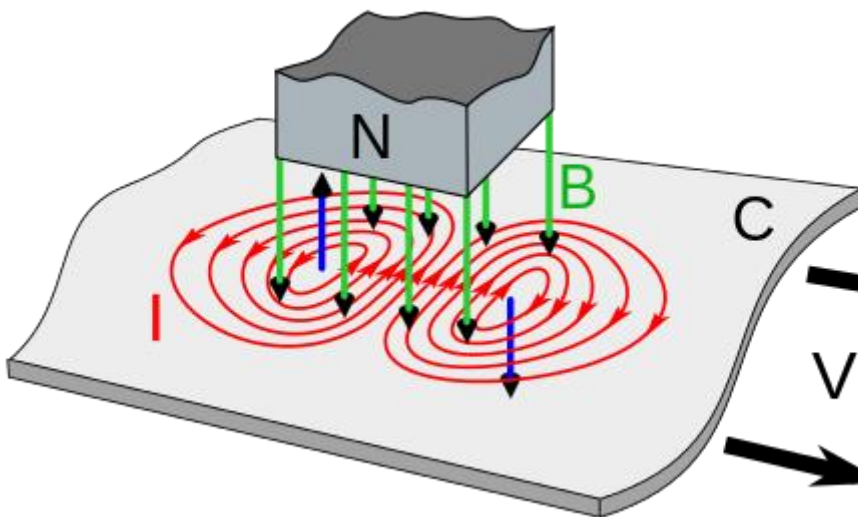
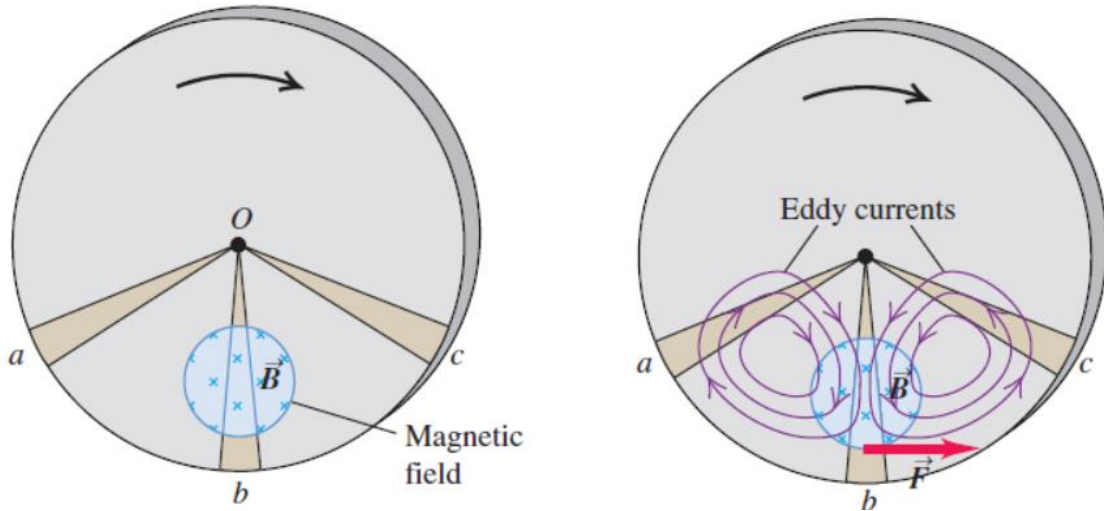
Οι συνολικές απώλειες ισχύος σε μια ηλεκτρική μηχανή, λόγω υστέρησης και δινορευμάτων ονομάζονται απώλειες πυρήνα (σιδήρου Fe).

Απώλειες πυρήνα : $P_{Fe} = P_h + P_e$

Τα δινορεύματα χρησιμοποιούνται ως φρένα.

Όταν προκαλούνται από κίνηση τότε η δύναμη Laplace που δέχονται είναι αντίθετη από την κίνηση που τα δημιουργήσει.

(a) Metal disk rotating through a magnetic field (b) Resulting eddy currents and braking force

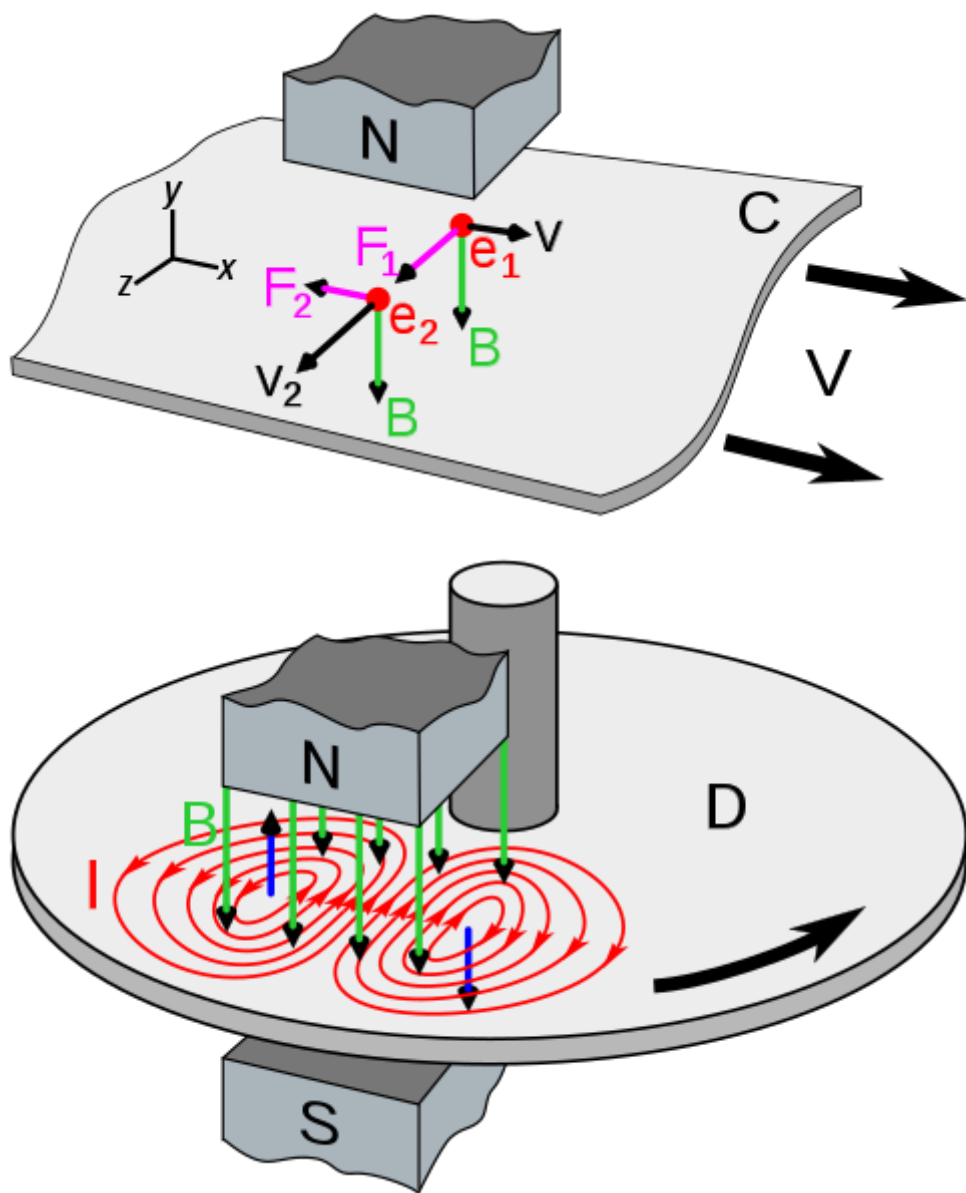


Εξήγηση

Στην πλευρά του ελάσματος που βγαίνει από το μαγνητικό πεδίο, η προς τα κάτω μαγνητική ροή μειώνεται άρα δημιουργούνται δινορεύματα ωρολογιακά για να την ενισχύσουν (Faraday-Lenz).

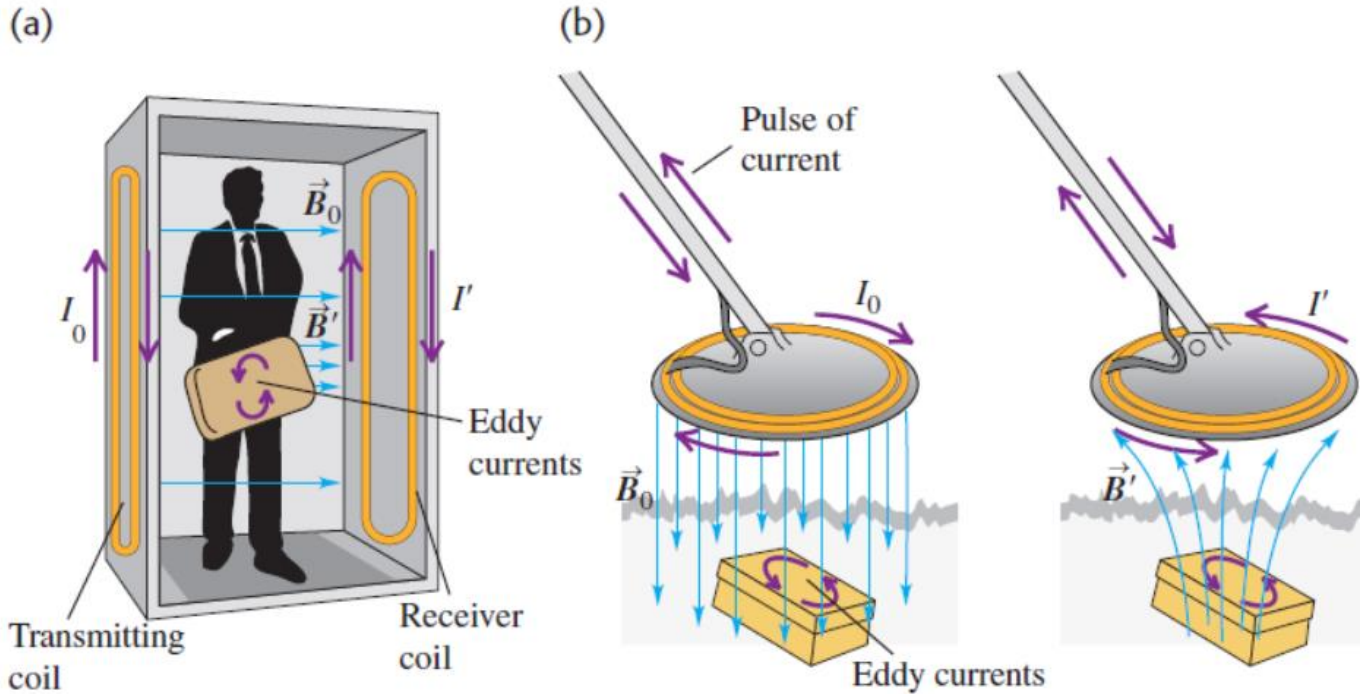
Το αντίθετο συμβαίνει στην πλευρά που μπαίνει στο μαγνητικό πεδίο.

Το συνολικό δινορεύμα κάτω από τον πόλο του μαγνήτη είναι προς τα πάνω και δέχεται δύναμη Laplace προς τα αριστερά, δηλαδή αντίθετα με την ταχύτητα του ελάσματος



Τα δινορεύματα χρησιμοποιούνται για την ανίχνευση μετάλλων.

Αν το μαγνητικό πεδίο που δημιουργεί τα δινορεύματα είναι εναλλασσόμενο ή παλμικό (η χρονική μεταβολή του δεν είναι σταθερή) τότε και τα δινορεύματα θα είναι μεταβαλλόμενα. Όμως ένα μεταβαλλόμενο ηλεκτρικό ρεύμα εκπέμπει ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία που μπορεί να ανιχνευθεί από κατάλληλο δέκτη.



ΣΥΝΟΨΗ ΧΡΗΣΙΜΩΝ ΕΞΙΣΩΣΕΩΝ ΓΙΑ ΤΙΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΜΗΧΑΝΕΣ

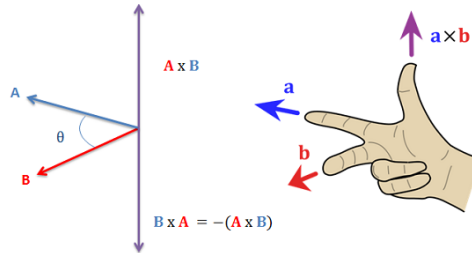
Για την ανάλυση της λειτουργίας τους ισχύουν οι εξής τέσσερις νόμοι :

1) Δύναμη Laplace :

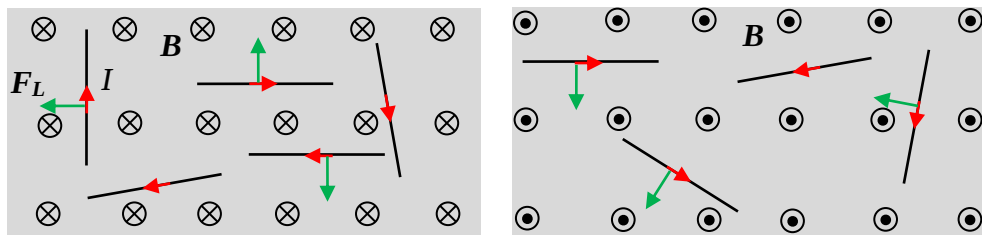
$$\vec{F}_L = I \vec{\ell} \times \vec{B}$$

$F_L = BI\ell$ όταν η ράβδος είναι κάθετη στις δυναμικές γραμμές του μαγνητικού πεδίου

Δίνει τη δύναμη που δέχεται από μαγνητικό πεδίο B ευθύγραμμος ρευματοφόρος αγωγός του οποίου μήκος ℓ βρίσκεται μέσα στο μαγνητικό πεδίο και διαρρέεται από ηλεκτρικό ρεύμα I . Το διάνυσμα $\vec{\ell}$ είναι στη διεύθυνση του αγωγού με φορά αυτή του ρεύματος που τον διαρρέει. Η κατεύθυνση της δύναμης Laplace βρίσκεται από τον κανόνα του δεξιού χεριού για το εξωτερικό γινόμενο διανυσμάτων



Π.χ.



Βρείτε τη δύναμη στους αγωγούς που δεν έχει σχεδιαστεί

2) Νόμος της ηλεκτρομαγνητικής επαγωγής του Faraday :

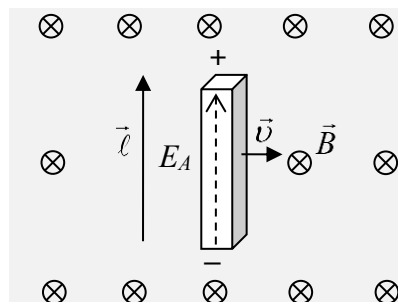
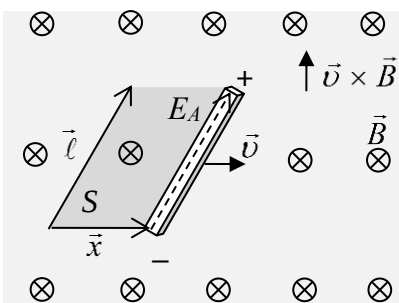
$$E_A = -\frac{d\Phi}{dt}$$

Για ευθύγραμμο αγωγό σε ομογενές μαγνητικό πεδίο αποδεικνύεται ότι

$$E_A = (\vec{v} \times \vec{B}) \cdot \vec{\ell}$$

$E_A = Bv\ell$ όταν και τα τρία διανύσματα είναι κάθετα μεταξύ τους

Δίνει την επαγωγική τάση που αναπτύσσεται στα άκρα ευθύγραμμου αγωγού που κινείται μέσα σε μαγνητικό πεδίο B . Η φορά του διανύσματος $\vec{v} \times \vec{B}$ καθορίζει την πολικότητα της τάσης της ράβδου καθώς το διάνυσμα $\vec{v} \times \vec{B}$ δείχνει από το αρνητικό προς το θετικό άκρο της ράβδου (φορά της δύναμης Lorentz που δέχεται ένα θετικό φορτίο). Το διάνυσμα $\vec{\ell}$ έχει μέτρο όσο το μήκος του αγωγού που βρίσκεται μέσα στο πεδίο, διεύθυνση κατά μήκος του αγωγού και φορά αυτή που σχηματίζει τη μικρότερη γωνία με το $\vec{v} \times \vec{B}$.

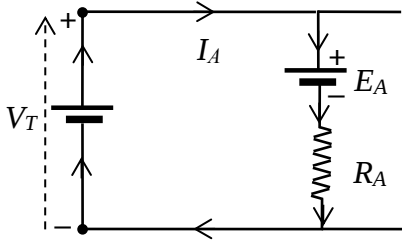


3) Νόμος των τάσεων του Kirchhoff

Η μηχανή «παίρνει» ρεύμα (**κινητήρας**)

$$\sum V_{ij} = 0 \Rightarrow V_T - E_A - I_A R_A = 0 \Rightarrow$$

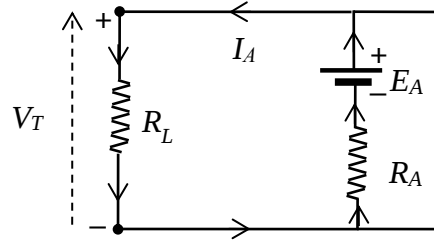
$$\boxed{V_T = E_A + I_A R_A}$$



Η μηχανή «δίνει» ρεύμα (**γεννήτρια**)

$$\sum V_{ij} = 0 \Rightarrow E_A - V_T - I_A R_A = 0 \Rightarrow$$

$$\boxed{V_T = E_A - I_A R_A}$$



Ισχύς $P = VI$

Για ωμική αντίσταση όπου $V = IR$ η ισχύς που καταναλώνεται είναι $P = I^2 R$

4) Θεμελιώδης νόμος της μηχανικής του Νεύτωνα

$$\sum F = ma \quad \text{για τη μεταφορική κίνηση}$$

$$\text{Ισχύς } P = Fv$$

$$\sum \tau = I\alpha \quad \text{για τη στροφική κίνηση}$$

$$\text{Ισχύς } P = \tau\omega$$