

Εργαστήριο Ηλεκτρικών Μηχανών

Βασικές αρχές ηλεκτρομαγνητισμού

Παλάντζας Παναγιώτης
palantzaspan@gmail.com

2013

Σκοπός του μαθήματος

- Στο τέλος του κεφαλαίου, οι σπουδαστές θα πρέπει να είναι σε θέση να:
- Κατανοήσουν τους θεμελιώδεις νόμους στα δυναμικά μαγνητικά συστήματα και τη σχέση τους με τις ηλεκτρικές μηχανές.

Εισαγωγή στις Ηλεκτρικές Μηχανές

- Μια ηλεκτρική μηχανή είναι μια συσκευή η οποία μετατρέπει την ηλεκτρική ενέργεια (τάσεις και ρεύματα) σε μηχανική ενέργεια (ροπή και ταχύτητα περιστροφής) και αντίστροφα.
- Ένας κινητήρας είναι μια μηχανή που μετατρέπει ηλεκτρική ενέργεια σε μηχανική ενέργεια.
- Μια γεννήτρια είναι μια μηχανή που μετατρέπει τη μηχανική ενέργεια σε ηλεκτρική ενέργεια.

Εισαγωγή στις Ηλεκτρικές Μηχανές (1)

- Πολλές ηλεκτρικές μηχανές είναι σε θέση να λειτουργήσουν τόσο ως κινητήρες όσο και ως γεννήτριες.
- Η ικανότητα μιας μηχανής που εργάζεται με τον ένα ή το άλλο τρόπο εξαρτάται από την δράση ενός μαγνητικού πεδίου, το οποίο είναι απαραίτητο για την εκτέλεση τέτοιων μετατροπών.

Εισαγωγή στις Ηλεκτρικές Μηχανές(2)

- Για να κατανοήσουμε πώς λειτουργεί μια ηλεκτρική μηχανή, το κλειδί είναι να καταλάβουμε πώς λειτουργεί ο ηλεκτρομαγνήτης.
- Οι αρχές του μαγνητισμού διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στη λειτουργία των ηλεκτρικών μηχανών.

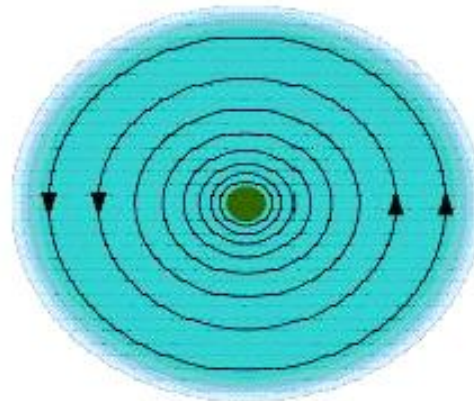
Ανασκόπηση του ηλεκτρομαγνητισμού

- Ένα μαγνητικό πεδίο γύρω από έναν αγωγό μπορεί να παραχθεί όταν ρεύμα ρέει μέσω του αγωγού. (1819 Oersted)

Μαγνητικό πεδίο

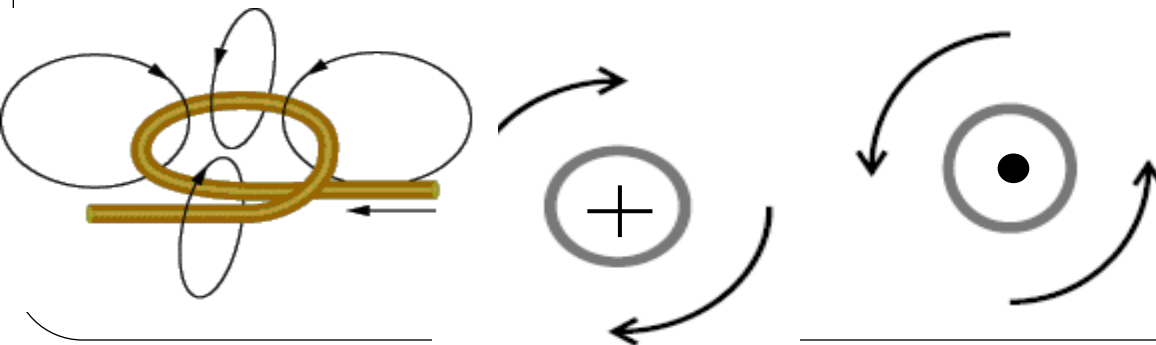
- Το μαγνητικό πεδίο περιβάλλει την πηγή δημιουργίας του.

Το πεδίο είναι κάθετο στον αγωγό και η κατεύθυνση του πεδίου εξαρτάται από την κατεύθυνση του ρεύματος που ρέει στον αγωγό.



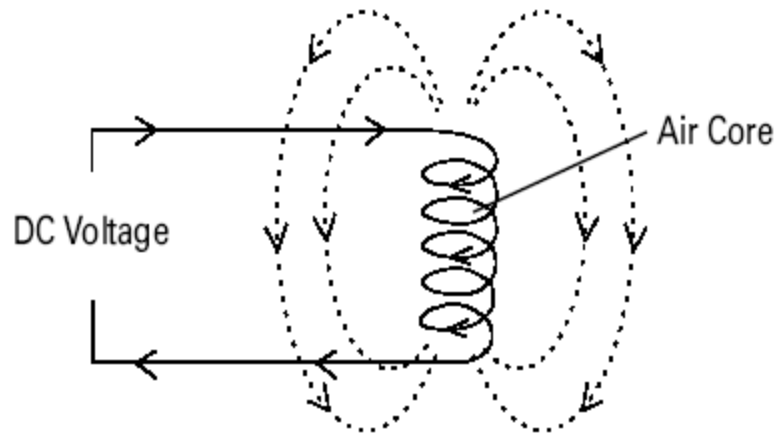
Ένα κυκλικό μαγνητικό πεδίο αναπτύσσεται γύρω από τον αγωγό και ακολουθεί τον κανόνα του δεξιού χεριού. Τοποθετούμε τη δεξιά παλάμη παράλληλα με τον αγωγό, έτσι ώστε ο αντίχειρας να δείχνει τη φορά του ρεύματος. Τα υπόλοιπα δάκτυλα που κλείνουν γύρω από τον αγωγό, δείχνουν τη φορά των δυναμικών γραμμών και συνεπώς της έντασης B .

- Το πεδίο εξασθενεί μακριά από τον αγωγό



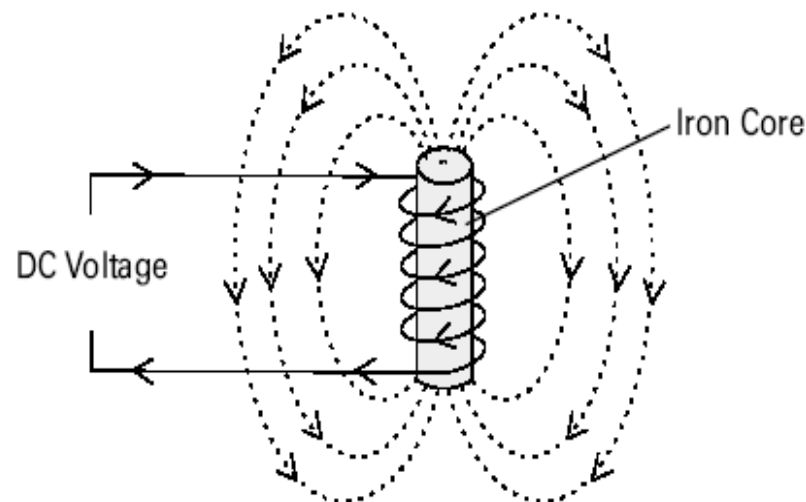
Παράδειγμα ηλεκτρομαγνήτη

- Ένας ηλεκτρομαγνήτης μπορεί να γίνει με την **περιέλιξη αγωγού** ενός πηνίου και εφαρμόζοντας μια **DC τάση** στα άκρα του.
- Οι μαγνητικές γραμμές, που σχηματίζονται λόγω του ρευματοφόρου αγωγού, συνδυάζονται για να παράγουν ένα μεγαλύτερο και ισχυρότερο μαγνητικό πεδίο.
- Το εσωτερικό του πηνίου καλείται **πυρήνας**. Σε αυτό τον απλό ηλεκτρομαγνήτη ο πυρήνας είναι αέρας.



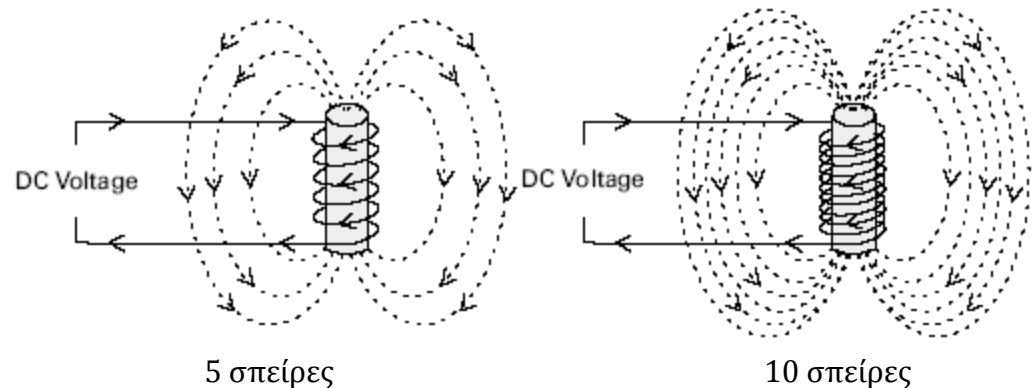
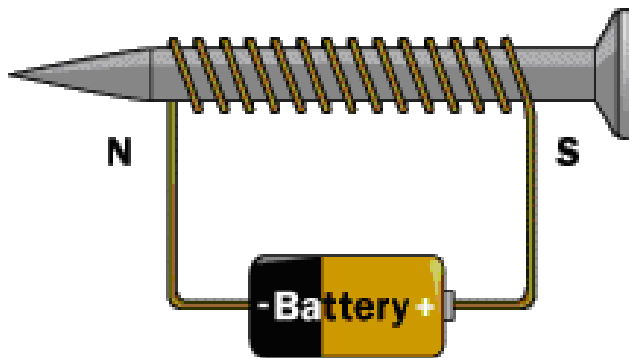
Προσθέτοντας έναν σιδερένιο πυρήνα

- Ο σίδηρος είναι καλύτερος αγωγός μαγνητισμού από τον αέρα. Ο πυρήνας από αέρα ενός ηλεκτρομαγνήτη μπορεί να αντικατασταθεί από ένα κομμάτι από μαλακό σίδηρο.
- Όταν ένα κομμάτι σιδήρου τοποθετείται στο κέντρο του πηνίου περισσότερες μαγνητικές γραμμές μπορούν να ρέουν και το μαγνητικό πεδίο ενισχύεται.

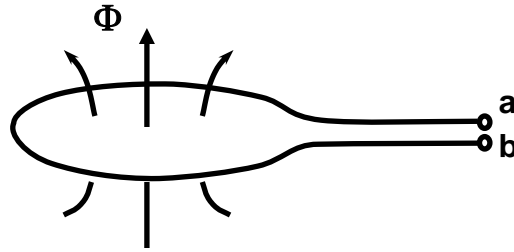


Ισχύς του μαγνητικού πεδίου

- Επειδή το μαγνητικό πεδίο γύρω από έναν ρευματοφόρο αγωγό είναι κυκλικό και κάθετο προς αυτόν, ένας εύκολος τρόπος για να ενισχυθεί το μαγνητικό πεδίο του αγωγού είναι να γίνει ο αγωγός με σπείρες(πηνίο).
- Η ισχύς του μαγνητικού πεδίου στον DC ηλεκτρομαγνήτη μπορεί να αυξηθεί με την αύξηση του αριθμού των σπειρών στο πηνίο. Όσο μεγαλύτερος είναι ο αριθμός των σπειρών, τόσο ισχυρότερο θα είναι το μαγνητικό πεδίο.



Νόμος του Faraday και νόμος του Lenz



- **Νόμος Faraday** : Αν μια μαγνητική ροή, Φ , μέσα σε ένα πηνίο **μεταβάλλεται με τον χρόνο** (n σπείρες), τότε μια τάση, V_{ab} επαγεται.

$$V = N \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$$

V = επαγόμενη τάση

N = αριθμός σπειρών του πηνίου

$\Delta\Phi$ = μεταβολή της μαγνητικής ροής μέσα στο πηνίο

Δt = μεταβολή του χρόνου

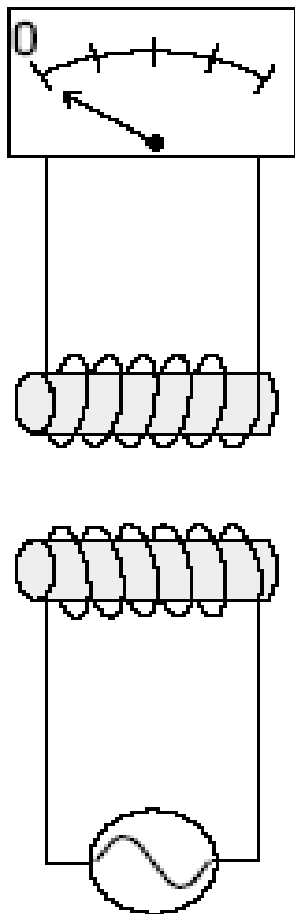
Νόμος Faraday

Η επίδραση του μαγνητικού πεδίου:

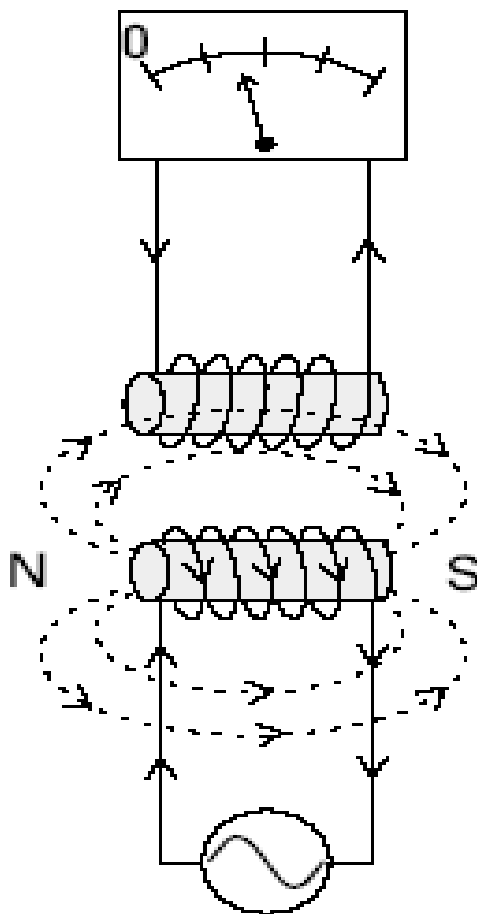
- Επαγόμενη τάση σε σταθερό αγωγό από μεταβαλλόμενο μαγνητικό πεδίο.
- Επαγόμενη τάση σε αγωγό που κινείται μέσα σε σταθερό μαγνητικό πεδίο.
- Παραγωγή επαγόμενης δύναμης σε ένα ρευματοφόρο αγωγό που βρίσκεται εντός μαγνητικού πεδίου.

Τάση που επάγεται από ένα χρονικά μεταβαλλόμενο μαγνητικό πεδίο

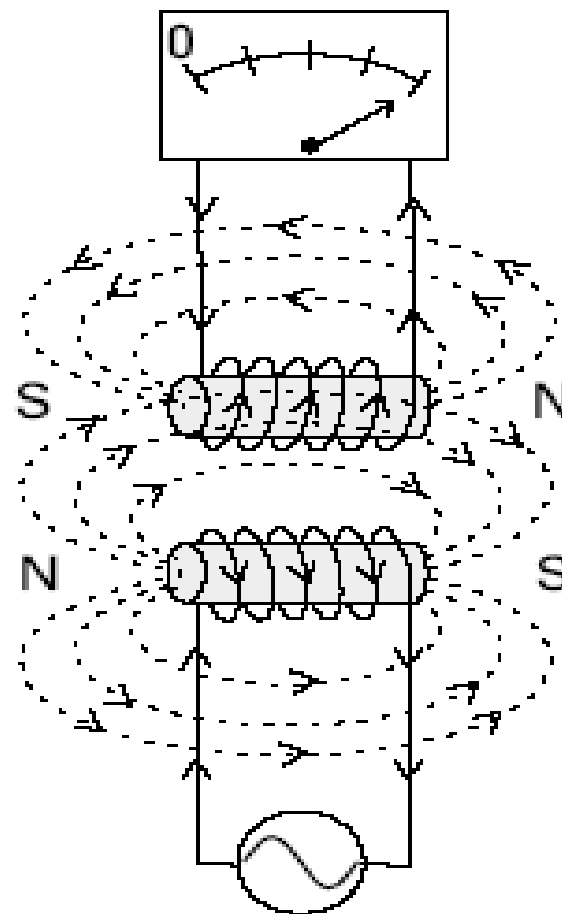
Βολτόμετρο



Βολτόμετρο



Βολτόμετρο



Τάση που επάγεται σε αγωγό που κινείται μέσα σε μαγνητικό πεδίο

- Η τιμή της επαγόμενης τάσης δίνεται από την σχέση:

$$E = Blv$$

όπου

E = η επαγόμενη τάση (V)

B = πυκνότητα μαγνητικού πεδίου (T)

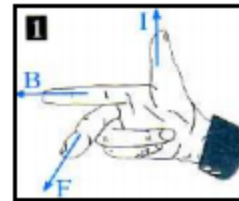
l = ενεργό μήκος του αγωγού μέσα στο μαγνητικό πεδίο (m)

v = σχετική ταχύτητα του αγωγού (m/s)

Η πολικότητα της επαγόμενης τάσεως δίνεται από τον κανόνα του δεξιού χεριού.

Δύναμη (Laplace) που δημιουργείται

- Η δύναμη που ασκείται σε ρευματοφόρο αγωγό, λόγω της αλληλεπίδρασης μεταξύ του ρεύματος και της μαγνητικής ροής δημιουργεί την κίνηση του αγωγού με ορισμένη ταχύτητα.
- Η δύναμη Laplace έχει :
 - Σημείο εφαρμογής: το μέσον του τμήματος του ρευματοφόρου αγωγού που βρίσκεται μέσα στο
 - μαγνητικό πεδίο.
 - Διεύθυνση: καθετή στο επίπεδο των B και ℓ (ή των B και I).
 - Φορά: που δίνεται από τον κανόνα των τριών δακτύλων του δεξιού χεριού (Κανόνας FBI).



$$F = i\ell B$$

Δύναμη που ασκείται πάνω στον αγωγό

Η κατεύθυνση της δύναμης δίνεται από τον κανόνα του δεξιού χεριού.

Παραγωγή ενός μαγνητικού πεδίου

Σημαντικά μεγέθη του μαγνητισμού:

Μαγνητική ροή (Φ)

Το σύνολο των μαγνητικών γραμμών που εξέρχονται από τον βόρειο πόλο ενός μαγνήτη και εισέρχονται στον νότιο εκφράζονται από την μαγνητική ροή (Φ).

Μονάδα μέτρησης της είναι το Weber (Wb).

Παραγωγή μαγνητικού πεδίου

- Πυκνότητα μαγνητικής ροής ή μαγνητική επαγωγή (B)

Ορίζεται η μαγνητική ροή ανά μονάδα εμβαδού μιας επιφάνειας που είναι κάθετη στην κατεύθυνση των μαγνητικών γραμμών

$$B = \frac{\Phi}{A}$$

- Μονάδα μέτρησης της είναι το Tesla (T)

$$T = \frac{Wb}{m^2}$$

Παραγωγή μαγνητικού πεδίου

Μαγνητεγερτική δύναμη

Η ένταση του μαγνητικού πεδίου εξαρτάται από το πόσο ρεύμα ρέει μέσα στο πηνίο .

Το γινόμενο του ρεύματος επί των αριθμό των στροφών που έχει το πηνίο ονομάζεται μαγνητεγερτική δύναμη (ΜΕΔ) και εκφράζεται σε αμπεροστροφές (At).

$$ΜΕΔ = N \cdot I$$

Ένταση μαγνητικού πεδίου (H)

$$H = \frac{N \cdot I}{l}$$

Όπου l το μήκος του πηνίου σε m.

Μονάδα μέτρησης At/m (αμπεροστροφές ανά μέτρο).

Μαγνητικά κυκλώματα

Αναλογία : ηλεκτρικό κύκλωμα και μαγνητικό κύκλωμα

Σχέση ηλεκτρικού κυκλώματος:

$$V = I \cdot R$$

Σχέση μαγνητικού κυκλώματος:

$$N \cdot I = \Phi \cdot \mathcal{R}$$

Μαγνητική διαπερατότητα

- Η μαγνητική διαπερατότητα (μ) ενός μαγνητικού υλικού, εκφράζει την ικανότητα του υλικού να συγκεντρώνει τη μαγνητική ροή.
- Κάθε υλικό που μαγνητίζεται εύκολα έχει μεγάλη μαγνητική διαπερατότητα.
- Ένα μέτρο της μαγνητικής διαπερατότητας σε σύγκριση με εκείνο του αέρα είναι η σχετική διαπερατότητα (μ_r).

$$\mu = \mu_r \cdot \mu_0$$

όπου μ_0 η μαγνητική διαπερατότητα του κενού:

$$\mu_0 = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \left(\frac{T \cdot m}{A} \right)$$

Μαγνητικός κορεσμός και υστέρηση σε εναλλασσόμενου ρεύματος μαγνητικό πεδίο

Το εφαρμοζόμενο πεδίο μειώνεται. Ο μαγνητισμός μειώνεται μέσω διαφ. Καμπύλης, δεδομένου όμως ότι ο σίδηρος έχει την τάση να διατηρεί μαγνητισμένο κατάσταση - ως εκ τούτου παράγεται μόνιμος μαγνήτης,, Φη παραμένουσα

Αύξηση μαγνητισμού

Ο σίδηρος καθίσταται μαγνητικά κορεσμένος

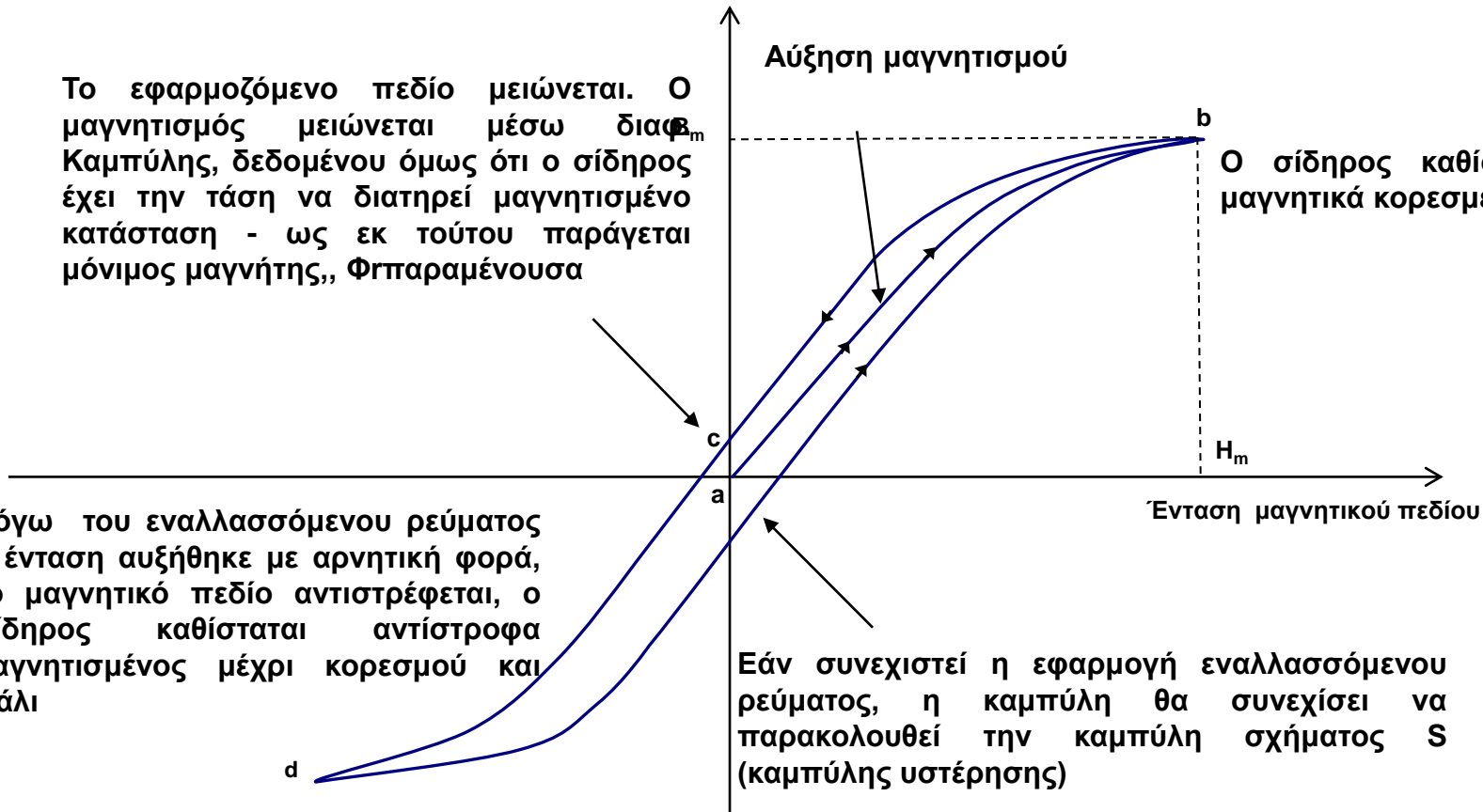
Λόγω του εναλλασσόμενου ρεύματος η ένταση αυξήθηκε με αρνητική φορά, το μαγνητικό πεδίο αντιστρέφεται, ο σίδηρος καθίσταται αντίστροφα μαγνητισμένος μέχρι κορεσμού και πάλι

Εάν συνεχιστεί η εφαρμογή εναλλασσόμενου ρεύματος, η καμπύλη θα συνεχίσει να παρακολουθεί την καμπύλη σχήματος S (καμπύλης υστέρησης)

Ένταση μαγνητικού πεδίου

Η περιοχή που περικλείεται από την καμπύλη υστέρησης, είναι απώλεια ενέργειας ανά μονάδα όγκου ανά κύκλο - θερμαίνει το σίδηρο και είναι ένας λόγος για τον οποίο οι ηλεκτρικές μηχανές ζεσταίνονται.

Ως εκ τούτου, πρέπει να επιλέγονται μαγνητικά υλικά που έχουν στενό βρόγχο υστέρησης.



Απώλειες υστέρησης

- Κατά τη διάρκεια ενός κύκλου της μεταβολής του i , υπάρχει μια καθαρή ροή ενέργειας από την πηγή προς τη διάταξη πηνίου-πυρήνα και επιστροφή ενέργειας στην πηγή.
- Η ενέργεια που ρέει είναι μεγαλύτερη από την ενέργεια που επιστρέφεται.
- Αυτή η απώλεια ενέργειας καταλήγει στη θέρμανση του πυρήνα.
- Η απώλεια της ισχύος στον πυρήνα λόγω της επίδρασης υστέρησης, ονομάζεται απώλεια υστέρησης.

Απώλειες δινορρευμάτων (Eddy ρεύματα)

- Τάση θα επαχθεί στη μάζα του μαγνητικού πυρήνα, λόγω της μεταβολής της μαγνητικής ροής.
- Ένα ρεύμα, γνωστός ως ρεύμα eddy θα ρέει όλο τον πυρήνα.
- Επειδή ο πυρήνας έχει αντίσταση, η απώλεια ισχύος θα είναι το αποτέλεσμα από την ύπαρξη του ρεύματος eddy και εμφανίζεται ως θερμότητα στον πυρήνα.

Απώλειες δινορρευμάτων (Eddy ρεύματα)

- Τα ρεύματα Eddy μπορούν να μειωθούν με 2 τρόπους :
 1. Προσθέτοντας ένα μικρό ποσοστό πυριτίου στο σίδηρο για να αυξηθεί η αντίσταση.
 2. Με πυρήνα κατασκευασμένο από ελάσματα με λεπτά στρώματα και θερμικά μονωμένα το ένα από το άλλο.

Απώλειες υστέρησης + Απώλειες δινορρευμάτων = Απώλειες πυρήνα ή σιδήρου