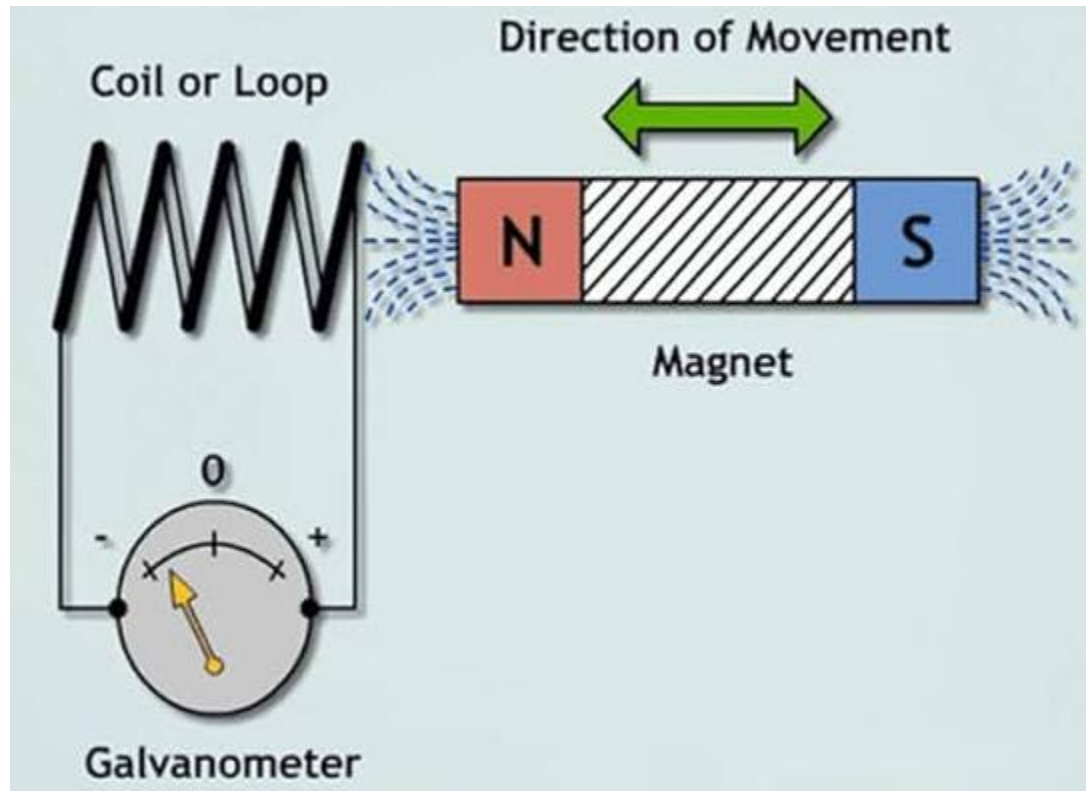


# Ηλεκτρομαγνητική Επαγωγή (Electromagnetic Induction)



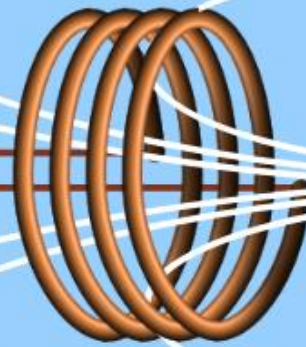
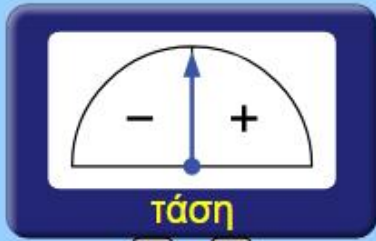
<http://blogs.sch.gr/imarinakis>

<http://imarinakis.mysch.gr/>

# Ηλεκτρεγερτική δύναμη (τάση) εξ' επαγωγής

γαλβανόμετρο

Περίπτωση α'



μαγνήτης

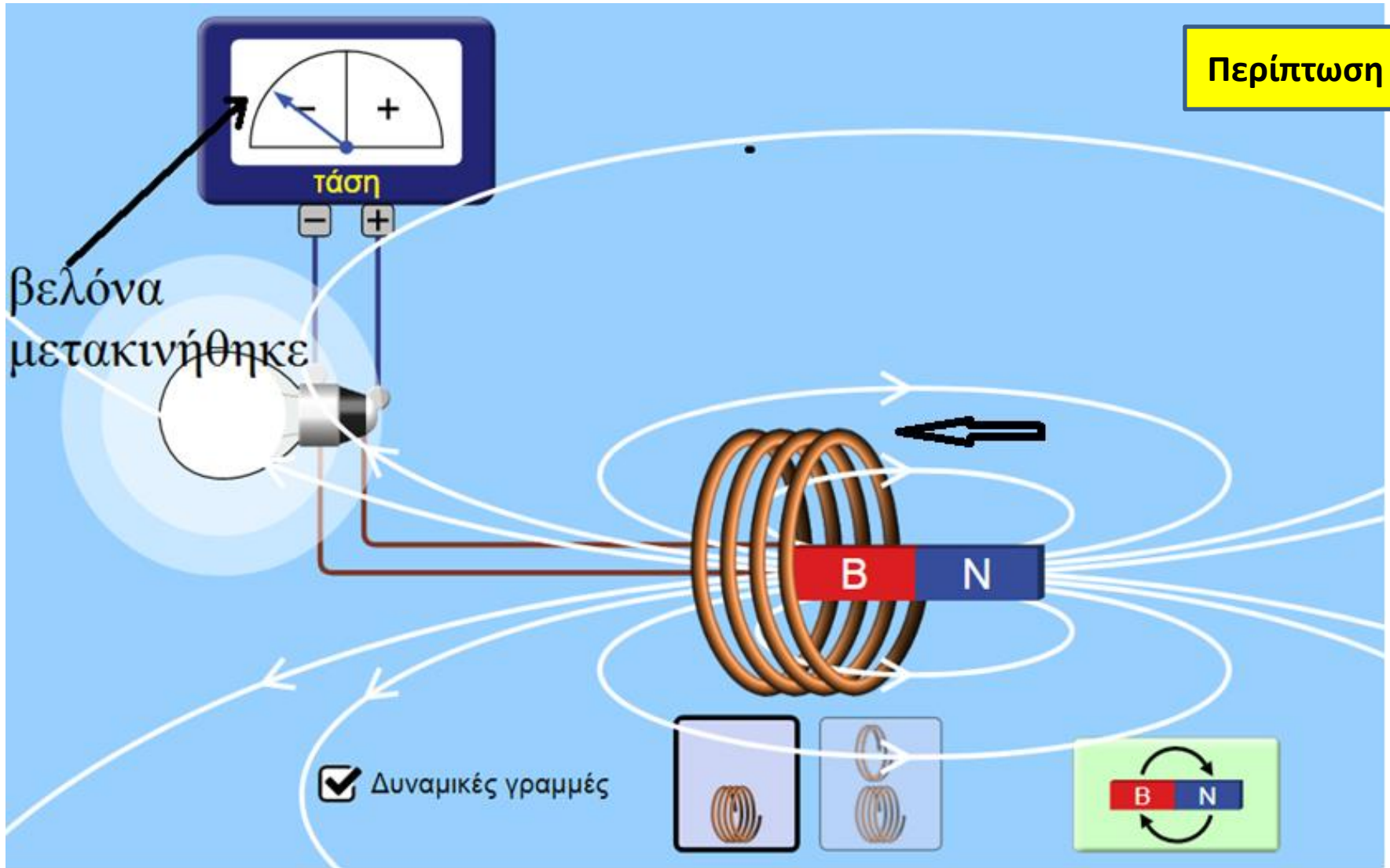


Δυναμικές γραμμές

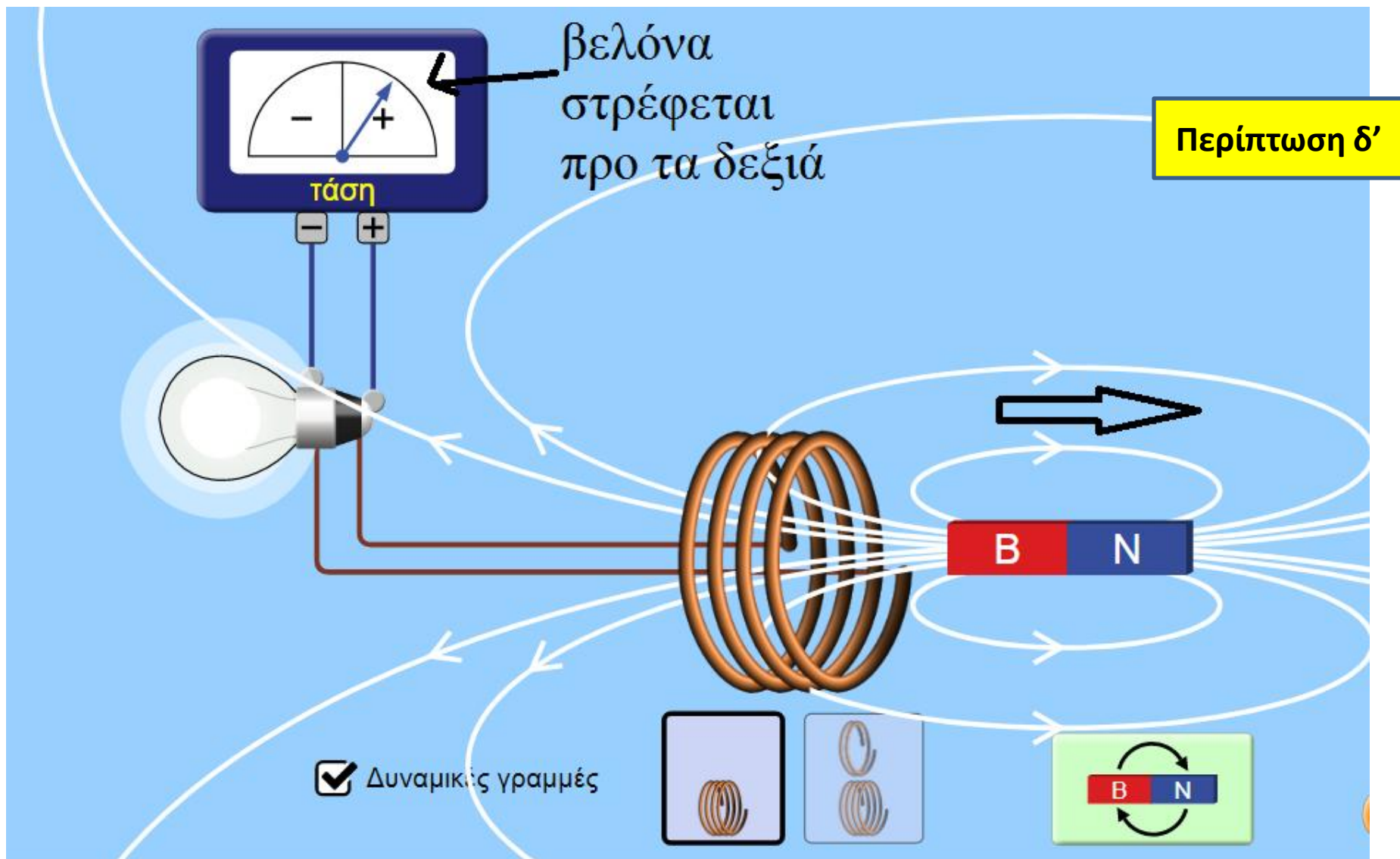


Όσο ο μόνιμος μαγνήτης είναι ακίνητος το γαλβανόμετρο δείχνει ότι από το πηνίο δεν περνάει ρεύμα .

Περίπτωση β'



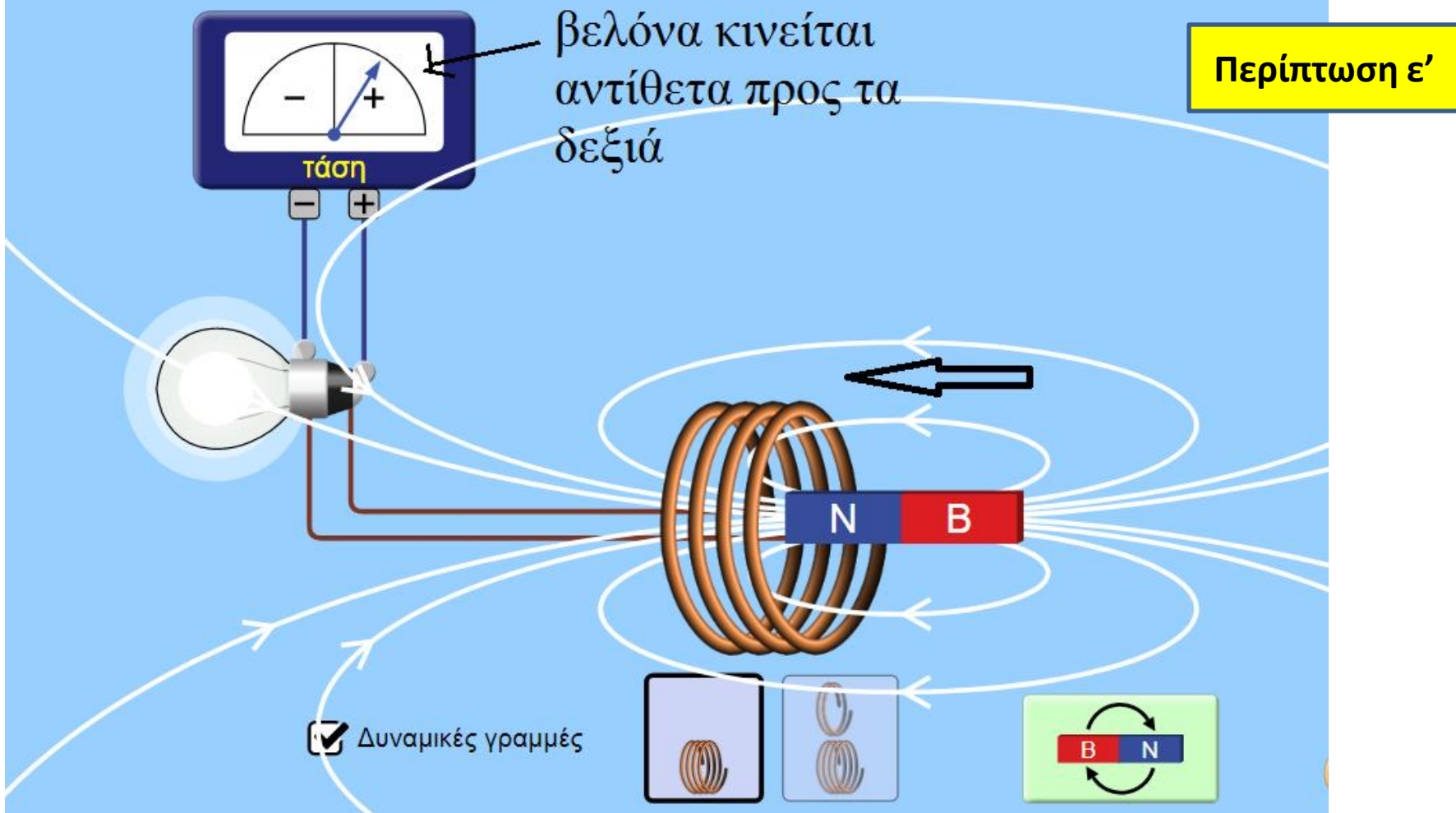
Όσο ο μαγνήτης μετακινείται προς το πηνίο, η βελόνα του γαλβανομέτρου στρέφεται προς τα δεξιά.



Όσο ο μαγνήτης μετακινείται απομακρυνόμενος από το πηνίο, η βελόνα στρέφεται προς τα δεξιά.

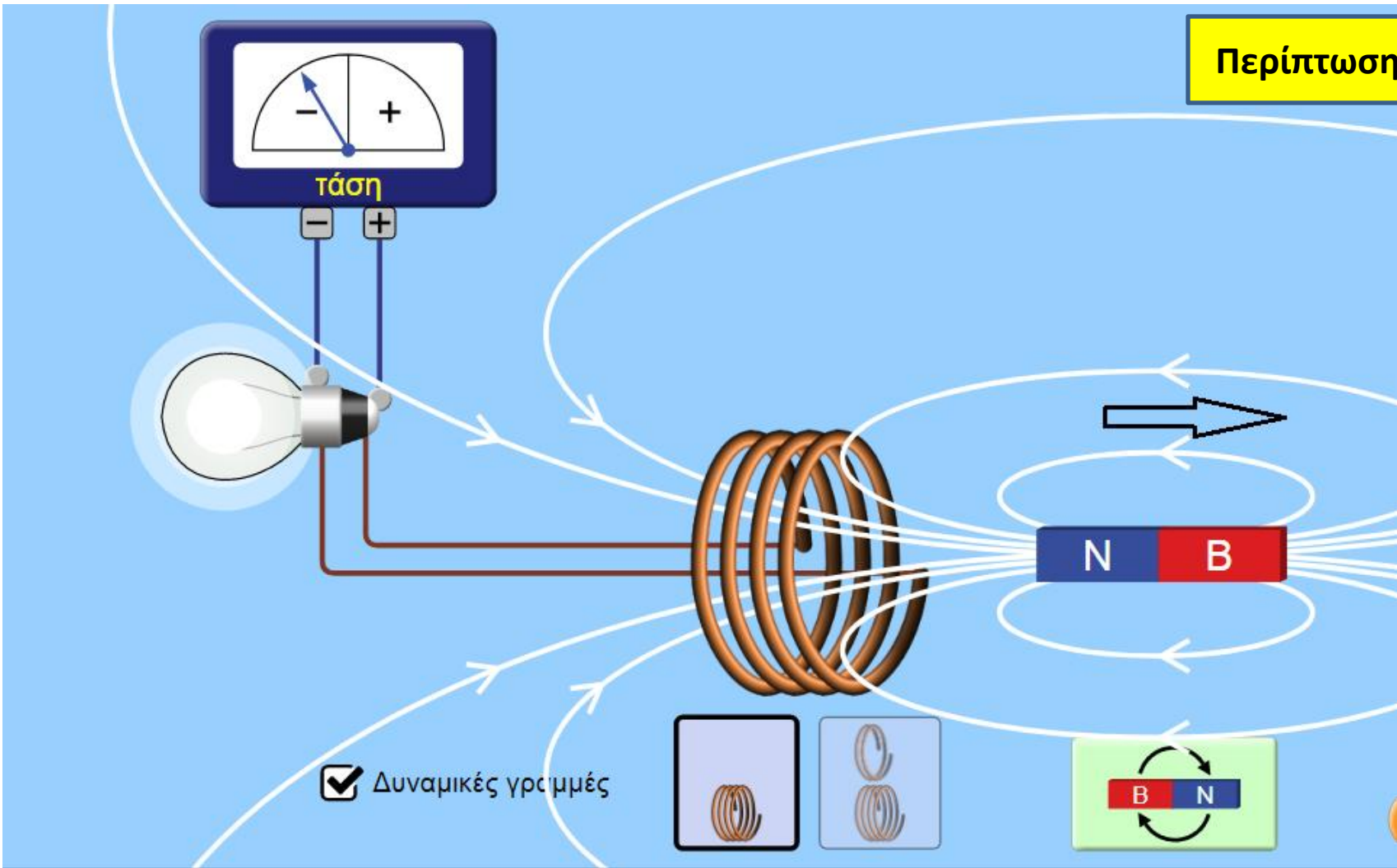
**Συμπέρασμα:** Όση ώρα μετακινείται ο μαγνήτης το πηνίο δέχεται μεταβλητό μαγνητικό πεδίο. Επομένως, **ένα μεταβαλλόμενο μαγνητικό πεδίο επάγει σε ένα ηλεκτρικό κύκλωμα (πχ πηνίο) ηλεκτρεγερτική δύναμη.** Η τάση αυτή ονομάζεται **Ηλεκτρεγερτική Δύναμη εξ Επαγωγής.**

Συγκεκριμένα όταν ο μαγνήτης πλησιάζει προς το πηνίο το μαγνητικό πεδίο που δέχεται, από τον μαγνήτη, αυξάνεται. Ενώ όταν το μαγνητικό πεδίο του πηνίου μειώνεται, όταν ο μαγνήτης απομακρύνεται, η επαγόμενη τάση άρα και ρεύμα αλλάζουν φορά.



Εάν αντιστραφεί η θέση του μαγνήτη, κατά το πλησίασμα του μαγνήτη προς το πηνίο η βελόνα πάει προς τα δεξιά δηλαδή αντίθετα όπως συνέβη στην περίπτωση «β».

Περίπτωση στ'



Ενώ όταν ο μαγνήτης απομακρύνεται η βελόνα του γαλβανομέτρου στρέφεται αντίθετα από ότι είχε στραφεί στην περίπτωση «γ».

## Νόμος του Faraday & νόμος του Lenz

Ο Faraday υπολόγισε την εξ επαγωγής αναπτυσσόμενη ηλεκτρεγερτική δύναμη (ΗΕΔ).

$$E = \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = \frac{\Phi_2 - \Phi_1}{t_2 - t_1}$$

Όπου,  $\Delta\Phi/\Delta t$  είναι ο ρυθμός της μεταβολής της μαγνητικής ροής που δέχεται η κάθε σπείρα του πηνίου πηνίο.

Στην περίπτωση «β'» όταν πλησιάζει ο μαγνήτης προς το πηνίο, η μαγνητική ροή την στιγμή  $t_1$  είναι  $\Phi_1 = \Phi_{\min}$  ενώ την στιγμή  $t_2$  που εισέρχεται στο πηνίο είναι  $\Phi_2 = \Phi_{\max}$ . Δηλαδή, η ροή αυξάνεται κατά  $\Delta\Phi = \Phi_2 - \Phi_1$ . Άρα:

$$E = \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = \frac{\Phi_2 - \Phi_1}{t_2 - t_1} = \frac{\Phi_{\max} - \Phi_{\min}}{t_2 - t_1}$$

Επομένως, το πηλίκον  $\Delta\Phi/\Delta t$  δηλαδή, ο ρυθμός της μεταβολής της μαγνητικής ροής που δέχεται η κάθε σπείρα του πηνίου, είναι θετική:

$$E = \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} > 0$$



Στην περίπτωση «γ'» που ο μαγνήτης απομακρύνεται από το πηνίο την στιγμή  $t_1$  είναι  $\Phi_1 = \Phi_{max}$  ενώ την στιγμή  $t_2$  που εισέρχεται στο πηνίο είναι  $\Phi_2 = \Phi_{min}$ . Δηλαδή, η ροή μειώνεται κατά  $\Delta\Phi = \Phi_2 - \Phi_1$ . Άρα:

$$E = \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = \frac{\Phi_2 - \Phi_1}{t_2 - t_1} = \frac{\Phi_{min} - \Phi_{max}}{t_2 - t_1}$$

Επομένως, το πηλίον  $\Delta\Phi/\Delta t$  δηλαδή, ο ρυθμός της μεταβολής της μαγνητικής ροής που δέχεται η κάθε σπείρα του πηνίου, είναι αρνητική:

$$E = \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} < 0$$

**1<sup>ο</sup> Συμπερασμα:** Η επαγόμενη ηλεκτρεγερτική δύναμη είναι ανάλογη του ρυθμού μεταβολής του μαγνητικού πεδίου, δηλαδή, της ταχύτητας που μετακινείται ο μαγνήτης.

Αφού σε κάθε σπείρα δημιουργείται ηλεκτρεγερτική δύναμη  $\Delta\Phi/\Delta t$ , στις  $N$  σπείρες του πηνίου η ηλεκτρεγερτική δύναμη θα είναι:

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

Προσθέτονται, δηλαδή, οι αναπτυσσόμενες ηλεκτρεγερτικές δυνάμεις κάθε σπείρα δεδομένου ότι αυτές βρίσκονται σε σειρά.

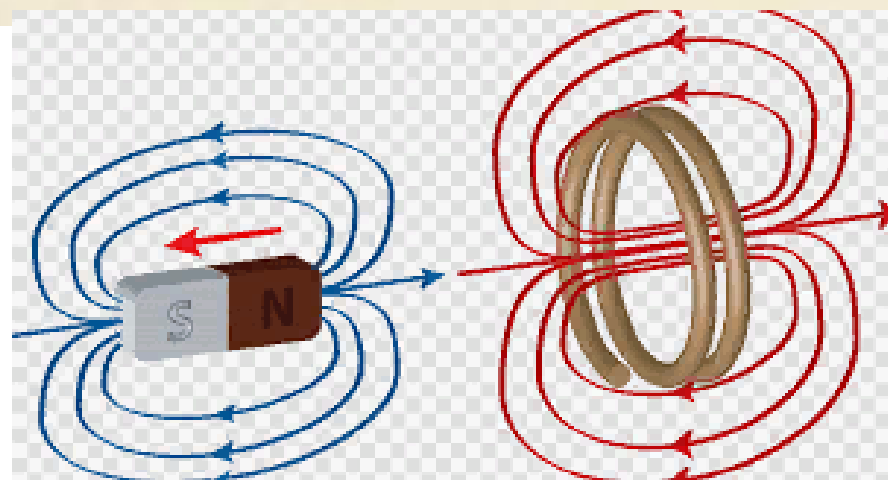
Από το νόμο του Φαραντέι προκύπτει πως η μονάδα της μαγνητικής ροής (βέμπερ) σχετίζεται με το βόλτ μέσω της σχέσεως:

$$E = \frac{\Delta\Phi \text{ [Weber]}}{\Delta t \text{ [second]}} = \frac{\Delta\Phi \text{ [Volt * Second]}}{\Delta t \text{ [second]}} = \text{[Volt]}$$

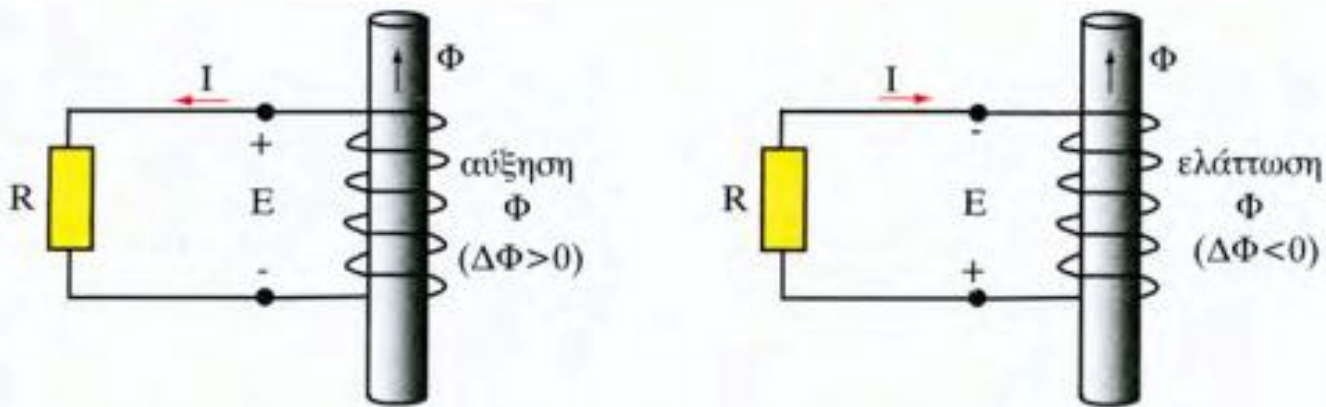
Για να προσδιορίσουμε τη φορά της επαγόμενης ΗΕΔ, πρέπει να θυμηθούμε την αντίσταση που συναντούμε όταν εισάγουμε ή απομακρύνουμε το μόνιμο μαγνήτη από το πηνίο του

Η αντίσταση αυτή δείχνει ότι το φαινόμενο της ηλεκτρομαγνητικής επαγωγής αντιδρά στη μεταβολή της μαγνητικής ροής που επιχειρείται και προσπαθεί να την εμποδίσει. Αυτή η ιδιότητα αποτυπώνεται στον παρακάτω κανόνα του Λέντς (Lenz):

□ Η αναπτυσσόμενη ΗΕΔ εξ επαγωγής σε ένα ηλεκτρικό κύκλωμα έχει φορά τέτοια, ώστε να εμποδίζει τη μεταβολή της μαγνητικής ροής που εμπλέκει το κύκλωμα.



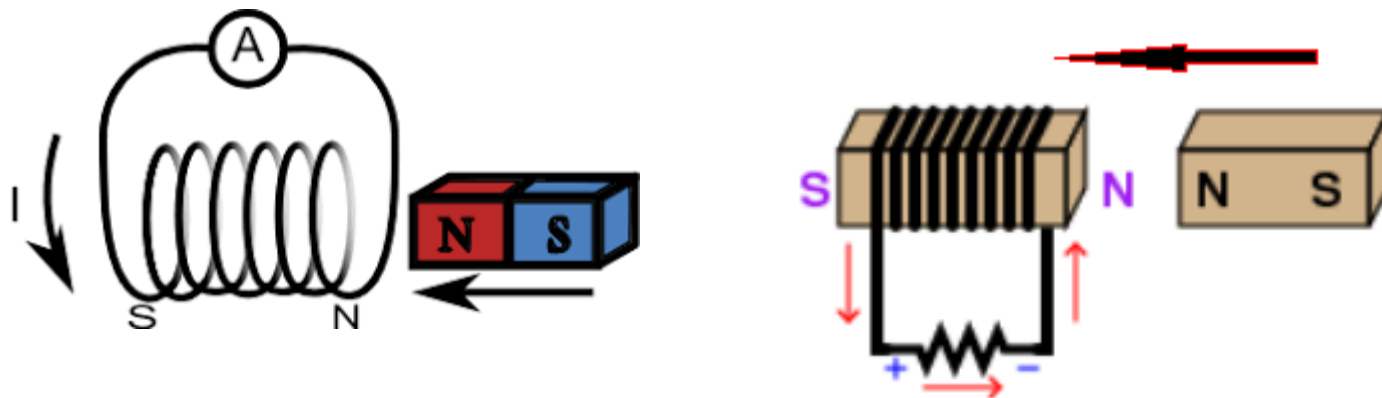
Συνεπώς σύμφωνα με τον νόμο του **Lenz**, το επαγόμενο ρεύμα αντιστέκεται (αντιδρά) στο αίτιο που το δημιουργεί, δηλαδή, στην μεταβολή του μαγνητικού πεδίου από την μετακίνηση του μαγνήτη.



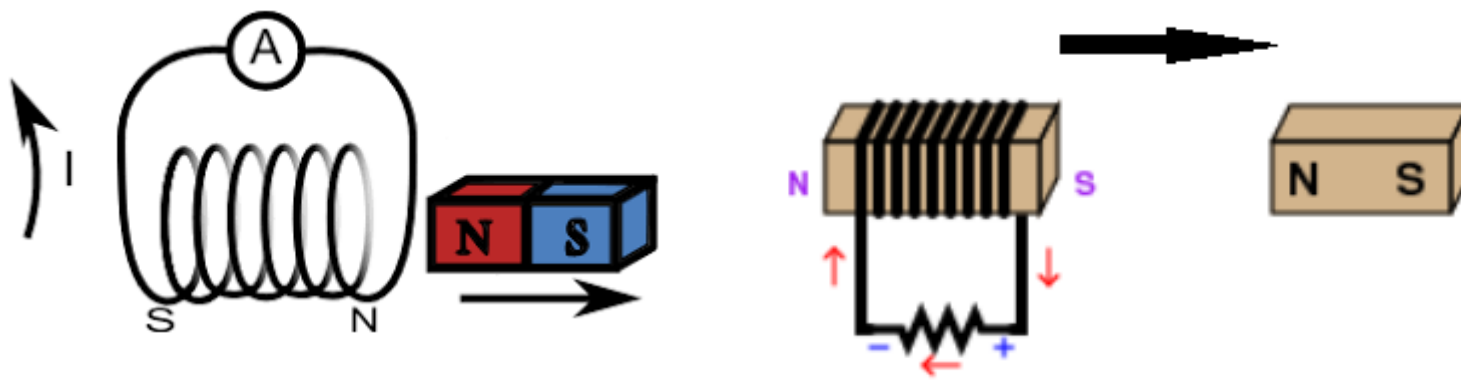
Εφαρμογή του κανόνα του Λέντς

Βλέπουμε δηλαδή ότι το φαινόμενο της ηλεκτρομαγνητικής επαγωγής έχει μια αναλογία με την αδράνεια που συναντάμε στη μηχανική. Όπως ένα σώμα τείνει να διατηρήσει την ταχύτητά του, έτσι και η μαγνητική ροή που εμπλέκει ένα ηλεκτρικό κύκλωμα έχει την τάση να διατηρείται σταθερή.

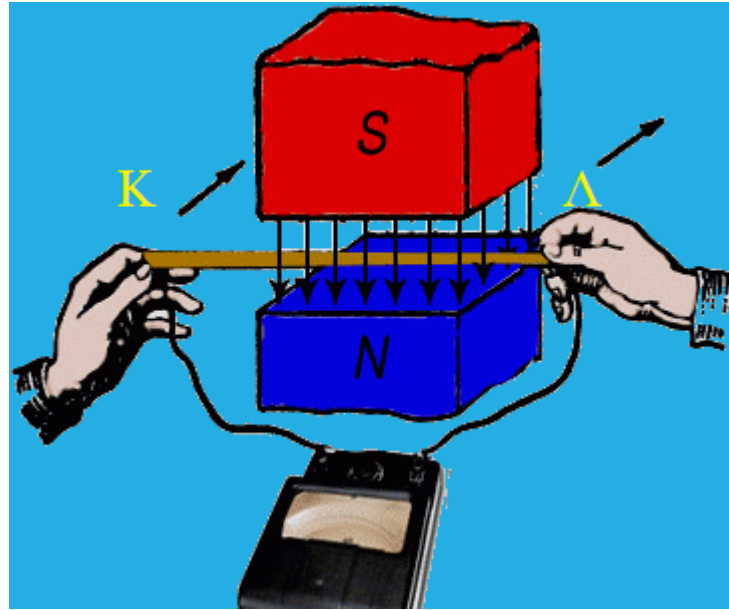
Δηλαδή, κατά το πλησίασμα του μαγνήτη προς το πηνίο η επαγόμενη ηλεκτρεγερτική δύναμη (ΗΕΔ) άρα και ρεύμα έχουν τέτοια φορά ώστε να δημιουργεί το πηνίο μαγνητικό πεδίο που να απωθεί τον εισερχόμενο μαγνήτη.



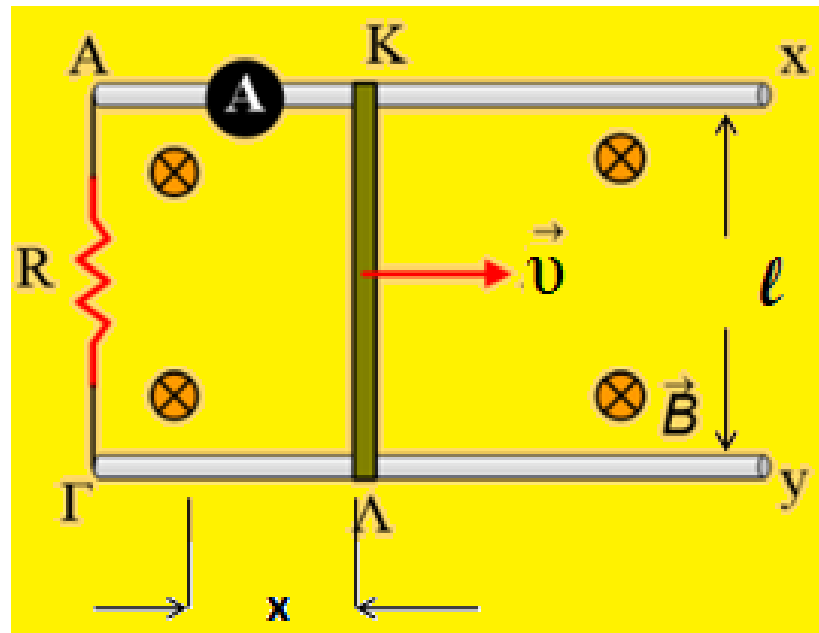
Ενώ κατά την απομάκρυνση του μαγνήτη, η ΗΕΔ αντιστρέφεται άρα και η φορά του μαγνητικού πεδίου, που δημιουργεί το επαγόμενο ρεύμα στο πηνίο, έλκοντας το μαγνήτη και εμποδίζοντας έτσι την απομάκρυνση του.



## Ηλεκτρεγερτική δύναμη εξ'επαγωγής σε ευθύγραμμο αγωγό.



Ένας ευθύγραμμος αγωγός Κ-Λ μήκους  $\ell$  κινείται με ταχύτητα  $\mathbf{u}$  κάθετα προς τις μαγνητικές δυναμικές γραμμές ενός ομοιόμορφου (ομοιγενούς) μαγνητικού πεδίου μαγνητικής επαγωγής  $\mathbf{B}$ .



Θεωρούμε ότι ο κινούμενος αγωγός ολισθαίνει πάνω σε δύο αγωγίμους οδηγούς, στο άκρο των οποίων συνδέεται μια ηλεκτρική αντίσταση  $R$ . Η μαγνητική ροή που περνάει από το ηλεκτρικό κύκλωμα που σχηματίζεται με αυτό τον τρόπο είναι ίση με:

$$\Phi = B \cdot S = B \cdot \ell \cdot x$$

όπου  $x$  είναι το μήκος που έχει διανύσει ο κινούμενος αγωγός πάνω στους δυο οδηγούς του. Προφανώς  $S = \ell x$  είναι η επιφάνεια του κυκλώματος, από την οποία περνά η μαγνητική ροή που εμπλέκει το ηλεκτρικό κύκλωμα.

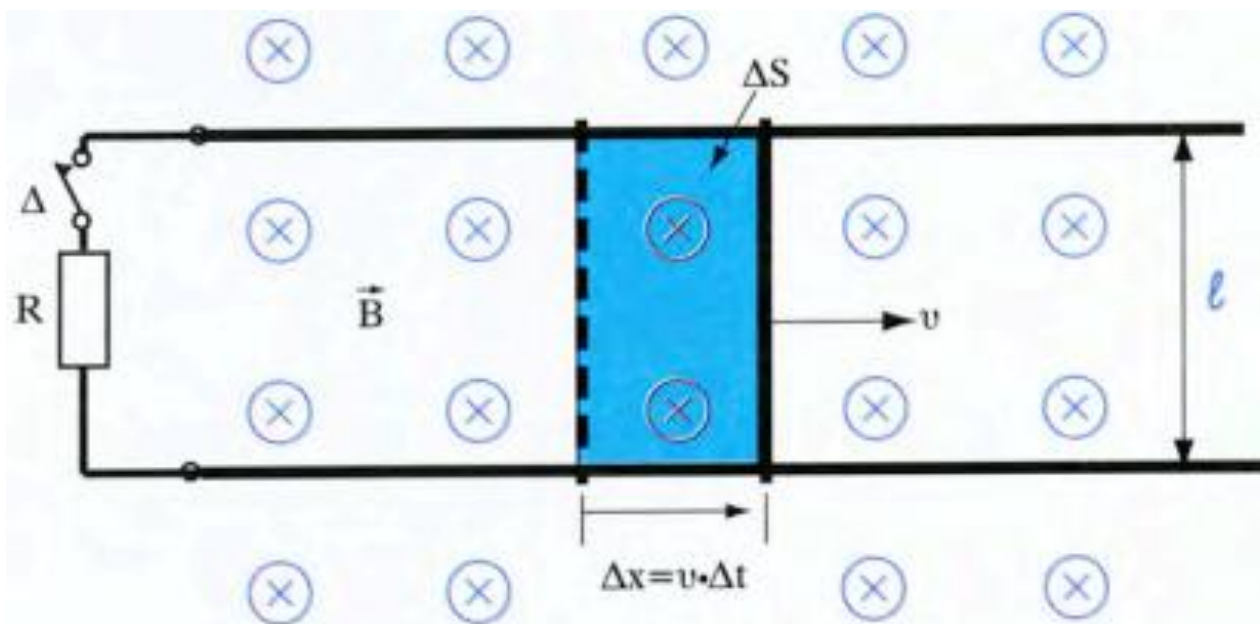
Η ταχύτητα  $v$ , με την οποία κινείται ο αγωγός είναι ίση με  $\Delta x / \Delta t$ . Δηλαδή σε ένα χρονικό διάστημα  $\Delta t$  ο αγωγός θα έχει καλύψει μια απόσταση:

$$\Delta x = v \cdot \Delta t$$

όπως φαίνεται στο Σχήμα και θα έχει «σαρώσει» μια επιφάνεια:

$$\Delta S = \ell \cdot \Delta x = \ell \cdot v \cdot \Delta t$$





Ομογενές μαγνητικό πεδίο  
με σταθερή μαγνητική επαγωγή  $B$

*Επιφάνεια  $\Delta S$  για τον υπολογισμό του  $\Delta\Phi$*

Δεδομένου ότι η πυκνότητα της μαγνητικής ροής που δίνεται από τη μαγνητική επαγωγή  $B$  είναι σταθερή, η κίνηση του αγωγού αντιστοιχεί σε μεταβολή μαγνητικής ροής:

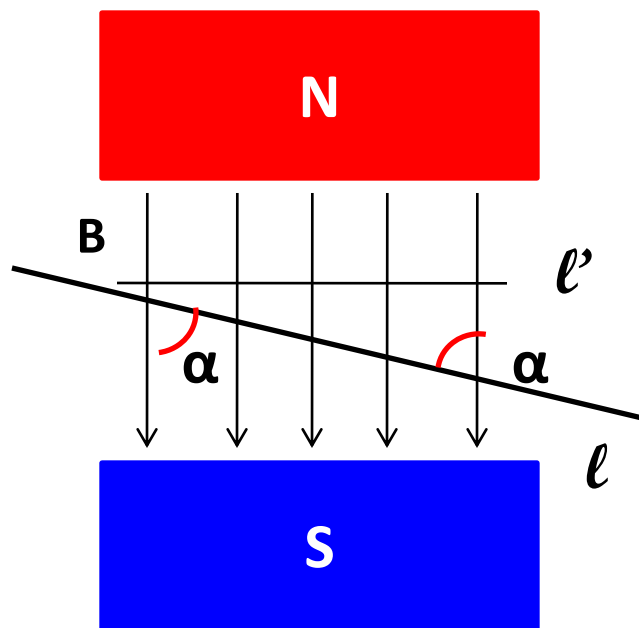
$$\Delta\Phi = B \cdot \Delta S = B \cdot \ell \cdot v \cdot \Delta t$$

Εφαρμόζοντας τον νόμο του Faraday:

$$E = \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = \frac{Blv\Delta t}{\Delta t} = Blv$$

$$E = Blv$$

Όταν ο αγωγός μήκους  $\ell$ , σχηματίζει γωνία  $\alpha$  με τις μαγνητικές δυναμικές γραμμές

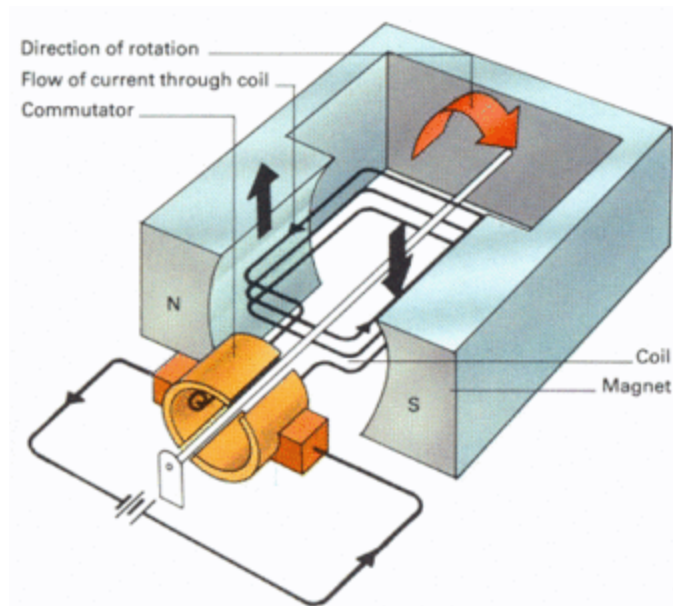
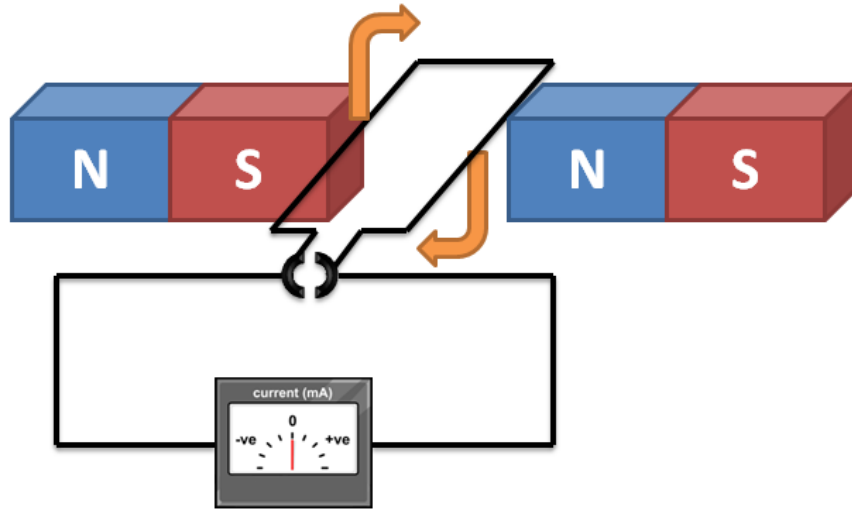


Ενεργό μήκος  $\ell'$  του αγωγού:

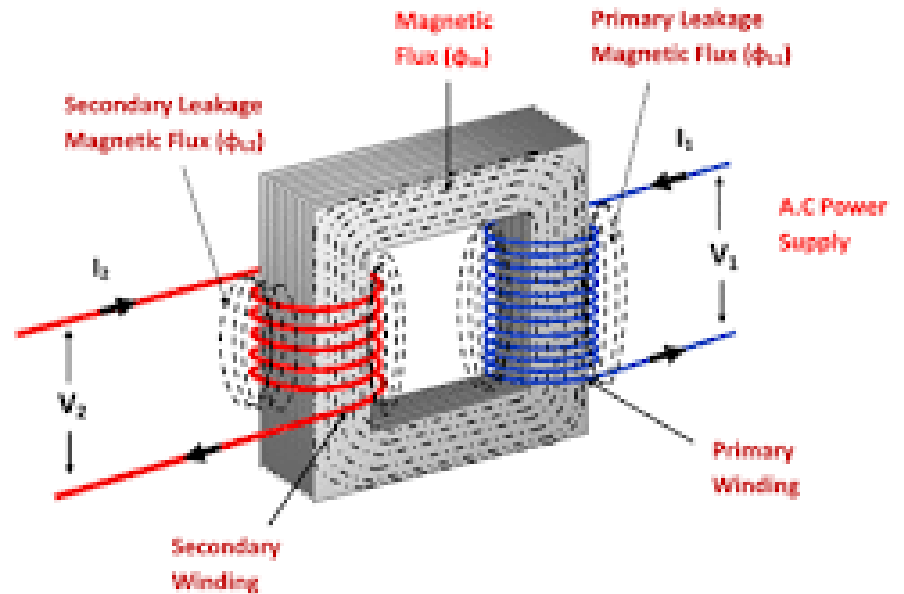
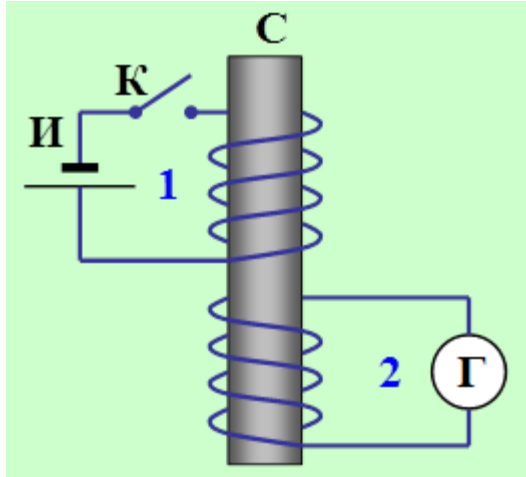
$$\eta\mu(\alpha) = \frac{\ell'}{\ell} \Rightarrow \ell' = \ell\eta\mu(\alpha)$$

$$E = Bv\ell' = Bv\ell\eta\mu(\alpha)$$

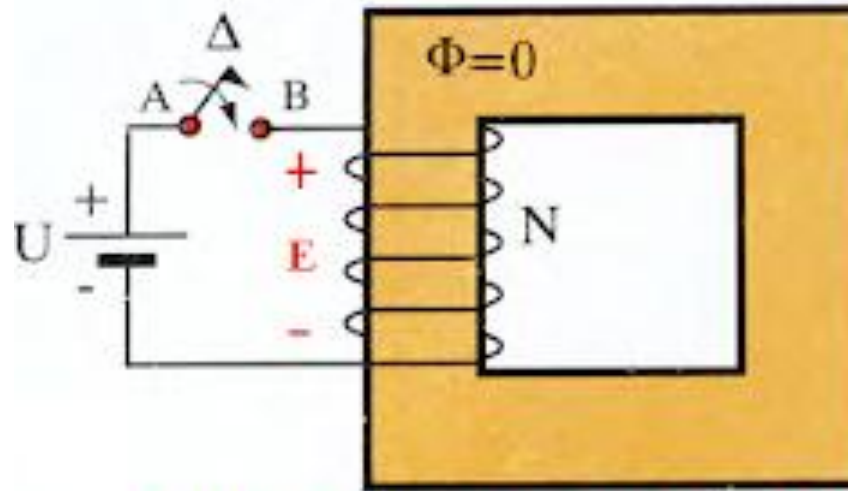
# Εφαρμογές Γεννήτριες



# Εφαρμογές Μετασχηματιστές

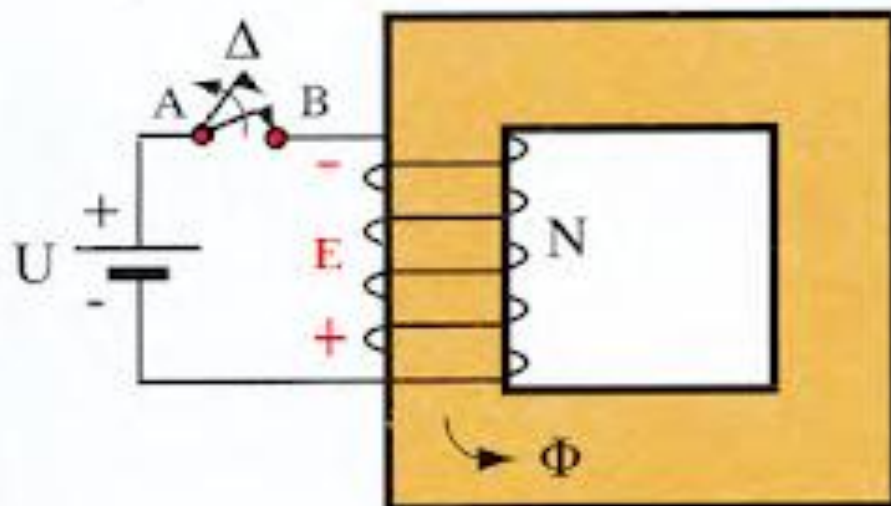


## Αυτεπαγωγή & Συντελεστής Αυτεπαγωγής



κλείσιμο διακόπτη (τροφοδότηση)

Μόλις κλείσει ο διακόπτης  $\Delta$ , η μαγνητική ροή που εμπλέκει το πηνίο θα αλλάξει. Έτσι το κλείσιμο του διακόπτη θα προκαλέσει την ανάπτυξη μιας ΗΕΔ στο πηνίο με πολικότητα, που να εμποδίζει την διέλευση του ρεύματος. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται αυτεπαγωγή. Γενικά οποιαδήποτε μεταβολή του ηλεκτρικού ρεύματος σε ένα κύκλωμα θα προκαλέσει την εμφάνιση μιας ΗΕΔ εξ αυτεπαγωγής, η οποία, σύμφωνα με τον κανόνα του Λεντς, θα αντιτίθεται στη μεταβολή αυτή.



άνοιγμα διακόπτη (διακοπή)

Εάν σε ένα κλειστό κύκλωμα ανοίξουμε ξαφνικά το διακόπτη  $\Delta$  θα εμφανιστεί μια ΗΕΔ από αυτεπαγωγή με την πολικότητα του Σχήματος. Στην περίπτωση αυτή, σύμφωνα με τον κανόνα του Λεντς, η ΗΕΔ τείνει να διατηρήσει τη ροή του ρεύματος.

- Αυτεπαγωγή είναι η εμφάνιση ΗΕΔ σε ένα κύκλωμα, που οφείλεται στη μεταβολή του ηλεκτρικού ρεύματος που διαρρέει το ίδιο το κύκλωμα.

$$\left. \begin{aligned} E &= N \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} \\ \Phi &= \frac{NI}{R_m} \end{aligned} \right\} \Rightarrow E = N^2 \frac{\Delta I}{R_m \Delta t} \rightarrow R_m = \frac{l}{S\mu}$$

$$\Phi = \frac{N \cdot I}{R_m} \Rightarrow$$

$$\Delta \Phi = \frac{N}{R_m} \Delta I$$

όπου  $\Delta \Phi$  είναι η μεταβολή της μαγνητικής ροής που οφείλεται σε μεταβολή ρεύματος  $\Delta I$

$$E = N^2 \frac{\frac{\Delta I}{l}}{\frac{S\mu}{\Delta t}} = \frac{N^2 S \mu \Delta I}{l \Delta t} = L \frac{\Delta I}{\Delta t}$$

Συντελεστής Αυτεπαγωγής  
(Coefficient of Induction)  
του πηνίου:

$$L = \frac{N^2 \mu S}{l} \text{ [Henry]}$$



Το μέγεθος που χαρακτηρίζει την αυτεπαγωγή είναι ο **συντελεστής αυτεπαγωγής**  $L$ . Αν το ρεύμα ενός κυκλώματος είναι  $I_1$  τη χρονική στιγμή  $t_1$  και μεταβληθεί, έτσι ώστε να πάρει την τιμή  $I_2$  κατά τη χρονική στιγμή  $t_2$ , η αναπτυσσόμενη ΗΕΔ από αυτεπαγωγή δίνεται από τον τύπο :

$$E = L \frac{I_2 - I_1}{t_2 - t_1} = L \cdot \frac{\Delta I}{\Delta t}$$

όπου  $\Delta I$  είναι η μεταβολή του ρεύματος μέσα στο χρονικό διάστημα  $\Delta t$ .

Η ΗΕΔ από αυτεπαγωγή είναι ανάλογη του ρυθμού μεταβολής του ρεύματος και ο συντελεστής αναλογίας είναι ο συντελεστής αυτεπαγωγής.

$$E = L \frac{\Delta I}{\Delta t} \Rightarrow L = \frac{E \text{ [Volt]}}{\Delta I \text{ [Ampere]}} \Delta t \text{ [second]} = \frac{\text{[Weber]}}{\text{[Ampere]}} = \text{[Henry]}$$

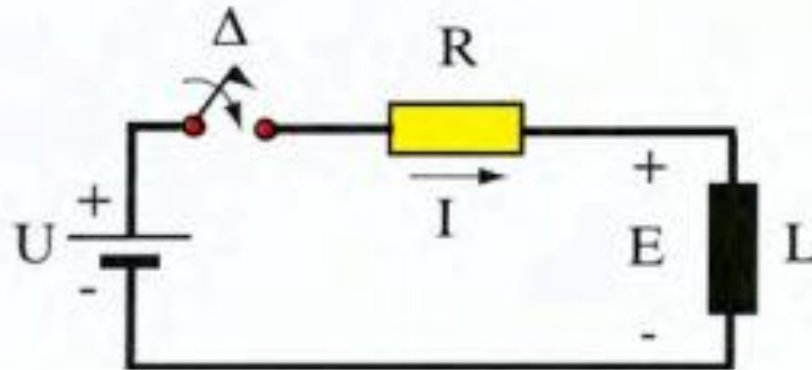
Ο συντελεστής αυτεπαγωγής  $L$  έχει μονάδα το Ανρί (1H)

$$L = \frac{N^2 \cdot \mu \cdot S}{\ell}$$

όπου  $\mu$  η μαγνητική διαπερατότητα,  $S$  η διατομή και  $\ell$  το μήκος του μαγνητικού κυκλώματος.

- Αν διπλασιάσουμε τις σπείρες ενός πηνίου τετραπλασιάζουμε το συντελεστή αυτεπαγωγής του.
- Ένα απλό κύκλωμα, δηλαδή ένα κύκλωμα που αποτελείται από μια και μόνο σπείρα ( $N=1$ ), έχει μικρό συντελεστή αυτεπαγωγής σε σχέση με ένα πηνίο που έχει πολλές σπείρες.
- Ένα πηνίο που δεν έχει πυρήνα από σιδηρομαγνητικό υλικό παρουσιάζει μεγαλύτερη μαγνητική αντίσταση και άρα έχει μικρότερο συντελεστή αυτεπαγωγής, σε σχέση με το ίδιο πηνίο, όταν έχει πυρήνα από σιδηρομαγνητικό υλικό.

## Μεταβατικό φαινόμενο σε κύκλωμα R-L



*Ηλεκτρικό κύκλωμα με αυτεπαγωγή και αντίσταση*

Η ΗΕΔ  $E$  που θα αναπτυχθεί λόγω αυτεπαγωγής θα έχει την πολικότητα που φαίνεται στο Σχ. 3.4.6α και στο Σχήμα ώστε να τείνει σύμφωνα με τον κανόνα του Λεντς να εμποδίσει την αύξηση του ηλεκτρικού ρεύματος. Δεδομένου ότι στο ηλεκτρικό κύκλωμα εμφανίζονται δυο τάσεις (η τάση τροφοδοσίας  $U$  και η ΗΕΔ λόγω αυτεπαγωγής  $E$ ) πρέπει να εφαρμόσουμε το νόμο τάσεων του Κίρχωφ, σύμφωνα με τον οποίο:

$$-U + RI + E = 0 \Rightarrow$$

$$E = U - I \cdot R$$

Ο ρυθμός αύξησης του ρεύματος  $\Delta I/\Delta t$  είναι ανάλογος, σύμφωνα με τον τύπο  $E = L \frac{\Delta I}{\Delta t}$ , με την ΗΕΔ εξ αυτεπαγωγής  $E$ . Ο ρυθμός αυτός είναι μεγαλύτερος τη χρονική στιγμή  $t=0$ , όταν δηλαδή κλείνουμε το διακόπτη. Τη χρονική αυτή στιγμή η ΗΕΔ λόγω αυτεπαγωγής  $E$  είναι ακριβώς ίση με την τάση τροφοδοσίας  $U$  και το ρεύμα είναι ακόμα μηδέν.

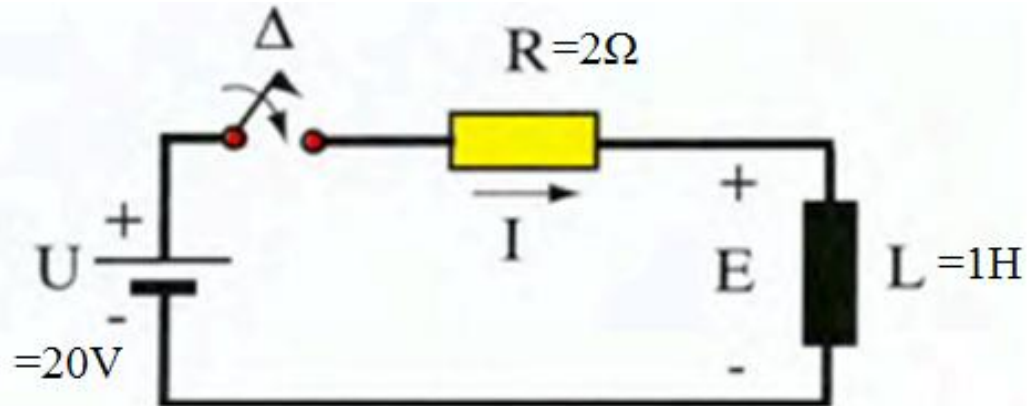
Στη συνέχεια, καθώς το ρεύμα αρχίζει να αυξάνει, η ΗΕΔ  $E$  και ο ρυθμός αύξησης του ρεύματος μειώνονται και η τιμή του ρεύματος πλησιάζει σταδιακά να φτάσει στην τιμή:

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

όπου η ΗΕΔ  $E=0$  και το ρεύμα παραμένει πλέον σταθερό.

## ΕΦΑΡΜΟΓΗ 1

Κλείσιμο διακόπτη



Ηλεκτρικό κύκλωμα με αυτεπαγωγή και αντίσταση

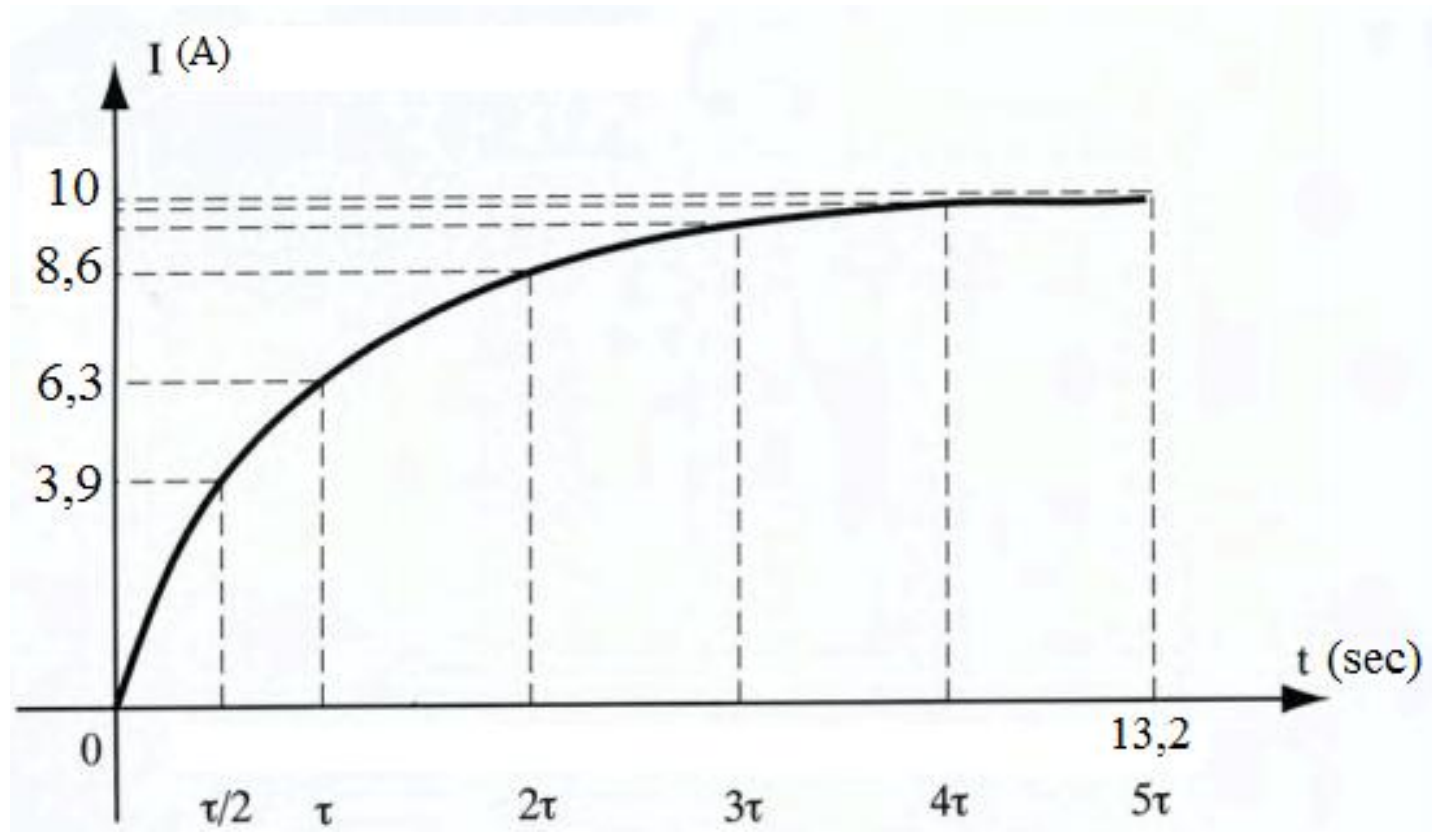
Την στιγμή  $t=0$ , που κλείνει ο διακόπτης η αναπτυσσόμενη τάση στο πηνίο είναι  $E=L(\Delta I/\Delta t)=U=20V$ .

$$-U + RI + E = 0 \Rightarrow I = \frac{U - E}{R} = \frac{20 - 20}{2} = \frac{0}{2} = 0A$$

Όταν σταθεροποιηθεί το ρεύμα του κυκλώματος τότε  $\Delta I/\Delta t=0$  άρα η  $E=0V$ , επομένως:

$$-U + RI + E = 0 \Rightarrow I = \frac{U - E}{R} = \frac{20}{2} = 10A$$

t(s)	I (A)	E (V)	$\Delta I/\Delta t$ (A/s)	$\Delta I$ (A)
0	0	20	20	2
0,1	2	16	16	1,6
0,2	3,6	12,8	12,8	1,3
0,3	4,9	10,2	10,2	1,0
0,4	5,9	8,2	8,2	0,8
0,5	6,7	6,6	6,6	0,7
0,6	7,4	5,2	5,2	0,5
0,7	7,9	4,2	4,2	0,4
0,8	8,3	3,4	3,4	0,3
0,9	8,6	2,8	2,8	0,3
1,0	8,9	2,2	2,2	0,2
1,1	9,1	1,8	1,8	0,2
1,2	9,3	1,4	1,4	0,1
1,3	9,4	1,2	1,2	0,1
1,4	9,5	1,0	1,0	0,1
1,5	9,6	0,8	0,8	0,1
1,6	9,7	0,6	0,6	0,1
1,7	9,8	0,4	0,4	0,04
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
Τελική τιμή	10	0	0	0



Ο λόγος του συντελεστή αυτεπαγωγής  $L$  προς την αντίσταση  $R$  ενός κυκλώματος ονομάζεται **χρονική σταθερά** ή **σταθερά χρόνου** του κυκλώματος.

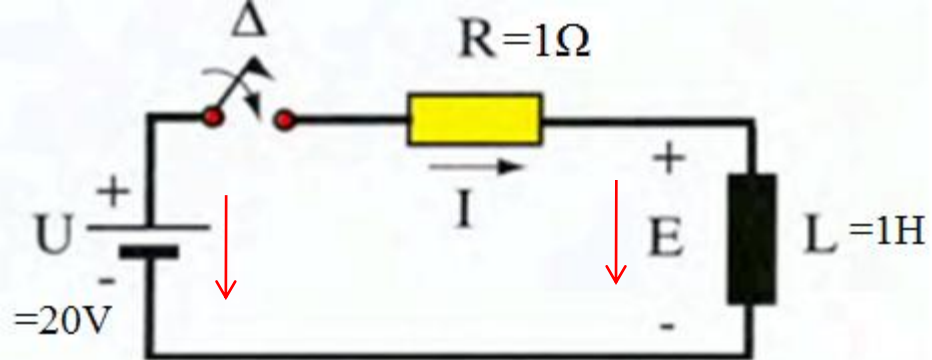
$$\tau = \frac{L}{R}$$

η σταθερά χρόνου  $\tau$  προκύπτει σε δευτερόλεπτα, αν αντικαταστήσουμε το  $L$  σε ανρλί και το  $R$  σε  $\omega\mu$ . Όσο μεγαλύτερη είναι η σταθερά χρόνου  $\tau$ , τόσο περισσότερος χρόνος απαιτείται για την αποκατάσταση του ρεύματος. Όσο μικρότερη είναι η σταθερά χρόνου  $\tau$ , τόσο πιο γρήγορα αποκαθίσταται το ρεύμα στην τελική του τιμή.

Όπως βλέπουμε λοιπόν, το ρεύμα θα αυξάνει σταδιακά και θα χρειαστεί 2 περίπου δευτερόλεπτα για να φτάσει πολύ κοντά στην τελική του τιμή  $I=U/R=10\text{A}$ . Σημειώνεται ότι οι παραπάνω υπολογισμοί είναι προσεγγιστικοί επειδή ο ρυθμός μεταβολής του ρεύματος δεν μένει σταθερός για  $0,1\text{ s}$ . Έχουν γίνει επίσης στρογγυλεύσεις σε πρώτο δεκαδικό ψηφίο.

Όσο μεγαλύτερος είναι ο συντελεστής αυτεπαγωγής  $L$  του κυκλώματος τόσο περισσότερος χρόνος θα χρειαστεί για να αποκατασταθεί το ρεύμα στην τελική του τιμή. Όμως, ο χρόνος αποκατάστασης επηρεάζεται επίσης από την τιμή της αντίστασης  $R$ . Για παράδειγμα αν πάρουμε στο παραπάνω κύκλωμα  $R=1\Omega$ , αντί για  $2\Omega$  που ήταν πριν, θα έχουμε τον παρακάτω πίνακα για τον υπολογισμό του ρεύματος, όταν κλείνει ο διακόπτης:

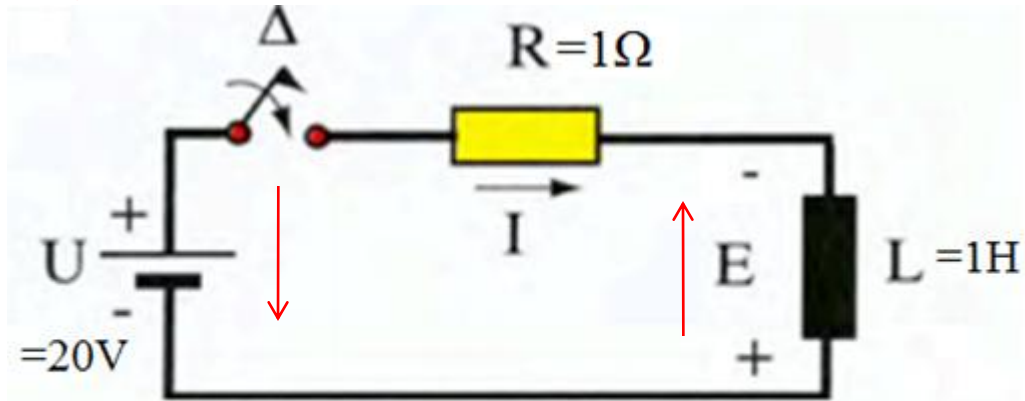




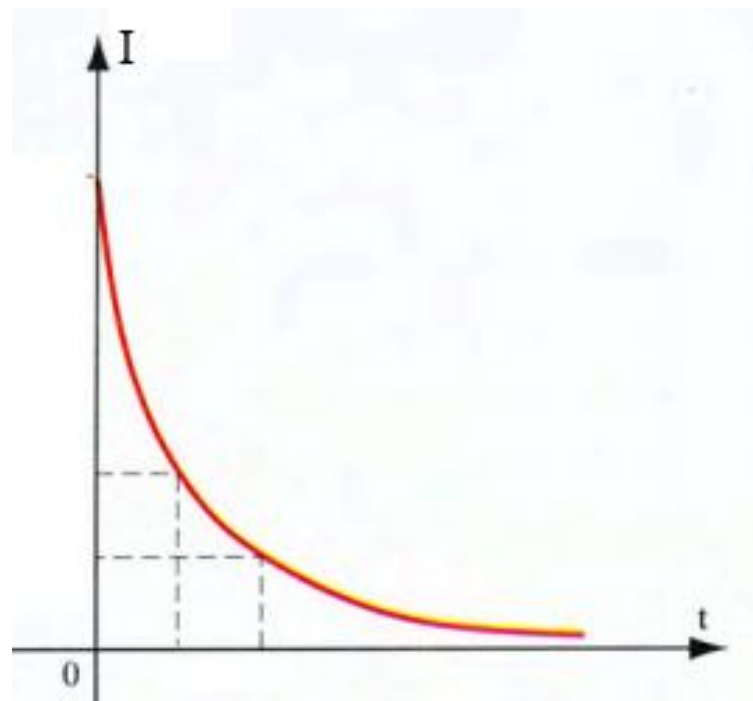
*Ηλεκτρικό κύκλωμα με αυτεπαγωγή και αντίσταση*

$t(\text{s})$	$I (\text{A})$	$E = U - IR$	$\Delta I/\Delta t (\text{A/s})$	$\Delta I (\text{A})$
0	0	20	20	2
0,1	2	19	19	1,9
0,2	3,9	16,1	16,1	1,6
0,3	5,5	14,5	14,5	1,5
0,4	7,0	13	13	1,3
0,5	8,3	11,7	11,7	1,2
0,6	9,5	10,5	10,5	1,1
0,7	10,6	9,4	9,4	0,9
0,8	11,5	8,5	8,5	0,9
0,9	12,4	7,6	7,6	0,8
1,0	13,2	6,8	6,8	0,7
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
Τελική τιμή	20	0	0	0

## Άνοιγμα διακόπτη

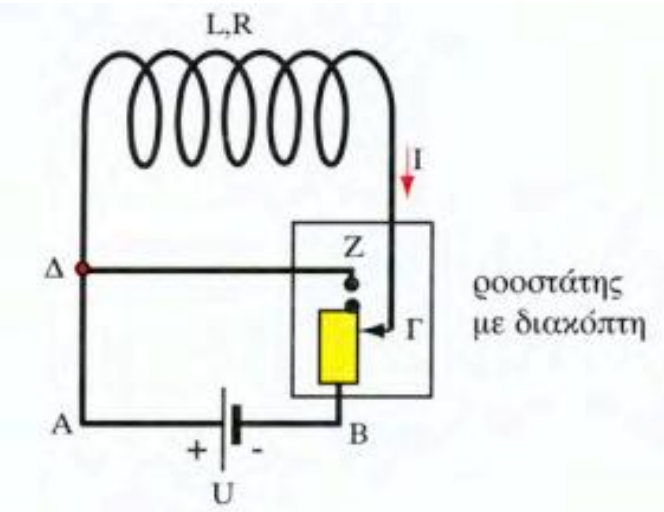


Ηλεκτρικό κύκλωμα με αυτεπαγωγή και αντίσταση

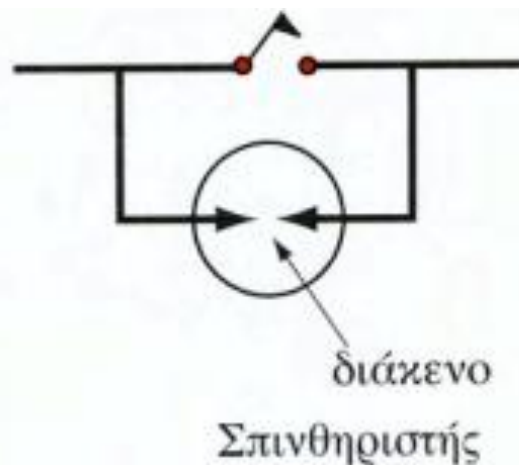


□ Κατά το άνοιγμα των διακοπών εμφανίζονται υπερτάσεις

Αποτέλεσμα αυτών των υπερτάσεων είναι να δημιουργείται πολλές φορές ένα **ηλεκτρικό τόξο** μεταξύ των επαφών του διακόπτη. Αυτό συνήθως φαίνεται σα μια λάμψη τη στιγμή ακριβώς που ανοίγει ο διακόπτης. Το τόξο αυτό, όταν παρουσιάζεται συνεχώς, έχει ως αποτέλεσμα την **καταστροφή** των επαφών του διακόπτη. Οι υψηλές ΗΕΔ από αυτεπαγωγή μπορεί επίσης να προκαλέσουν καταστροφή των μονώσεων των αγωγών.



Διακοπή μέσω ροοστάτη



MOV

#### Διατάξεις προστασίας από υπερτάσεις

Μια μέθοδος για την προστασία των εγκαταστάσεων από τις υπερτάσεις διακοπής είναι η εισαγωγή ενός αλεξικέραυνου παράλληλα προς το διακόπτη, έτσι ώστε το τόξο να μην περάσει από τις επαφές του διακόπτη. Τα αλεξικέραυνα αυτά έχουν τη μορφή σπινθηριστών ( Σχήμα ), ή αποτελούνται από ειδικούς ημιαγωγούς (Metal Oxide Varistors – MOV) από οξειδία μετάλλων, κυρίως ψευδάργυρου ( $ZnO$ ). Τα MOV εμφανίζουν πολύ μεγάλη αντίσταση υπό κανονικές συνθήκες, η οποία όμως μηδενίζεται λόγω μεταβολής της μικροδομής τους ( Σχήμα ), όταν επιβάλλεται μια μεταβατική υπέρταση, λόγω του ανοίγματος του διακόπτη.