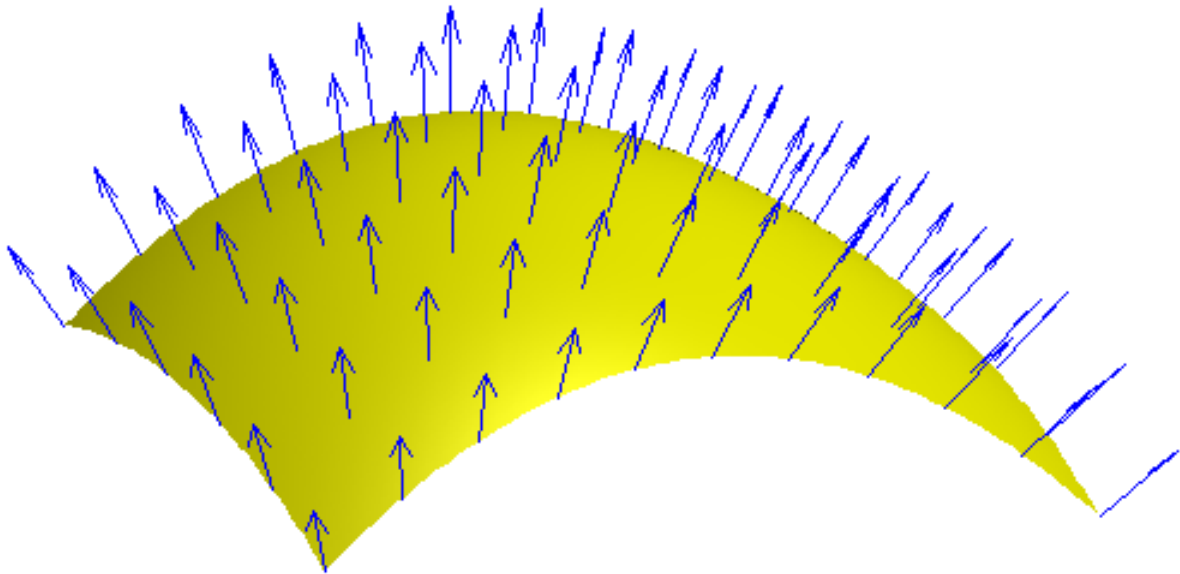


Μαγνητική ροή (Επανάληψη)



Η μαγνητική ροή Φ (flux) «μετράει» τις γραμμές του πεδίου που διασχίζουν μια επιφάνεια. Για επίπεδες επιφάνειες και σταθερό μαγνητικό πεδίο η μαγνητική ροή δίνεται από τον τύπο:

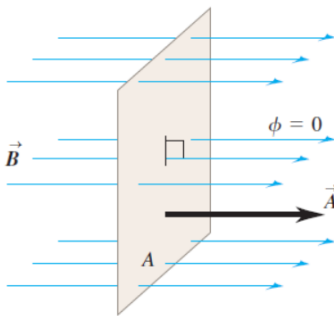
$$\Phi = \vec{B} \cdot \vec{A} = BA \cos \varphi = B_{\perp} A$$

όπου $\vec{B}$ ή ένταση του μαγνητικού πεδίου και $\vec{A}$ διάνυσμα κάθετο στην επιφάνεια με μέτρο ίσο με το εμβαδόν της επιφάνειας.

Οι μονάδες της μαγνητικής ροής ονομάζονται βέμπερ (Wb): $[\Phi] = [B][A] = \text{Wb} = \text{T} \cdot \text{m}^2 = \text{V} \cdot \text{s}$

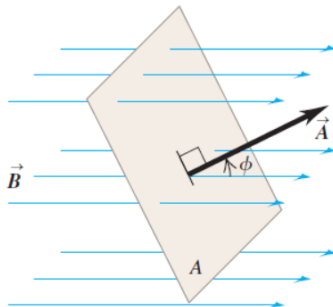
Surface is face-on to magnetic field:

- $\vec{B}$ and $\vec{A}$ are parallel (the angle between $\vec{B}$ and $\vec{A}$ is $\phi = 0$).
- The magnetic flux $\Phi_B = \vec{B} \cdot \vec{A} = BA$.



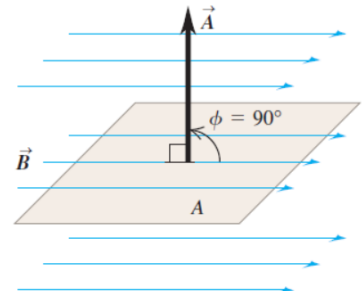
Surface is tilted from a face-on orientation by an angle ϕ :

- The angle between $\vec{B}$ and $\vec{A}$ is ϕ .
- The magnetic flux $\Phi_B = \vec{B} \cdot \vec{A} = BA \cos \phi$.



Surface is edge-on to magnetic field:

- $\vec{B}$ and $\vec{A}$ are perpendicular (the angle between $\vec{B}$ and $\vec{A}$ is $\phi = 90^\circ$).
- The magnetic flux $\Phi_B = \vec{B} \cdot \vec{A} = BA \cos 90^\circ = 0$.



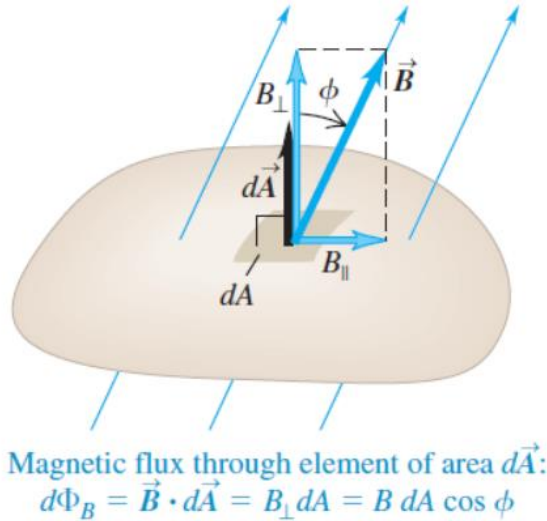
Όταν η επιφάνεια είναι κάθετη στο μαγνητικό πεδίο ($\vec{B}$ και $\vec{A}$ παράλληλα, $\varphi=0$) έχουμε μέγιστη ροή [πόρτα ορθάνοιχτη]

Όταν η επιφάνεια σχηματίζει γωνία φ με το μαγνητικό πεδίο δεν περνάνε από μέσα της όλες οι γραμμές [πόρτα μισόκλειστη]

Όταν η επιφάνεια είναι παράλληλη με το μαγνητικό πεδίο ($\vec{B}$ και $\vec{A}$ κάθετα) έχουμε μηδέν ροή [πόρτα κλειστή]

Όταν η επιφάνεια δεν είναι επίπεδη ή και το μαγνητικό πεδίο πάνω της δεν είναι σταθερό, τότε χωρίζουμε την επιφάνεια σε πολύ μικρά πλακάκια, τόσο μικρά που να είναι επίπεδα και το μαγνητικό πεδίο να έχει σταθερή ένταση σε όλη την έκτασή τους και προσθέτουμε τις επιμέρους ροές από όλα τα πλακάκια. Δηλαδή η μαγνητική ροή είναι το ολοκλήρωμα του μαγνητικού πεδίου πάνω στην επιφάνεια

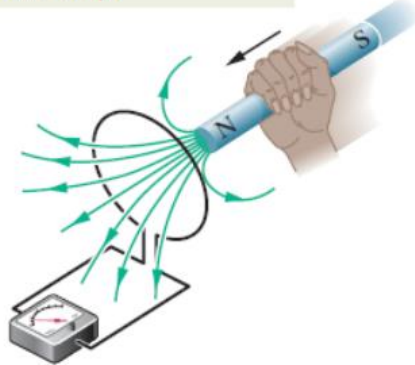
$$\text{Μαγνητική ροή : } \Phi = \int_A \vec{B} \cdot d\vec{A}$$



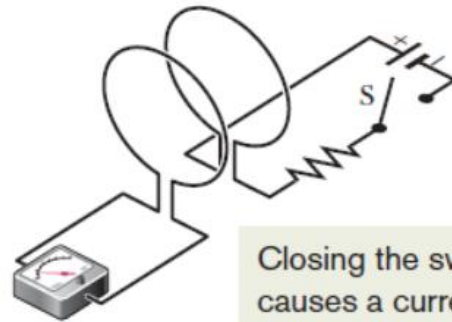
Ηλεκτρομαγνητική επαγωγή

Νόμος Faraday – Henry (1831)

The magnet's motion creates a current in the loop.



An ammeter registers a current in the wire loop when the magnet is moving with respect to the loop.



Closing the switch causes a current in the left-hand loop.

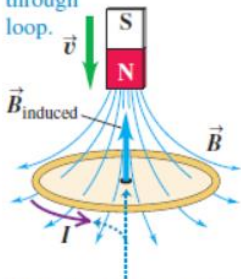
An ammeter registers a current in the left-hand wire loop just as switch S is closed (to turn on the current in the right-hand wire loop) or opened (to turn off the current in the right-hand wire loop). No motion of the coils is involved.

Όταν η μαγνητική ροή μέσα από κλειστό αγωγίμο βρόχο μεταβάλλεται, τότε εμφανίζεται στο βρόχο ηλεκτρεγερτική δύναμη (είναι σαν να συνδέσαμε το βρόχο με μπαταρία)

$$\mathcal{E} = -\frac{d\Phi}{dt}$$

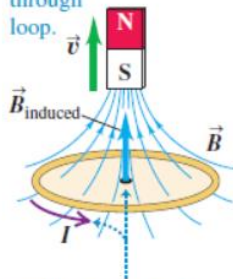
Νόμος Lenz : Το επαγωγικό αποτέλεσμα τείνει να αναιρέσει την αιτία που το προκάλεσε

(a) Motion of magnet causes increasing downward flux through loop.

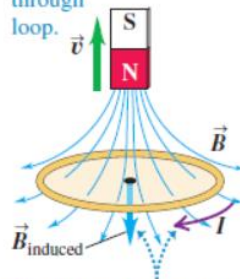


The induced magnetic field is *upward* to oppose the flux change. To produce this induced field, the induced current must be *counterclockwise* as seen from above the loop.

(b) Motion of magnet causes decreasing upward flux through loop.

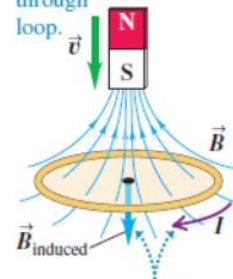


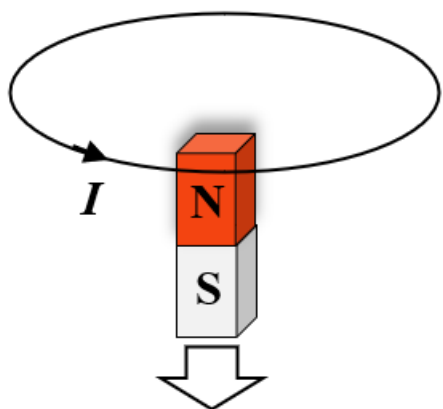
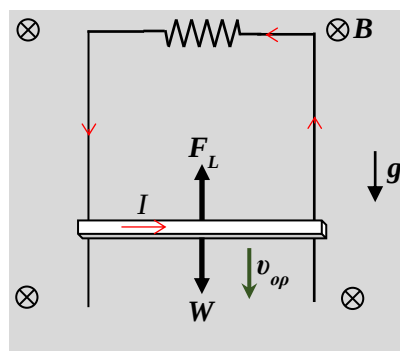
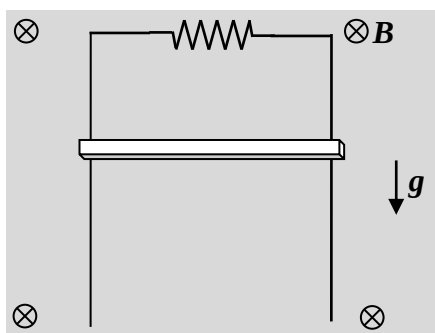
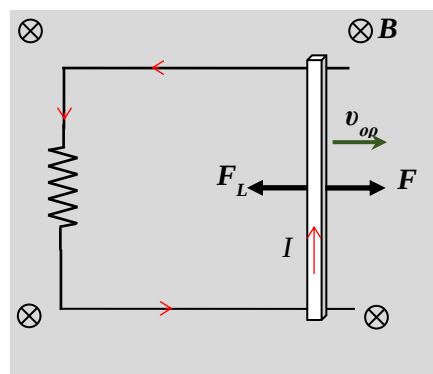
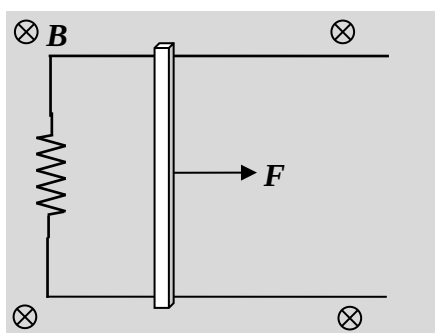
(c) Motion of magnet causes decreasing downward flux through loop.

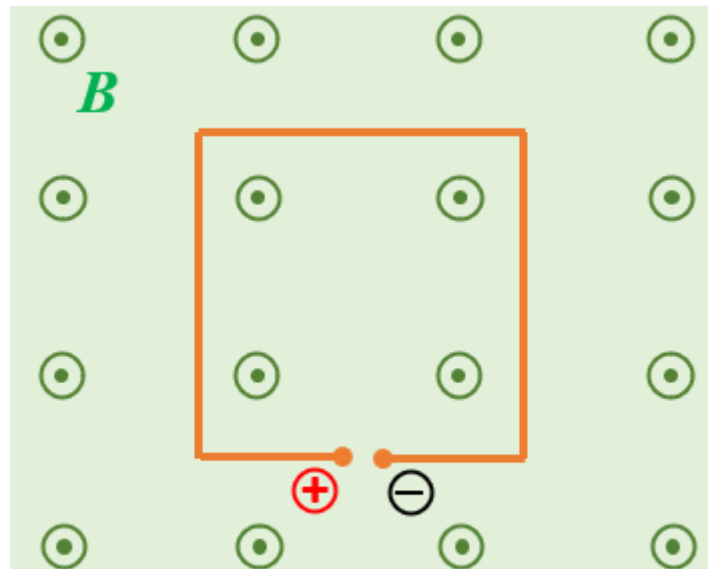


The induced magnetic field is *downward* to oppose the flux change. To produce this induced field, the induced current must be *clockwise* as seen from above the loop.

(d) Motion of magnet causes increasing upward flux through loop.

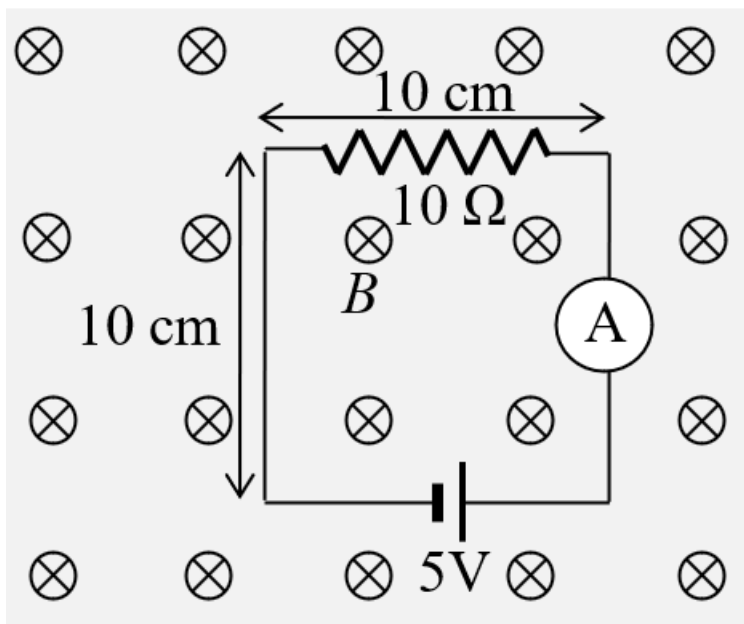


Παραδείγματα Σ 



Το μέτρο του B μειώνεται

Το μαγνητικό πεδίο μειώνεται με ρυθμό $dB/dt = 150 \text{ T/s}$. Τι δείχνει το αμπερόμετρο?



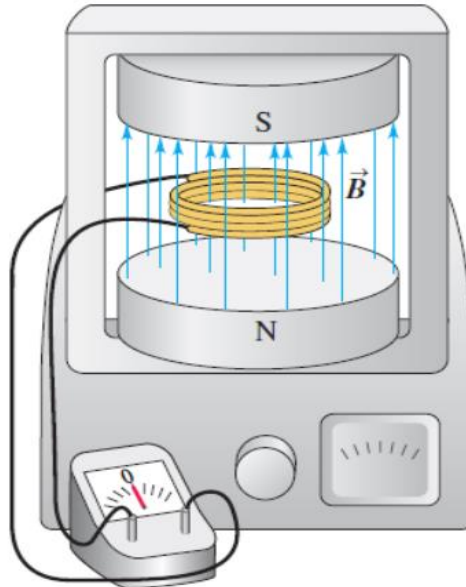
$$A = (0,1 \text{ m}) \times (0,1 \text{ m}) = 0,01 \text{ m}^2$$

$$|\mathcal{E}| = \left| \frac{d\Phi}{dt} \right| = \left| \frac{d(BA)}{dt} \right| = A \left| \frac{dB}{dt} \right| = 0,01 \times 150 = 1,5 \text{ V}$$

$$I = \frac{V - |\mathcal{E}|}{R} = \frac{5 - 1,5}{10} = 0,35 \text{ A}$$

Τρόποι δημιουργίας επαγωγικής τάσης

A coil in a magnetic field. When the $\vec{B}$ field is constant and the shape, location, and orientation of the coil do not change, no current is induced in the coil. A current is induced when any of these factors change.

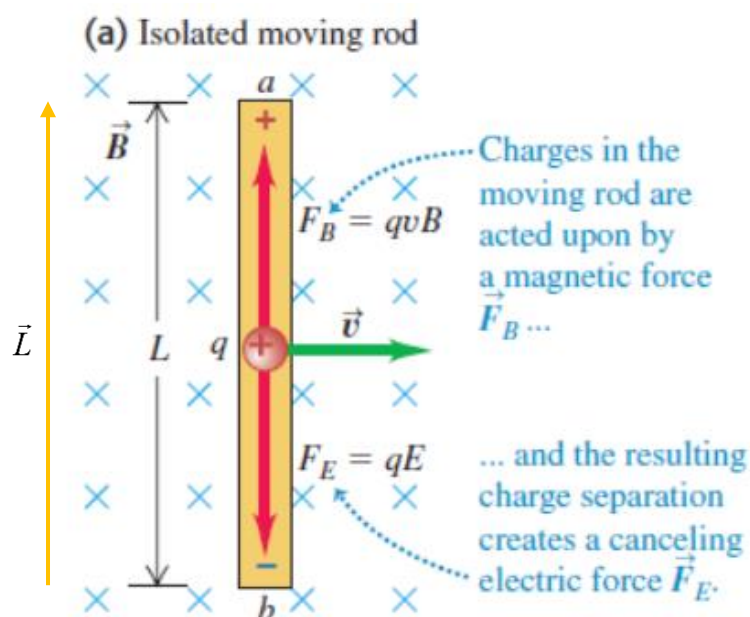


$$\Phi = \vec{B} \cdot \vec{A} = B(\vec{r}, t) A \cos \varphi$$

- 1) Να μεταβάλλεται το μαγνητικό πεδίο χρονικά ($\partial \vec{B} / \partial t \neq 0$)
- 2) Το πεδίο να μην είναι ομογενές και ο βρόχος να κινείται. Αλλάζοντας θέση, βρίσκεται σε περιοχή που το πεδίο έχει διαφορετική τιμή και άρα η ροή θα αλλάξει ($\partial \vec{B} / \partial x \neq 0$ κλπ.)
- 3) Να αλλάζει το σχήμα του ώστε να μεταβάλλεται το εμβαδόν του βρόχου (A)
- 4) Να αλλάζει ο προσανατολισμός του βρόχου ως προς το πεδίο (η γωνία φ μεταξύ τους)

Επαγωγική τάση από κίνηση

Με δύναμη Laplace



$$F_E = F_B \Rightarrow qE = qvB$$

$$V_{ab} = V_a - V_b = EL$$

$$V_{ab} = BvL$$

Μπορείτε να επιβεβαιώσετε ότι διανυσματικά η σχέση αυτή γράφεται : $V_{ab} = (\vec{v} \times \vec{B}) \cdot \vec{L}$

$$V_{ab} \equiv \mathcal{E} = (\vec{v} \times \vec{B}) \cdot \vec{L}$$

Αν η ταχύτητα $\vec{v}$ της ράβδου είναι παράλληλη με το $\vec{B}$ δηλαδή δεν «κόβει» δυναμικές γραμμές καθώς κινείται τότε δεν δημιουργείται επαγωγική τάση. Αν σχηματίζει γωνία θ με τις δυναμικές γραμμές του $\vec{B}$ τότε επειδή $F_B = qvB \sin \theta$ θα δημιουργείται επαγωγική τάση ίση με: $V_{ab} = BvL \sin \theta$

Το $\vec{L}$, το ορίζουμε τυχαία.

Αν η επαγωγική τάση βγει θετική τότε το $\vec{L}$ δείχνει από τον αρνητικό πόλο προς τον θετικό πόλο ($- \rightarrow +$) όπως στο παραπάνω σχήμα.

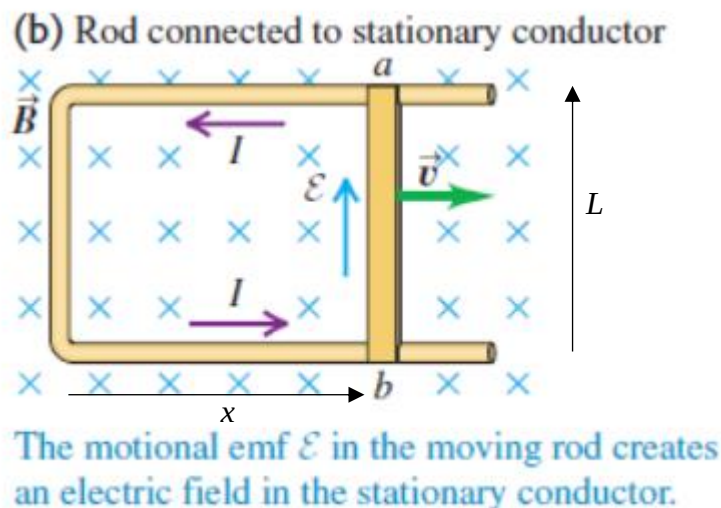
Αν η επαγωγική τάση βγει αρνητική τότε το $\vec{L}$ δείχνει από τον θετικό πόλο προς τον αρνητικό πόλο ($+ \rightarrow -$)

Η γενίκευση για μη ευθύγραμμη ράβδο είναι : $d\mathcal{E} = (\vec{v} \times \vec{B}) \cdot d\vec{\ell}$

$$\text{και } \mathcal{E} = \int_C (\vec{v} \times \vec{B}) \cdot d\vec{\ell}$$

Η κινούμενη ράβδος γίνεται πηγή (μπαταρία) με ΗΕΔ V_{ab} και αν συνδεθεί με αγωγούς θα προκαλέσει ηλεκτρικό ρεύμα στο κύκλωμα. Μέσα στη ράβδο τα θετικά ηλεκτρικά φορτία κινούνται από το χαμηλότερο δυναμικό στο σημείο b στο υψηλότερο δυναμικό στο σημείο a .

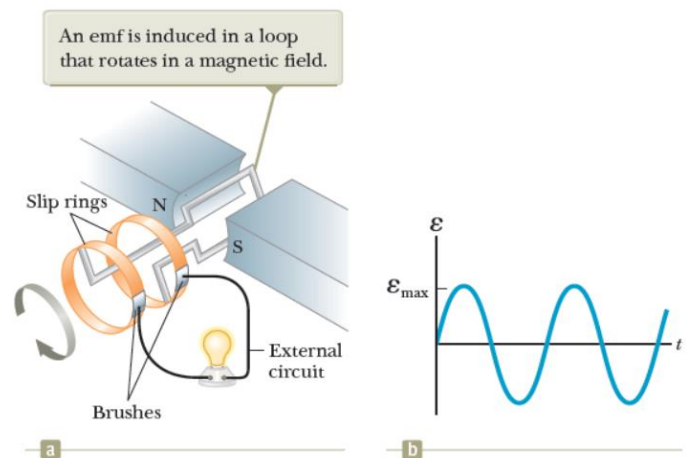
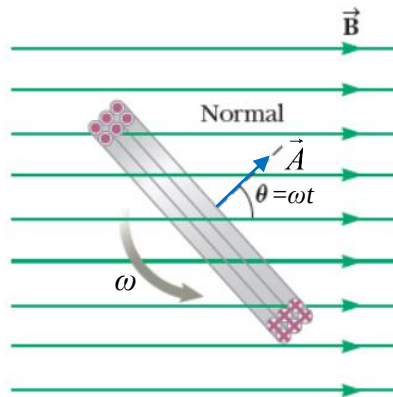
Με νόμο Faraday



Το ίδιο παίρνουμε και από : $\left| \frac{d\Phi}{dt} \right| = \frac{d}{dt} (BLx) = BL \frac{dx}{dt} = BvL$

Ηλεκτρική γεννήτρια εναλλασσόμενου ρεύματος

Ο πιο εύκολος τρόπος να παράγουμε επαγωγική τάση είναι να περιστρέφουμε ένα πλαίσιο μέσα σε ένα σταθερό μαγνητικό πεδίο B . Το πλαίσιο έχει εμβαδόν A και αποτελείται από N (σπείρες) τυλίγματα. Περιστρέφεται με σταθερή γωνιακή ταχύτητα ω . Θεωρούμε ως χρονική στιγμή $t=0$ όταν το πλαίσιο είναι κάθετο στο μαγνητικό πεδίο και διαρρέεται από τη μέγιστη μαγνητική ροή.



$$\Phi = \vec{B} \cdot \vec{A} = BNA \cos \theta = BNA \cos \omega t$$

$$\mathcal{E} = -\frac{d\Phi}{dt} = -BNA \frac{d \cos \omega t}{dt} = BNA \omega \sin \omega t \Rightarrow \mathcal{E} = \mathcal{E}_{\max} \sin \omega t$$

$$\mathcal{E} = K \Phi \omega$$

Στις ψήκτρες (brushes) του σχήματος παίρνουμε ημιτονοειδή τάση, αλλά μεταβαλλόμενης πολικότητας, που ονομάζεται εναλλασσόμενη τάση. Το πλάτος της είναι : $\mathcal{E}_{\max} = BNA\omega = N\Phi_{\max}\omega$

Ανορθώνοντας την τάση (όπως θα δούμε παρακάτω με το συλλέκτη) μπορούμε να μετατρέψουμε την εναλλασσόμενη τάση σε συνεχή και στη συνέχεια να την εξομαλύνουμε σε πρακτικά σταθερή τιμή (βάζοντας πολλά πλαίσια σε διαφορετικές γωνίες ή και έναν πυκνωτή παράλληλα με τους ακροδέκτες της).

Έτσι στις γεννήτριες συνεχούς ρεύματος η επαγωγική τάση θα δίνεται τότε από έναν τύπο της μορφής

$$\mathcal{E} = K \Phi \omega$$

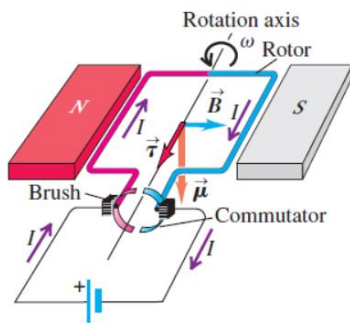
όπου ω : γωνιακή ταχύτητα

Φ : μαγνητική ροή στην επιφάνεια των πόλων

K : κατασκευαστική σταθερά

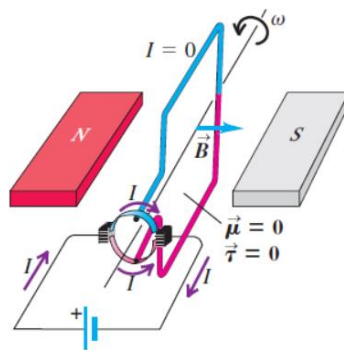
Κινητήρας συνεχούς ρεύματος

(a) Brushes are aligned with commutator segments.



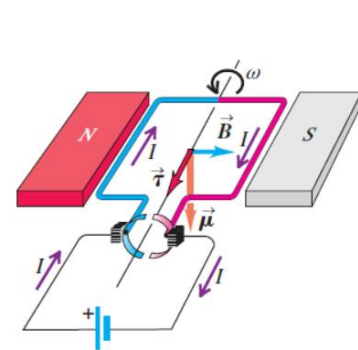
- Current flows into the red side of the rotor and out of the blue side.
- Therefore the magnetic torque causes the rotor to spin counterclockwise.

(b) Rotor has turned 90°.



- Each brush is in contact with both commutator segments, so the current bypasses the rotor altogether.
- No magnetic torque acts on the rotor.

(c) Rotor has turned 180°.



- The brushes are again aligned with commutator segments. This time the current flows into the blue side of the rotor and out of the red side.
- Therefore the magnetic torque again causes the rotor to spin counterclockwise.

Rotation axis= άξονας περιστροφής,
Brush = ψήκτρα (βούρτσα),

Rotor = δρομέας,
Commutator = συλλέκτης

Αντί για δύο δακτυλίους χρησιμοποιούμε μόνο έναν, αλλά χωρισμένο σε δύο τομείς. Αυτή η διάταξη λέγεται συλλέκτης. Οι ψήκτρες θα έρχονται σε επαφή μία με τον ένα και μία με τον άλλο τομέα του συλλέκτη. Όμως η πολικότητα στις ψήκτρες δεν θα αλλάζει, επειδή πάντα αυτές θα ακουμπάνε με εκείνον τον τομέα που είναι συνδεδεμένος με την πλευρά του πλαισίου που περνάει κάτω από τον ίδιο πάντα πόλο, η μία με τον βόρειο (θετική) ή άλλη με τον νότιο (αρνητική). Το ρεύμα θα διαρρέει το πλαίσιο πάντα ανθρωπολογικά. Άρα η ροπή θα είναι πάντα προς την ίδια κατεύθυνση. Θα αυξομειώνεται όμως καθώς το πλαίσιο γυρίζει.

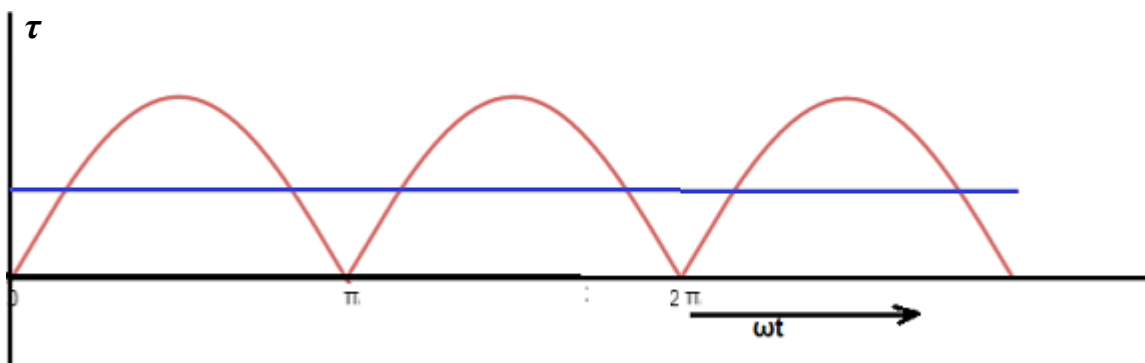
Η ροπή σε ένα ρευματοφόρο πλαίσιο έχουμε δει ότι δίνεται από τον τύπο

$$\vec{\tau} = \vec{\mu} \times \vec{B} \Rightarrow \tau = IAB \sin \varphi$$

όπου $\vec{\mu} = I\vec{A}$ η μαγνητική ροπή του πλαισίου και A το εμβαδόν του.

Όταν ο κινητήρας ισορροπήσει (θα δούμε παρακάτω πως) θα κινείται με σταθερή γωνιακή ταχύτητα $\varphi = \omega t$, οπότε η γραφική παράσταση της ροπής ως προς το χρόνο θα είναι της μορφής :

$$\tau = I\Phi \sin \omega t \quad \text{κάθε } 180^\circ$$



Η χρονική μεταβολή μπορεί και εδώ να εξομαλυνθεί με διάφορες κατασκευαστικές μεθόδους (πολλά πλαίσια) και έτσι στους κινητήρες συνεχούς ρεύματος η αναπτυσσόμενη ροπή θα δίνεται από έναν τύπο της μορφής

$$\mathcal{E} = K \Phi I$$

όπου I : ηλεκτρικό ρεύμα

Φ : μαγνητική ροή στην επιφάνεια των πόλων

K : κατασκευαστική σταθερά (ίδια με της γεννήτριας)