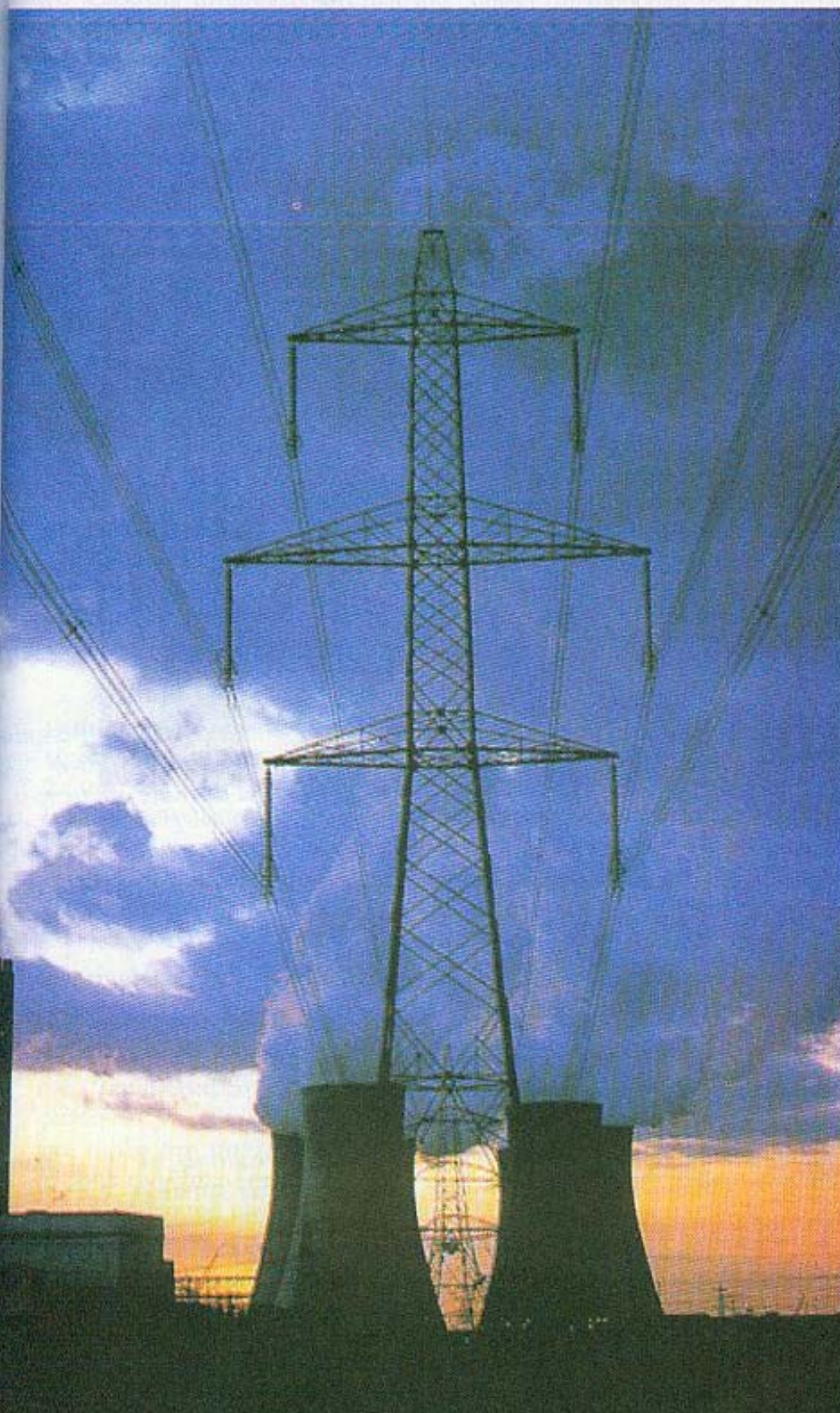


ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΗ ΕΠΑΓΩΓΗ

5



Νόμος Επαγωγής 184

Αγωγός κινούμενος
σε μαγνητικό πεδίο 188

Κανόνας Lenz 192

Στρεφόμενο πλαίσιο 195

Εναλλασσόμενο
ρεύμα 196

Γεννήτριες 199

Ηλεκτροκινητήρας 202

Αμοιβαία επαγωγή 204

Αυτεπαγωγή 205

Σύνοψη 210

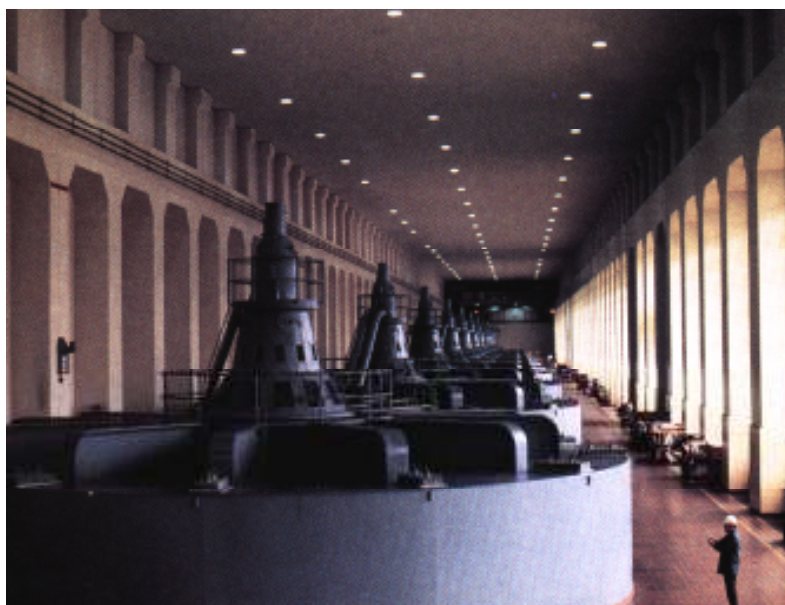
5-1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ



Εικ. 5.1 Michael Faraday (1791-1867). Άγγλος. Ο πατέρας του ήταν φτωχός σιδεράς. Η εκπαίδευσή του ήταν στοιχειώδης. Σε ηλικία δεκατριών χρόνων δούλεψε ως βοηθός βιβλιοδέτη. Ο Michael δε βιβλιοδετούσε απλώς τα βιβλία, τα διάβαζε κιόλας. Αργότερα, ως γραμματέας του Davy γνώρισε τους μεγαλύτερους φυσικούς της εποχής του. Ήταν βαθύτατα θρησκευόμενος. Η επιστημονική του δραστηριότητα ήταν τεράστια. Μέχρι το τέλος της ζωής του οι σημειώσεις του περιείχαν δεκαέξι χιλιάδες καταχωρίσεις, που καθαρόγραφε και βιβλιοδετούσε προσεκτικά μόνος του. Ήταν εξαιρετικός πειραματικός φυσικός. Στον Faraday οφείλουμε τη θεμελίωση του ηλεκτρισμού με τη σύγχρονη μορφή.

Στο προηγούμενο κεφάλαιο είδαμε ότι το ηλεκτρικό ρεύμα συνεπάγεται τη δημιουργία μαγνητικού πεδίου. Στα 1831 ο Άγγλος ερευνητής Michael Faraday (Φαραντέι) μελέτησε το ενδεχόμενο η ύπαρξη μαγνητικού πεδίου να δημιουργεί σ' ένα κλειστό κύκλωμα ηλεκτρικό ρεύμα. Μια σειρά από πειράματα τον οδήγησαν στο συμπέρασμα ότι ένα σταθερό μαγνητικό πεδίο δε δημιουργεί ηλεκτρικό ρεύμα. Αντίθετα, αν μεταβληθεί η μαγνητική ροή που διέρχεται από την επιφάνεια που ορίζει το κύκλωμα, στο κύκλωμα εμφανίζεται ένα απροσδόκητο ρεύμα. Στα ίδια συμπεράσματα κατέληξε την ίδια χρονιά, ανεξάρτητα από τον Faraday, ο Αμερικανός Joseph Henry (Χένρι). Η σημασία του φαινομένου, που ονομάζεται ηλεκτρομαγνητική επαγωγή, είναι πελώρια στο σύγχρονο κόσμο. Αρκεί να αναφέρουμε ότι η παραγωγή και μεταφορά ηλεκτρικής ενέργειας στηρίζεται σ' αυτό.

Λέγεται ότι όταν τον ρώτησε ένας πολιτικός πόσο χρήσιμες είναι οι ανακαλύψεις του, ο Faraday απάντησε: « Προς το παρόν δε γνωρίζω, αλλά μια μέρα θα μπορέσετε να τις φορολογήσετε ».



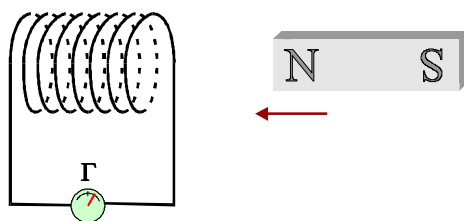
Εικ. 5.2 Ηλεκτρογεννήτριες υδροηλεκτρικού σταθμού. Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στηρίζεται στο φαινόμενο της επαγωγής.

5-2 ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΗ ΕΠΑΓΩΓΗ

Θα αρχίσουμε την περιγραφή του φαινομένου με δυο πειράματα με τα οποία μπορεί να παρατηρηθεί.

Πρώτο. Συνδέουμε τα άκρα ενός πηνίου με ένα «γαλβανόμετρο του μηδενός» ώστε να δημιουργηθεί κλειστό κύκλωμα. Τα γαλβανόμετρα είναι ευαίσθητα όργανα που μας επιτρέπουν να μετράμε μικρές εντάσεις ρεύματος. Στο γαλβανόμετρο που χρησιμοποιούμε, το μηδέν βρίσκεται στο μέσον της κλίμακας. Ο δείκτης του, ανάλογα με τη φορά του ρεύματος αποκλίνει προς τη μια ή την άλλη πλευρά του μηδενός. Πλησιάζουμε στο πηνίο ένα ραβδόμορφο μαγνήτη, έτσι ώστε ο άξονάς του να ταυτίζεται με τον άξονα του

πηνίου. Κατά τη διάρκεια της κίνησης του μαγνήτη το γαλβανόμετρο δείχνει ότι το κύκλωμα διαρρέεται από ρεύμα, αν και δεν έχουμε καμιά πηγή.



Σχ. 5.1 Όταν υπάρχει σχετική κίνηση του μαγνήτη ως προς το πηνίο το γαλβανόμετρο δείχνει ρεύμα.

Όταν ο μαγνήτης σταματήσει να κινείται το ρεύμα μηδενίζεται. Αν απομακρύνουμε το μαγνήτη το γαλβανόμετρο δείχνει ότι πάλι το κύκλωμα διαρρέεται από ρεύμα, αντίθετης φοράς τώρα σε σχέση με πριν. Μια ακόμη παρατήρηση είναι ότι η απόκλιση του γαλβανόμετρου, άρα η ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος, εξαρτάται από το πόσο γρήγορα πλησιάζουμε ή απομακρύνουμε το μαγνήτη.

Δεύτερο. Συνδέουμε τα άκρα αγωγίμου πλαισίου σε γαλβανόμετρο έτσι ώστε να δημιουργείται κλειστό κύκλωμα. Εισάγουμε το πλαίσιο στο χώρο ενός ισχυρού ομογενούς μαγνητικού πεδίου που δημιουργείται ανάμεσα στους πόλους ενός ηλεκτρομαγνήτη. Κατά τη διάρκεια της εισόδου (αν το επίπεδο του πλαισίου δεν είναι παράλληλο στις δυναμικές γραμμές), το γαλβανόμετρο δείχνει ρεύμα. Όταν το πλαίσιο βρεθεί να κινείται εξολοκλήρου εντός του πεδίου το ρεύμα μηδενίζεται. Κατά τη διάρκεια της εξόδου του πλαισίου από το πεδίο εμφανίζεται πάλι ρεύμα στο πλαίσιο αντίθετης φοράς από πριν. Και εδώ η ένταση του ρεύματος είναι μεγαλύτερη αν η είσοδος και η έξοδος γίνουν γρηγορότερα.

Αυτό που συνέβη στη διάρκεια των δυο αυτών πειραμάτων ήταν ότι μεταβλήθηκε η μαγνητική ροή από την επιφάνεια που ορίζεται από τις σπείρες του πηνίου στην πρώτη περίπτωση, από τις σπείρες του πλαισίου στη δεύτερη. Σε αυτή τη μεταβολή πρέπει να αναζητήσουμε την αιτία της δημιουργίας του ηλεκτρικού ρεύματος.

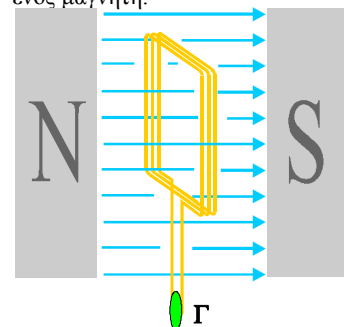
Αν σε κάποια από τις προηγούμενες περιπτώσεις το κύκλωμα ήταν ανοιχτό, δε θα υπήρχε ρεύμα. Ωστόσο, κατά τη διάρκεια μεταβολής της μαγνητικής ροής, στα ανοιχτά άκρα του κυκλώματος -του πηνίου ή του πλαισίου- θα εμφανιζόταν τάση. Η τάση αυτή ονομάζεται **τάση από επαγωγή**.

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι για την εμφάνιση αυτής της τάσης δεν είναι αναγκαίο να υπάρχει πηνίο ή πλαίσιο πολλών σπειρών. Αρκεί να μεταβληθεί η μαγνητική ροή που διέρχεται από την επιφάνεια που ορίζει ο αγωγός. Τότε, κατά τη διάρκεια της μεταβολής, εμφανίζεται στα άκρα του αγωγού τάση από επαγωγή (σχ. 5.3).

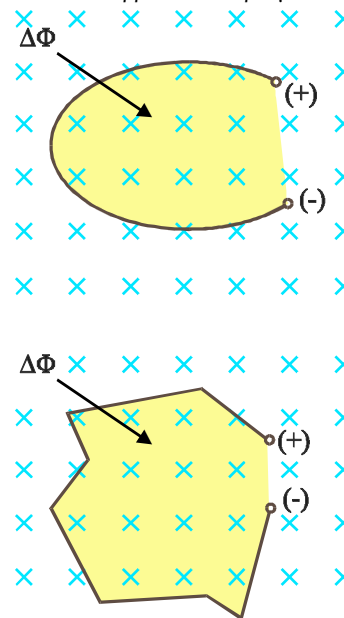
Το φαινόμενο της εμφάνισης τάσης στα άκρα κάποιου αγωγού, εξαιτίας της μεταβολής της μαγνητικής ροής που διέρχεται από την επιφάνεια που ορίζει, ονομάζεται ηλεκτρομαγνητική επαγωγή.



Εικ. 5.3 Πειραματική επίδειξη δημιουργίας ρεύματος σε κλειστό κύκλωμα εξαιτίας της κίνησης ενός μαγνήτη.



Σχ. 5.2 Κατά την είσοδο του πλαισίου στο μαγνητικό πεδίο, το γαλβανόμετρο δείχνει ότι το πλαίσιο διαρρέεται από ρεύμα.



Σχ. 5.3 Όταν μεταβάλλεται η μαγνητική ροή που διέρχεται από την επιφάνεια που ορίζει ένας αγωγός με το σχήμα του, στα άκρα του αγωγού εμφανίζεται τάση από επαγωγή. Τα πρόσημα + και - στο σχήμα είναι αυθαίρετα.

Ο νόμος που διέπει το φαινόμενο, ονομάζεται νόμος της επαγωγής ή **νόμος του Faraday** και διατυπώνεται ως εξής :

Η ηλεκτρεγερτική δύναμη που επάγεται σε ένα κύκλωμα είναι ίση με το ρυθμό μεταβολής της μαγνητικής ροής που διέρχεται από την επιφάνεια που ορίζει το κύκλωμα.

$$E_{\text{ΕΠ}} = \frac{|\Delta\Phi_B|}{\Delta t}$$

Αν το κύκλωμα αποτελείται από N σπείρες και $\Delta\Phi_B$ είναι η μεταβολή της μαγνητικής ροής σε κάθε σπείρα, ο νόμος της επαγωγής γράφεται

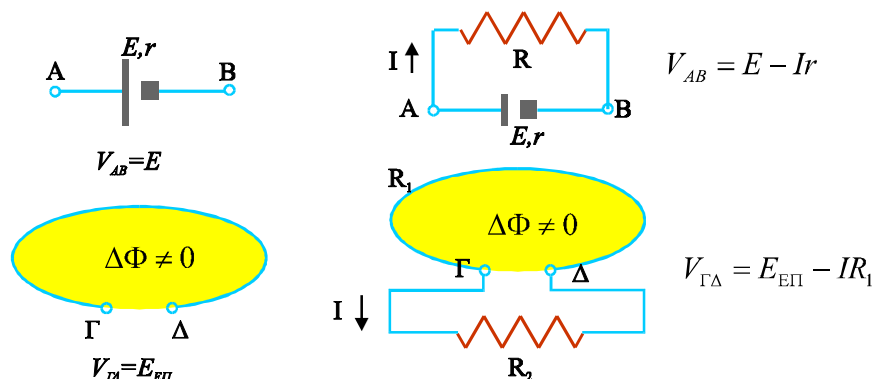
$$E_{\text{ΕΠ}} = N \frac{|\Delta\Phi_B|}{\Delta t} \quad (5.1)$$

Παρατηρήσεις

1. Η σχέση (5.1) δίνει τη μέση ηλεκτρεγερτική δύναμη που επάγεται στο κύκλωμα σε χρόνο Δt . Για να υπολογίσουμε την ηλεκτρεγερτική δύναμη, στο κύκλωμα, κάποια στιγμή t πρέπει ο χρόνος Δt να είναι απειροστά μικρός.

$$E_{\text{ΕΠ}} = N \left| \frac{d\Phi_B}{dt} \right|$$

2. Αν ο ρυθμός μεταβολής της μαγνητικής ροής είναι σταθερός και η $E_{\text{ΕΠ}}$ θα έχει σταθερή τιμή στο χρονικό διάστημα Δt .
3. Το πηνίο ή το πλαίσιο που αναφέρθηκαν προηγούμενα, έγιναν ηλεκτρικές πηγές. Επομένως η τάση στα άκρα τους θα εξαρτάται από το ρεύμα που διαρρέει το κύκλωμα. Η σχέση (5.1) δίνει την ηλεκτρεγερτική δύναμη αυτής της πηγής, δηλαδή την τάση στα άκρα του αγωγού όταν δε διαρρέεται από ρεύμα. Αν ο αγωγός συνδεθεί σε κλειστό κύκλωμα, η τάση στα άκρα του δεν είναι ίση με την ηλεκτρεγερτική δύναμη αλλά είναι μειωμένη κατά τον παράγοντα IR , όπου R η αντίσταση του.



Σχ. 5.4

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 5.1

Κλειστό συρμάτινο κυκλικό πλαίσιο βρίσκεται μέσα σε ομογενές μαγνητικό πεδίο με το επίπεδό του κάθετο στις δυναμικές γραμμές του πεδίου. Κάποια στιγμή το μαγνητικό πεδίο αρχίζει να αυξάνεται με σταθερό ρυθμό και από την τιμή $B_1=0,1\text{T}$ γίνεται $B_2=0,5\text{T}$ σε χρόνο $\Delta t=0,2\text{s}$. Το πλαίσιο αποτελείται από $N=100$ σπείρες. Το εμβαδόν κάθε σπείρας είναι $A=4 \times 10^{-2} \text{ m}^2$. Η αντίσταση του πλαισίου είναι $R=20\Omega$. Να υπολογιστούν :

- α) Η ηλεκτρεγερτική δύναμη που επάγεται στο πλαίσιο.
- β) Η ένταση του ρεύματος που διαρρέει το πλαίσιο κατά τη διάρκεια του φαινομένου.
- γ) Το ηλεκτρικό φορτίο που διέρχεται από μια τομή του σύρματος κατά τη διάρκεια του φαινομένου.

Απάντηση :

- α) Εφόσον μεταβάλλεται το μαγνητικό πεδίο, μεταβάλλεται η μαγνητική ροή που διέρχεται από την επιφάνεια που ορίζουν οι σπείρες του πλαισίου. Η ηλεκτρεγερτική δύναμη που επάγεται στο πλαίσιο είναι :

$$E_{\text{ΕΠ}} = N \frac{|\Delta\Phi|}{\Delta t} \quad (5.1)$$
$$\Delta\Phi = \Delta(BA) = A \Delta B = A(B_2 - B_1)$$

Αντικαθιστώντας στην (5.1.) βρίσκουμε $E_{\text{ΕΠ}} = 8\text{V}$

- β) Η ένταση του ρεύματος που διαρρέει το πλαίσιο στο χρονικό διάστημα Δt είναι

$$I = \frac{E_{\text{ΕΠ}}}{R} \quad (5.2)$$

από όπου προκύπτει $I = 0,4\text{A}$

- γ) Το φορτίο που διέρχεται από μια τομή του αγωγού κατά τη διάρκεια του φαινομένου είναι

$$\Delta Q = I \Delta t \quad (5.3),$$

όπου Δt ο χρόνος που διαρκεί το φαινόμενο.

Παρόλο που τα στοιχεία που γνωρίζουμε επαρκούν για να υπολογιστεί το φορτίο από τη σχέση (5.3) αξίζει να αντικαταστήσουμε το ρεύμα από τη σχέση (5.2) οπότε η (5.3) γίνεται

$$\Delta Q = \frac{E_{\text{ΕΠ}}}{R} \Delta t .$$

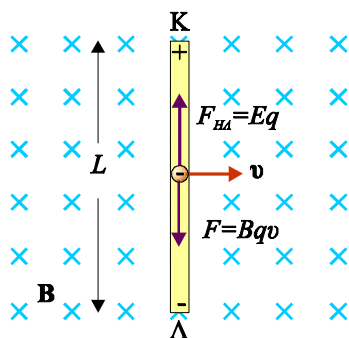
Αν στη σχέση αυτή αντικαταστήσουμε την ηλεκτρεγερτική δύναμη από την (5.1) προκύπτει

$$\Delta Q = N \frac{|\Delta\Phi|}{R} \quad (5.4)$$

και τελικά βρίσκουμε $\Delta Q = 0,08\text{C}$

Παρατηρήστε ότι το συνολικό φορτίο που μετακινείται είναι ανεξάρτητο της χρονικής διάρκειας του φαινομένου.

5-3 ΕΥΘΥΓΡΑΜΜΟΣ ΑΓΩΓΟΣ ΚΙΝΟΥΜΕΝΟΣ ΣΕ ΟΜΟΓΕΝΕΣ ΜΑΓΝΗΤΙΚΟ ΠΕΔΙΟ



Σχ. 5.5 Ο αγωγός ΚΛ κινείται μέσα σε ομογενές μαγνητικό πεδίο.

Αν και τα πειράματα επιβεβαιώνουν πλήρως το νόμο Faraday απομένει αδιευκρίνιστο το πώς δημιουργούνται τα επαγωγικά ρεύματα. Το παρακάτω παράδειγμα φωτίζει κάπως τα πράγματα.

Ευθύγραμμος αγωγός μήκους L κινείται με σταθερή ταχύτητα v κάθετα στις δυναμικές γραμμές ομογενούς μαγνητικού πεδίου $\mathbf{B}$ (σχ. 5.5). Τα ελεύθερα ηλεκτρόνια του, συμμετέχοντας στην κίνηση του αγωγού, κινούνται και αυτά με ταχύτητα v κάθετα στις δυναμικές γραμμές του πεδίου. Ένα ελεύθερο ηλεκτρόνιο επειδή κινείται με ταχύτητα v μέσα σε μαγνητικό πεδίο θα δεχτεί δύναμη Lorentz $F = Bqv$ η φορά της οποίας φαίνεται στο σχήμα.

Η δύναμη αυτή προκαλεί την κίνηση των ελεύθερων ηλεκτρονίων προς το άκρο Λ του αγωγού. Έτσι δημιουργείται συσσώρευση αρνητικού φορτίου στο άκρο Λ, και πλεόνασμα θετικού φορτίου στο άκρο Κ. Τα φορτία αυτά δημιουργούν στο χώρο του αγωγού ομογενές ηλεκτρικό πεδίο έντασης $\mathbf{E}$ με φορά από το Κ προς το Λ. Τα ελεύθερα ηλεκτρόνια δέχονται τώρα μια ακόμη δύναμη $F_{H\Lambda} = qE$ αντίθετης φοράς από τη μαγνητική. Όσο η δύναμη Lorentz είναι μεγαλύτερη από την ηλεκτρική, η συσσώρευση φορτίων συνεχίζεται, με όλο και μικρότερο ρυθμό. Έτσι, η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου αυξάνεται και σε πολύ λίγο χρόνο τα μέτρα των δυο δυνάμεων γίνονται ίσα, δηλαδή

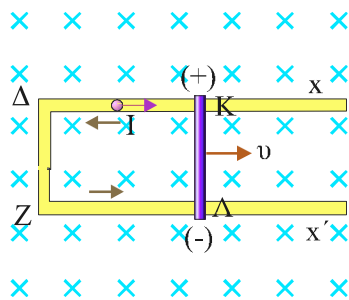
$$Eq = Bqv \quad \text{ή} \quad E = Bv \quad (5.5)$$

Τότε παύει η μετακίνηση φορτίου και το σημείο Κ βρίσκεται σε υψηλότερο δυναμικό από το Λ.

Η διαφορά δυναμικού $V_{\text{ΚΛ}}$ μεταξύ των άκρων του αγωγού Κ και Λ υπολογίζεται από την (5.5) αν θέσουμε όπου $E = \frac{V_{\text{ΚΛ}}}{L}$ και λύσουμε ως προς

$$V_{\text{ΚΛ}}, \text{ οπότε προκύπτει } V_{\text{ΚΛ}} = BvL.$$

Πρόκειται για μια διαφορά δυναμικού που οφείλεται στη δράση του μαγνητικού πεδίου (επάγεται από το μαγνητικό πεδίο).



Σχ. 5.6 Ο αγωγός ΚΛ ολισθαίνει πάνω στους ακίνητους αγωγούς xΔΖx'. Όλο το σύστημα βρίσκεται μέσα σε ομογενές μαγνητικό πεδίο. Η συσσώρευση φορτίου στα άκρα του αγωγού ΚΛ, προκαλεί κίνηση φορτίου στους ακίνητους αγωγούς.

Ας θεωρήσουμε τον ίδιο ακριβώς αγωγό να κάνει την ίδια κίνηση μέσα στο ίδιο πεδίο. Τώρα όμως τα άκρα του αγωγού ολισθαίνουν πάνω στους ακίνητους αγωγούς xΔΖx' (σχ. 5.6). Η συσσώρευση φορτίου, στα άκρα του αγωγού ΚΛ, που οφείλεται στην κίνησή του, προκαλεί την κίνηση φορτίου στο τμήμα ΚΔΖΛ των ακίνητων αγωγών. Ας φανταστούμε ένα ελεύθερο ηλεκτρόνιο των αγωγών ΚΔΖΛ. Το ηλεκτρόνιο θα κινηθεί προς το σημείο Κ, διαταράσσοντας προς στιγμήν την ισορροπία των φορτίων στα άκρα Κ και Λ. Μια νέα μετακίνηση φορτίου μέσα στον αγωγό ΚΛ θα αποκαταστήσει την ισορροπία. Το ίδιο θα συμβεί με κάθε ηλεκτρόνιο που φτάνει στο σημείο Κ, δηλαδή ο αγωγός ΚΛ, λειτουργεί ως αντλία φορτίου, ως ηλεκτρική πηγή, ηλεκτρεγερτικής δύναμης BvL .

Αν ένας ευθύγραμμος αγωγός κινείται με ταχύτητα v , μέσα σε ομογενές μαγνητικό πεδίο, έτσι ώστε ο αγωγός, η ταχύτητα και το μαγνητικό πεδίο να είναι κάθετα ανά δύο μεταξύ τους, στον αγωγό αναπτύσσεται ηλεκτρεγερτική δύναμη από επαγωγή

$$E_{\text{ΕΠ}} = BvL$$

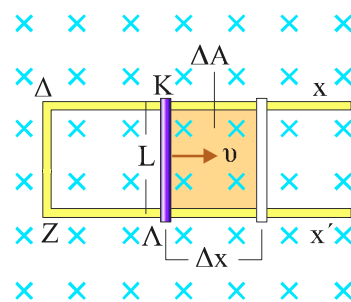
Στο ίδιο αποτέλεσμα καταλήγουμε με το νόμο του Faraday. Ας επανέλθουμε στον αγωγό ΚΛ που ολισθαίνει πάνω στους ακίνητους αγωγούς xΔZx'.

Ο αγωγός που κινείται και οι ακίνητοι αγωγοί σχηματίζουν ένα κλειστό πλαίσιο σχήματος ορθογωνίου παραλληλογράμμου με αυξανόμενο εμβαδόν Α. Σύμφωνα με το νόμο του Faraday, στο πλαίσιο θα αναπτυχθεί ΗΕΔ από επαγωγή

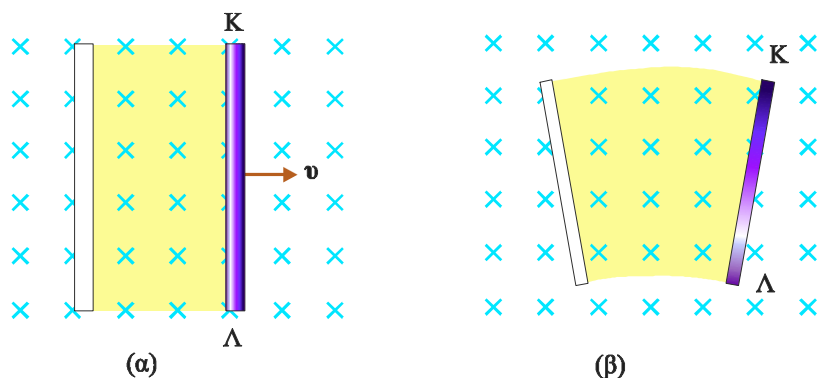
$$E_{\text{ΕΠ}} = \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = \frac{\Delta(BA)}{\Delta t} = \frac{B\Delta A}{\Delta t} = \frac{BL\Delta x}{\Delta t} = BLv$$

Βέβαια στην περίπτωση ενός ευθύγραμμου αγωγού που κινείται μέσα στο μαγνητικό πεδίο (σχ. 5.5), το πηλίκο $\frac{\Delta\Phi_B}{\Delta t}$ στο νόμο του Faraday, δε

μπορεί να παρέχει το ρυθμό μεταβολής της μαγνητικής ροής, γιατί δεν έχει νόημα η μαγνητική ροή που διέρχεται από ένα ευθύγραμμο τμήμα όπως είναι ο αγωγός. Στην περίπτωση αυτή $\Delta\Phi_B$ είναι μαγνητική ροή που διέρχεται από την επιφάνεια που ορίζει ο αγωγός με την κίνησή του (σχ. 5.8).



Σχ. 5.7 Καθώς ο αγωγός ΚΛ κινείται, μεταβάλλεται το εμβαδόν του πλαισίου ΚΔΖΛ, με αποτέλεσμα να μεταβάλλεται η μαγνητική ροή που διέρχεται από αυτό.



Σχ. 5.8 Στην περίπτωση ενός αγωγού που κινείται μέσα σε μαγνητικό πεδίο, $\Delta\Phi$ είναι η μαγνητική ροή που διέρχεται από την επιφάνεια που ορίζει ο αγωγός με την κίνησή του.

Θα μπορούσαμε λοιπόν να πούμε ότι ηλεκτρομαγνητική επαγωγή είναι το φαινόμενο της εμφάνισης τάσης στα άκρα αγωγών όταν μεταβάλλεται η μαγνητική ροή που διέρχεται από την επιφάνεια που ορίζουν με το σχήμα τους ή όταν από την επιφάνεια που ορίζουν με την κίνησή τους διέρχεται μαγνητική ροή.

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 5.2

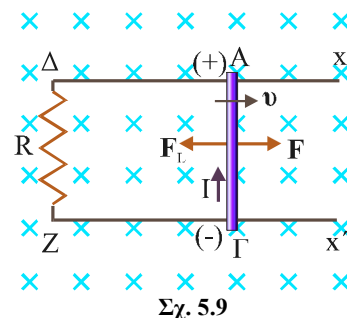
Αγωγός ΑΓ με μήκος $l=0,4\text{m}$ κινείται με ταχύτητα $v=5\text{m/s}$, χωρίς τριβές, πάνω στους παράλληλους αγωγούς Δx και Ζx', μένοντας διαρκώς κάθετος και σε επαφή με αυτούς. Τα άκρα Δ και Ζ αγωγών συνδέονται μεταξύ τους με σύρμα αντίστασης $R=5\Omega$. Η αντίσταση όλων των άλλων αγωγών είναι αμελητέα. Η όλη διάταξη βρίσκεται μέσα σε ομογενές μαγνητικό πεδίο $B=0,5\text{T}$ κάθετο στο επίπεδο που ορίζουν οι αγωγοί. Να βρεθεί η δύναμη που απαιτείται για να διατηρηθεί ισοταχής η κίνηση του αγωγού ΑΓ.

Απάντηση :

Επειδή ο αγωγός ΑΓ κινείται μέσα σε μαγνητικό πεδίο, σε αυτόν επάγεται ηλεκτρεγερτική δύναμη

$$E_{\text{ΕΠ}} = Bvl = 1\text{V}$$

Για να βρούμε τη φορά της ηλεκτρεγερτικής δύναμης φανταζόμαστε ένα από τα ελεύθερα ηλεκτρόνια του αγωγού ΑΓ. Το ηλεκτρόνιο κινείται και αυτό, μαζί με τον αγωγό, με ταχύτητα v . Με τον κανόνα των τριών δακτύλων βρίσκουμε ότι το ηλεκτρόνιο θα δεχτεί δύναμη από το μαγνητικό πεδίο προς το άκρο Γ του αγωγού.



Επομένως, στο άκρο Γ σωρεύεται αρνητικό φορτίο και στο Α θετικό (σχ. 5.9) Το κλειστό κύκλωμα ΑΔΖΓ διαρρέεται από ρεύμα έντασης

$$I = \frac{E_{\text{ΕΠ}}}{R} = 0,2\text{A}$$

Η φορά του ρεύματος είναι αυτή του σχήματος.

Επειδή ο αγωγός ΑΓ διαρρέεται από ρεύμα, δέχεται από το μαγνητικό πεδίο δύναμη Laplace.

$$F_L = BIl = 0,04\text{N}$$

Με τον κανόνα των τριών δακτύλων βρίσκουμε ότι η φορά της δύναμης είναι αντίθετη με τη φορά της κίνησης του αγωγού.

Για να κινείται ο αγωγός με σταθερή ταχύτητα πρέπει να ασκηθεί σε αυτόν δύναμη F αντίθετη με τη δύναμη F_L .

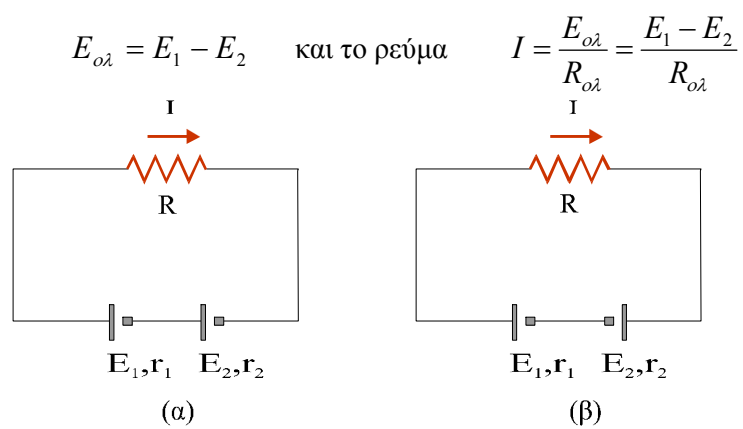
$$F = F_L = 0,04\text{N}$$

Σημείωση

Αν σε ένα κύκλωμα υπάρχουν δύο πηγές, συνδεδεμένες όπως δείχνει το σχήμα 5.10α, η συνολική ηλεκτρεγερτική δύναμη στο κύκλωμα είναι

$$E_{\text{ολ}} = E_1 + E_2 \quad \text{και το ρεύμα} \quad I = \frac{E_{\text{ολ}}}{R_{\text{ολ}}} = \frac{E_1 + E_2}{R_{\text{ολ}}}$$

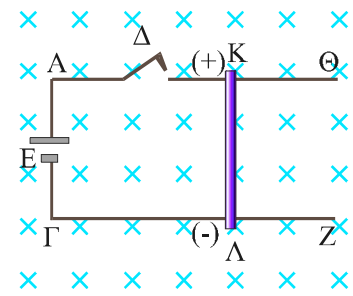
Αν οι δύο πηγές είναι συνδεδεμένες όπως στο κύκλωμα του σχήματος 5.10β η συνολική ηλεκτρεγερτική δύναμη στο κύκλωμα είναι



Σχ. 5.10

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 5.3

Δύο οριζόντιοι μεταλλικοί αγωγοί ΑΘ και ΓΖ με αμελητέα αντίσταση απέχουν μεταξύ τους $l=1\text{m}$ (σχ. 5.11). Οι αγωγοί βρίσκονται σε κατακόρυφο ομογενές μαγνητικό πεδίο $B=1\text{T}$. Η μεταλλική ράβδος ΚΛ βρίσκεται σε συνεχή επαφή με τους αγωγούς ΑΘ και ΓΖ και μπορεί να ολισθαίνει χωρίς τριβές, παραμένοντας κάθετη σε αυτούς. Τα σημεία Α και Γ συνδέονται με πηγή ηλεκτρεγερτικής δύναμης $E=12\text{V}$. Τη στιγμή μηδέν κλείνουμε το διακόπτη Δ, οπότε η ράβδος ΚΛ αρχίζει να κινείται. Να υπολογιστεί η οριακή ταχύτητα που θα αποκτήσει.



Σχ. 5.11

Απάντηση :

Τη στιγμή μηδέν (σχ. 5.12α) που κλείσαμε το διακόπτη, ο αγωγός ΚΛ ήταν ακίνητος. Μοναδική ηλεκτρεγερτική δύναμη στο κύκλωμα είναι η ηλεκτρεγερτική δύναμη της πηγής (E). Το κύκλωμα διαρρέεται ρεύμα $I = \frac{E}{R_{ολ}}$, του οποίου η φορά του φαίνεται στο σχήμα 5.12α.

Επειδή ο αγωγός ΚΛ διαρρέεται από ρεύμα, δέχεται από το μαγνητικό πεδίο δύναμη Laplace $F_L = BIl$

Με την επίδραση αυτής της δύναμης ο αγωγός αποκτά επιτάχυνση $a = \frac{F_L}{m}$

ομόρροπη με τη δύναμη (σχ. 5.12α).

Έστω ότι τη στιγμή t (σχ. 5.12β), ο αγωγός θα έχει αποκτήσει ταχύτητα v. Εφόσον κινείται, λόγω επαγωγής αναπτύσσεται σ' αυτόν ηλεκτρεγερτική δύναμη $E_{ΕΠ} = Blv$

της οποίας η πολικότητα φαίνεται στο σχήμα.

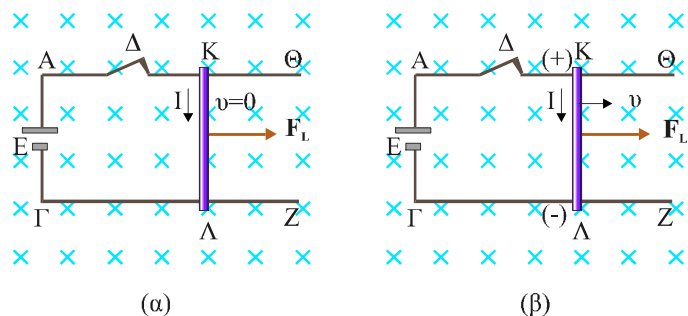
Το ρεύμα στο κύκλωμα οφείλεται στη δράση της πηγής E και στην $E_{ΕΠ}$ και η ένταση του δίνεται από τη σχέση

$$I = \frac{E - E_{ΕΠ}}{R_{ολ}} = \frac{E - Blv}{R_{ολ}}$$

Ο αγωγός θα επιταχύνεται μέχρι τη στιγμή που η F_L θα μηδενιστεί. Αυτό θα συμβεί όταν η ένταση του ρεύματος θα μηδενιστεί δηλαδή όταν $E - Blv = 0$

Η ταχύτητα εκείνη τη στιγμή θα πάρει τη μέγιστη τιμή της v_{op} , για την οποία θα είναι

$$v_{op} = \frac{E}{Bl} = 12\text{m/s}$$



Σχ. 5.12

5-4 Ο ΚΑΝΟΝΑΣ ΤΟΥ LENZ ΚΑΙ Η ΑΡΧΗ ΔΙΑΤΗΡΗΣΗΣ ΤΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΤΗΣ ΕΠΑΓΩΓΗΣ

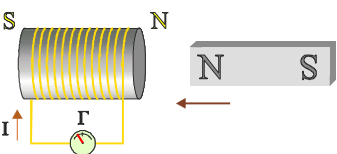
Ο Lenz (Λέντς) διατύπωσε ένα κανόνα που δίνει τη φορά του ρεύματος από επαγωγή. Σύμφωνα με τον κανόνα αυτό

τα επαγωγικά ρεύματα έχουν τέτοια φορά ώστε να αντιτίθενται στο αίτιο που τα προκαλεί.

Παίρνοντας υπόψη τον κανόνα του Lenz, που προσδιορίζει τη φορά του επαγωγικού ρεύματος, άρα και την πολικότητα της επαγωγικής τάσης, γράφουμε τη σχέση (5.1) που εκφράζει το νόμο της επαγωγής με τη μορφή:

$$E_{\text{ΕΠ}} = -N \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$$

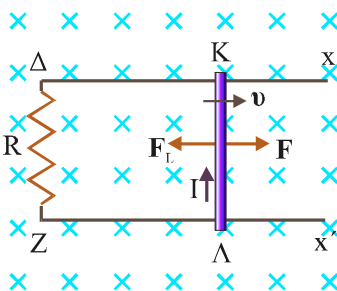
Ο κανόνας του Lenz αποτελεί συνέπεια της αρχής διατήρησης της ενέργειας. Στα δύο παραδείγματα που ακολουθούν θα δούμε πώς εφαρμόζεται ο κανόνας του Lenz και γιατί η φορά του ρεύματος που ορίζει είναι συνέπεια της αρχής διατήρησης της ενέργειας.



Σχ. 5.13 Ο μαγνήτης πλησιάζει στο πηνίο. Σύμφωνα με τον κανόνα του Lenz, το ρεύμα που επάγεται στο πηνίο έχει τέτοια φορά ώστε απέναντι από το μαγνήτη που πλησιάζει το πηνίο να δημιουργεί όμοιο μαγνητικό πόλο.

Πλησιάζουμε στο πηνίο του σχήματος 5.13 το βόρειο πόλο ενός ευθύγραμμου μαγνήτη. Καθώς πλησιάζει ο μαγνήτης, η μαγνητική ροή που περνάει από τις σπείρες του πηνίου αυξάνεται και το πηνίο συμπεριφέρεται ως πηγή. Επειδή τα άκρα του είναι ενωμένα, το κύκλωμα είναι κλειστό και έτσι το πηνίο διαρρέεται από ρεύμα. Η φορά αυτού του ρεύματος σύμφωνα με τον κανόνα του Lenz, θα είναι τέτοια ώστε να αντιτίθεται στην αιτία που το προκάλεσε, να εμποδίζει δηλαδή το βόρειο πόλο του μαγνήτη να πλησιάσει. Αυτό σημαίνει ότι η άκρη του πηνίου που είναι προς το μέρος του βόρειου πόλου του μαγνήτη που πλησιάζει θα συμπεριφέρεται ως βόρειος πόλος.

Για να υπερνικηθεί η άπωση που δέχεται ο μαγνήτης από το πηνίο δαπανάται ενέργεια, που μετατρέπεται σε θερμότητα στους αγωγούς. Αν το πηνίο διαρρέονταν από ρεύμα αντίθετης φοράς, απέναντι από το βόρειο πόλο του μαγνήτη θα δημιουργούσε νότιο μαγνητικό πόλο. Ο νότιος μαγνητικός πόλος θα ασκούσε ελκτική δύναμη στο μαγνήτη με αποτέλεσμα να μην απαιτείται καμιά προσπάθεια για να πλησιάσει. Αυτό όμως είναι αντίθετο με την αρχή διατήρησης της ενέργειας, γιατί χωρίς καμιά προσπάθεια, χωρίς να δαπανάται ενέργεια, στο πηνίο θα παραγόταν ηλεκτρική ενέργεια λόγω του φαινομένου της επαγωγής.



Σχ. 5.14 Ο αγωγός ΚΛ ολισθαίνει πάνω στους ακίνητους αγωγούς Δx και Ζx'. Σύμφωνα με τον κανόνα του Lenz το ρεύμα από επαγωγή που δημιουργείται στο κύκλωμα, έχει τέτοια φορά, ώστε ο κινούμενος αγωγός να δέχεται δύναμη Laplace, που αντιτίθεται στην κίνησή του.

Έστω τώρα ο αγωγός ΚΛ που κινείται, μέσα σε ομογενές μαγνητικό πεδίο B , με σταθερή ταχύτητα v , μένοντας σε επαφή με τους ακίνητους αγωγούς Δx και Ζx' (σχ. 5.14). Λόγω του φαινομένου της επαγωγής ο αγωγός ΚΛ συμπεριφέρεται ως πηγή και, επειδή το κύκλωμα είναι κλειστό, διαρρέεται από ρεύμα. Ο αγωγός δέχεται από το μαγνητικό πεδίο δύναμη Laplace. Σύμφωνα με τον κανόνα του Lenz η φορά του ρεύματος πρέπει να είναι τέτοια ώστε

να αντιτίθεται στην αιτία που το προκάλεσε, δηλαδή στην κίνηση του αγωγού ΚΛ. Το ρεύμα πρέπει να έχει τέτοια φορά ώστε η δύναμη Laplace που ασκείται στον αγωγό να αντιτίθεται στην κίνησή του.

Για να διατηρείται η κίνηση του αγωγού ισοταχής, είναι αναγκαίο να ασκείται σε αυτόν δύναμη F , αντίθετη με τη δύναμη Laplace. Μέσω της δύναμης αυτής προσφέρεται στο κύκλωμα ενέργεια. Αν το ρεύμα είχε αντίθετη φορά, το μαγνητικό πεδίο θα ασκούσε στον αγωγό δύναμη ίδιας

κατεύθυνσης με την ταχύτητά του. Στην περίπτωση αυτή δεν απαιτείται ενέργεια για να διατηρηθεί η κίνηση του αγωγού και στο κύκλωμα θα παραγόταν διαρκώς ηλεκτρική ενέργεια που θα μετατρεπόταν σε θερμότητα στην αντίσταση R . Όμως, σύμφωνα με την αρχή διατήρησης της ενέργειας είναι αδύνατη η παραγωγή μιας μορφής ενέργειας χωρίς αντίστοιχη δαπάνη άλλης μορφής ενέργειας.

Η αρχή διατήρησης της ενέργειας στο φαινόμενο της επαγωγής

Η ισχύς της αρχής διατήρησης της ενέργειας στο φαινόμενο της επαγωγής μπορεί ναδειχθεί και ποσοτικά.

Έστω πάλι ο αγωγός $ΑΓ$ που κινείται με σταθερή ταχύτητα v μέσα σε ομογενές μαγνητικό πεδίο B , μένοντας σε επαφή με τους ακίνητους αγωγούς $Δx$ και $Ζx'$ (σχ. 5.15). Θεωρούμε ότι η κίνηση του αγωγού γίνεται χωρίς τριβές.

Έχουμε βρει ότι στο κύκλωμα επάγεται ηλεκτρεγερτική δύναμη

$$E_{\text{ΕΠ}} = BvL.$$

Εάν το κύκλωμα παρουσιάζει συνολικά αντίσταση R θα διαρρέεται από ρεύμα

$$I = \frac{E_{\text{ΕΠ}}}{R} = \frac{BvL}{R}.$$

Σε χρονικό διάστημα Δt , το ρεύμα, λόγω φαινομένου Joule, θα αποδώσει στο περιβάλλον θερμότητα

$$Q = I^2 R \Delta t = \frac{B^2 v^2 L^2}{R} \Delta t.$$

Για να διατηρούμε την κίνηση του αγωγού $ΚΛ$ ισοταχή πρέπει να ασκούμε εξωτερική δύναμη $\mathbf{F}$, αντίθετη της δύναμης Laplace που δέχεται ο $ΚΛ$.

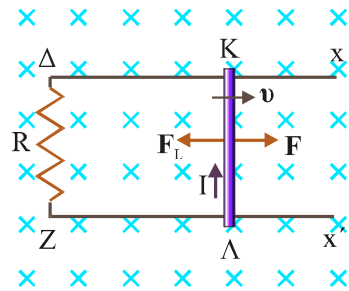
$$F = F_L = BIL = B \frac{E_{\text{ΕΠ}}}{R} L = \frac{B^2 v L^2}{R}.$$

Στο χρονικό διάστημα Δt ο αγωγός μετατοπίζεται κατά $\Delta x = v \Delta t$ και το έργο της $\mathbf{F}$ στο ίδιο χρονικό διάστημα θα είναι

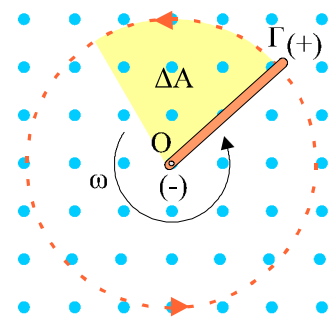
$$W_F = F \Delta x = \frac{B^2 v L^2}{R} v \Delta t = \frac{B^2 v^2 L^2}{R} \Delta t.$$

Βλέπουμε ότι χρειάστηκε να προσφέρουμε έργο ίσο με τη θερμότητα που παράχθηκε.

5-5 ΣΤΡΕΦΟΜΕΝΟΣ ΑΓΩΓΟΣ



Σχ. 5.15



Σχ. 5.16 Ο αγωγός ΟΓ στρέφεται με γωνιακή ταχύτητα ω , γύρω από το άκρο του Ο, μέσα σε ομογενές μαγνητικό πεδίο. Το επίπεδο περιστροφής του είναι κάθετο στις δυναμικές γραμμές του πεδίου.

Ένας αγωγός ΟΓ, μήκους L , στρέφεται με σταθερή γωνιακή ταχύτητα ω γύρω από άξονα που περνάει από το άκρο του Ο. Το επίπεδο περιστροφής του είναι κάθετο στις δυναμικές γραμμές ομογενούς μαγνητικού πεδίου $\mathbf{B}$. Στα ελεύθερα ηλεκτρόνια του αγωγού που κινούνται μαζί με αυτόν το μαγνητικό πεδίο ασκεί δύναμη Lorentz εξαιτίας της οποίας στο άκρο Ο του αγωγού συσσωρεύεται αρνητικό φορτίο και στο άκρο Γ θετικό. Ο αγωγός γίνεται πηγή.

Η μαγνητική δύναμη που δέχονται τα ελεύθερα ηλεκτρόνια δεν έχει το ίδιο μέτρο σε κάθε σημείο του αγωγού γιατί η γραμμική ταχύτητα των σημείων του αυξάνεται ανάλογα με την απόσταση από τον άξονα περιστροφής ($v = \omega \cdot r$, όπου r η απόσταση από το κέντρο περιστροφής).

Είδαμε στην παράγραφο 5-3 ότι μπορούμε να υπολογίσουμε την ηλεκτρεγερτική δύναμη από επαγωγή με το νόμο του Faraday, αρκεί στη θέση του $\Delta\Phi$ να βάλουμε τη ροή που περνάει από την επιφάνεια που ορίζει με την κίνησή του ο αγωγός στον αντίστοιχο χρόνο.

Στην περίπτωση που εξετάζουμε θα ισχύει :

$$E_{\text{ΕΠ}} = \frac{\Delta\Phi_B}{\Delta t}$$

όπου

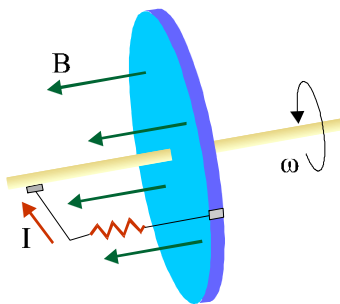
$$\Phi_B = BA$$

άρα

$$E_{\text{ΕΠ}} = \frac{B\Delta A}{\Delta t} \quad (5.6)$$

Ο αγωγός σαρώνει την επιφάνεια δίσκου που έχει κέντρο Ο και ακτίνα L . Ο ρυθμός $\frac{\Delta A}{\Delta t}$ με τον οποίο σαρώνεται η επιφάνεια είναι σταθερός αφού η γωνιακή ταχύτητα περιστροφής είναι σταθερή. Έτσι μπορούμε να γράψουμε ότι

$$\frac{\Delta A}{\Delta t} = \frac{\pi L^2}{T} \quad (5.7)$$



όπου πL^2 το εμβαδόν της επιφάνειας που ορίζει ο αγωγός σε μια πλήρη περιστροφή και T η περίοδος περιστροφής του.

$$\text{Θέτοντας} \quad T = \frac{2\pi}{\omega} \quad (5.8)$$

και με βάση την (5.7) η (5.6), δίνει

$$E_{\text{ΕΠ}} = \frac{1}{2} B \omega L^2$$

Σχ. 5.17 Ο δίσκος στρέφεται με γωνιακή ταχύτητα ω γύρω από άξονα που διέρχεται από το κέντρο του. Η στροφική κίνηση του δίσκου γίνεται μέσα σε ομογενές μαγνητικό πεδίο. Το επίπεδο του δίσκου είναι συνεχώς κάθετο στο μαγνητικό πεδίο.

ΣΤΡΕΦΟΜΕΝΟΣ ΔΙΣΚΟΣ

Θεωρούμε αγωγίμο δίσκο με ακτίνα r , του οποίου το επίπεδο είναι κάθετο στις δυναμικές γραμμές ομογενούς μαγνητικού πεδίου. Στρέφουμε το δίσκο με σταθερή γωνιακή ταχύτητα ω γύρω από άξονα που περνάει από το κέντρο του και είναι παράλληλος στις δυναμικές γραμμές. Αν θεωρήσουμε ότι ο δίσκος αποτελείται από ένα μεγάλο αριθμό αγωγών σαν αυτόν της προηγούμενης παραγράφου, τότε ανάμεσα στο κέντρο και σε οποιοδήποτε

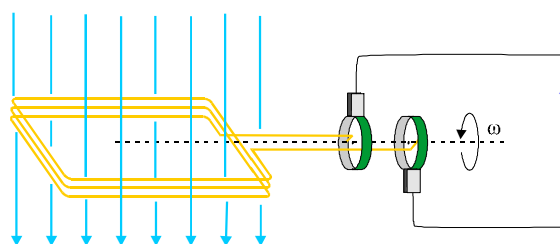
$$\text{σημείο της περιφέρειας θα υπάρχει } E_{\text{ΕΠ}} = \frac{1}{2} B \omega r^2$$

Μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε αυτή τη συσκευή ως πηγή σταθερής τάσης αν τη συμπληρώσουμε με ολισθαίνουσες επαφές (ψήκτρες) όπως στο σχήμα 5.17.

Η πολικότητα της ΗΕΔ που αναπτύσσεται από επαγωγή εξαρτάται από τη φορά περιστροφής του δίσκου. Στην περίπτωση του σχήματος τα σημεία της περιφέρειας του δίσκου βρίσκονται σε υψηλότερο δυναμικό από το κέντρο. Η συσκευή ονομάζεται δίσκος του Faraday.

5-6 ΣΤΡΕΦΟΜΕΝΟ ΠΛΑΙΣΙΟ – ΕΝΑΛΛΑΣΣΟΜΕΝΗ ΤΑΣΗ

Ένα αγωγίμο πλαίσιο σχήματος ορθογωνίου παραλληλογράμμου και εμβαδού A στρέφεται με σταθερή γωνιακή ταχύτητα ω μέσα σε ομογενές μαγνητικό πεδίο γύρω από άξονα που είναι κάθετος στις δυναμικές γραμμές του πεδίου και βρίσκεται στο επίπεδό του.



Σχ. 5.18 Το πλαίσιο στρέφεται με σταθερή γωνιακή ταχύτητα ω μέσα σε ομογενές μαγνητικό πεδίο. $E_{\text{ΕΠ}}$

Αν τη χρονική στιγμή $t = 0$ το επίπεδο του πλαισίου είναι κάθετο στο $\mathbf{B}$ σε μία τυχαία χρονική στιγμή t το πλαίσιο θα έχει στραφεί κατά γωνία $\vartheta = \omega t$ και η μαγνητική ροή μέσα από την επιφάνεια του πλαισίου θα είναι $\Phi_B = BA \sin \omega t$. Καθώς το πλαίσιο στρέφεται η μαγνητική ροή μέσα από

την επιφάνειά του μεταβάλλεται και κατά συνέπεια στο πλαίσιο εμφανίζεται ηλεκτρεγερτική δύναμη από επαγωγή. Από το νόμο του Faraday προκύπτει :

$$E_{\text{ΕΠ}} = -\frac{d\Phi_B}{dt} = \omega BA \eta \mu \omega t^1$$

Εάν το πλαίσιό μας έχει N σπείρες τότε $\Phi_B = NBA \sigma \nu \omega t$ και αντίστοιχα

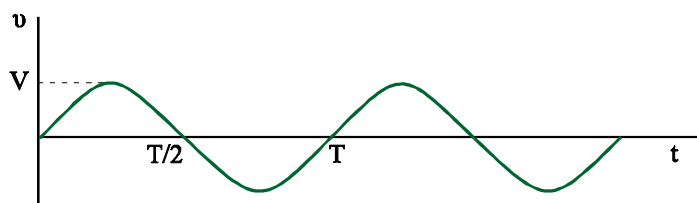
$$E_{\text{ΕΠ}} = N\omega BA \eta \mu \omega t.$$

Η τάση αυτή, που πιο συχνά γράφεται με τη μορφή

$$v = V \eta \mu \omega t,$$

όπου $V = N\omega BA$,

είναι ημιτονοειδής συνάρτηση του χρόνου (σχ. 5.19) και ονομάζεται **εναλλασσόμενη τάση** (ac) γιατί η πολικότητά της εναλλάσσεται, στο χρόνο μιας περιστροφής του πλαισίου.



Σχ. 5.19 Η εναλλασσόμενη τάση μεταβάλλεται ημιτονοειδώς με το χρόνο

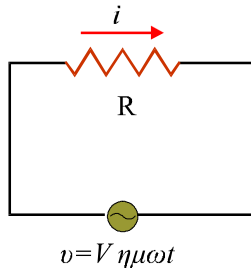
- Το V είναι η μεγαλύτερη τιμή που μπορεί να πάρει η τάση, μετριέται σε *Volts* και ονομάζεται **πλάτος της εναλλασσόμενης τάσης**.
- Το γινόμενο ωt ονομάζεται **φάση** της τάσης και είναι γωνία, μετρημένη σε *rad*.
- Το ω ονομάζεται **γωνιακή συχνότητα** της εναλλασσόμενης τάσης και είναι ίσο με τη γωνιακή ταχύτητα περιστροφής του πλαισίου που παρήγαγε την τάση. Μετριέται σε $\frac{\text{rad}}{\text{s}}$. Η **γωνιακή συχνότητα** συνδέεται με την περίοδο T , της εναλλασσόμενης τάσης, δηλαδή το χρόνο μέσα στον οποίο η τάση ολοκληρώνει μια πλήρη εναλλαγή τιμών με τη σχέση $\omega = \frac{2\pi}{T}$. Η περίοδος μετριέται σε s . Επίσης $\omega = 2\pi f$ όπου f η συχνότητα της εναλλασσόμενης τάσης δηλαδή ο αριθμός των πλήρων εναλλαγών της τάσης στη μονάδα του χρόνου $f = \frac{1}{T}$. Μετριέται σε *Hertz (Hz)* ή, αλλιώς, s^{-1} .

Παντού η μεταφορά και διανομή της ηλεκτρικής ενέργειας γίνεται με εναλλασσόμενη τάση. Στην Ελλάδα, στα δίκτυα των πόλεων το πλάτος της

¹ Το αποτέλεσμα προέκυψε από την παραγωγή της μαγνητικής ροής ως προς το χρόνο.

εναλλασσόμενης τάσης, στην κατανάλωση, είναι $V = 220\sqrt{2} \text{ V}$ και η συχνότητα $f = 50 \text{ Hz}$.

5-7 ΕΝΑΛΛΑΣΣΟΜΕΝΟ ΡΕΥΜΑ



Σχ. 5.20 Στα άκρα του αντιστάτη R εφαρμόζεται εναλλασσόμενη τάση. Το σύμβολο  παριστάνει μια γεννήτρια εναλλασσόμενης τάσης (εναλλάκτης).

Στα άκρα ενός αντιστάτη εφαρμόζουμε εναλλασσόμενη τάση $v = V\eta\mu\omega t$ με μια γεννήτρια εναλλασσόμενης τάσης.

Η τάση αυτή εξαναγκάζει τα ελεύθερα ηλεκτρόνια στους αγωγούς να κάνουν ταλάντωση με συχνότητα τη συχνότητα της εναλλασσόμενης τάσης που εφαρμόσαμε.

Η ένταση του ρεύματος που διαρρέει το κύκλωμα κάποια στιγμή είναι

$$i = \frac{v}{R} = \frac{V\eta\mu\omega t}{R}$$

$$i = I\eta\mu\omega t$$

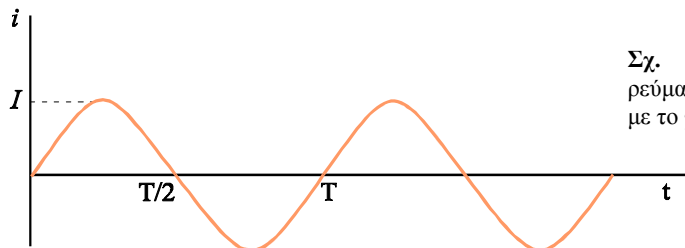
ή όπου το I είναι η μέγιστη τιμή της έντασης του ρεύματος (πλάτος) και

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

δίνεται από τη σχέση

Το ρεύμα αυτό, που η φορά του μεταβάλλεται περιοδικά με το χρόνο, ονομάζεται **εναλλασσόμενο ρεύμα**. Στο σχήμα 5.21 παριστάνεται γραφικά η ένταση του εναλλασσόμενου ρεύματος σε συνάρτηση με το χρόνο.

Με το σύμβολο i θα συμβολίζουμε ρεύματα που μεταβάλλονται με το χρόνο.



Σχ. 5.21 Το εναλλασσόμενο ρεύμα μεταβάλλεται ημιτονοειδώς με το χρόνο.

Η γωνία ωt ονομάζεται φάση και το ω γωνιακή συχνότητα του εναλλασσόμενου ρεύματος.

Η εναλλασσόμενη τάση που εφαρμόσαμε στα άκρα του αντιστάτη και το ρεύμα παίρνουν ταυτόχρονα τη μέγιστη ή την ελάχιστη τιμή. Λέμε ότι **τα δύο μεγέθη βρίσκονται σε φάση** (ή ότι η διαφορά φάσης τους είναι μηδέν).

Καθώς οι φορείς του ηλεκτρικού φορτίου μέσα στους αγωγούς του κυκλώματος ταλαντώνονται, προσκρούουν στα ιόντα του πλέγματος και χάνουν την ενέργειά που τους παρέχει για την κίνησή τους η πηγή. Η ενέργεια αυτή αποδίδεται υπό μορφή θερμότητας στο περιβάλλον. Παρουσιάζεται κι εδώ, όπως και στα κυκλώματα συνεχούς ρεύματος, το φαινόμενο Joule.

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 5-4

Αντιστάτης με $R=20\Omega$, συνδέεται στο δίκτυο της ΔΕΗ. Όπως γνωρίζετε η τάση που παρέχει το δίκτυο της ΔΕΗ έχει πλάτος $V = 220\sqrt{2} V$ και συχνότητα 50Hz . Να γραφτεί η εξίσωση του εναλλασσόμενου ρεύματος που διαρρέει τον αντιστάτη.

Απάντηση :

Το πλάτος της έντασης του ρεύματος είναι $I = \frac{V}{R} = 11\sqrt{2} A$

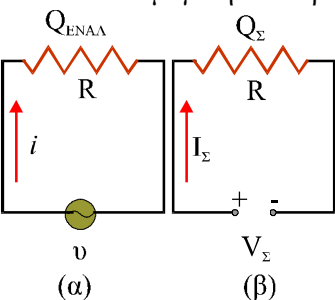
Η γωνιακή συχνότητα $\omega = 2\pi f = 100\pi$

Επομένως η εξίσωση του ρεύματος που διαρρέει τον αντιστάτη είναι

$$i = I \eta \mu \omega t = 11\sqrt{2} \eta \mu 100\pi t$$

5-8 ΕΝΕΡΓΟΣ ΕΝΤΑΣΗ – ΕΝΕΡΓΟΣ ΤΑΣΗ

Επειδή το εναλλασσόμενο ρεύμα και η εναλλασσόμενη τάση διαρκώς μεταβάλλονται, το να γνωρίζουμε τι τιμή έχουν ορισμένη στιγμή ελάχιστη πρακτική αξία έχει. Για το λόγο αυτό, στηριζόμενοι στο θερμικό φαινόμενο που προκαλούν σε ένα αντιστάτη, ορίζουμε τις ενεργές τους τιμές, που είναι μεγέθη σταθερά.



Έστω ο αντιστάτης R (σχ. 5.22α) που διαρρέεται από εναλλασσόμενο ρεύμα i . Στον αντιστάτη παράγεται θερμότητα. Έστω $Q_{\text{ENAΛ}}$ η θερμότητα που παράγεται σε χρόνο t . Στον ίδιο αντιστάτη διαβιβάζουμε συνεχές ρεύμα (σχ. 5.22β). Σε χρόνο t στον αντιστάτη θα παραχθεί θερμότητα Q_{Σ} . Αν η ένταση I_{Σ} του συνεχούς ρεύματος είναι τέτοια ώστε $Q_{\Sigma} = Q_{\text{ENAΛ}}$, η τιμή αυτή του ρεύματος ονομάζεται ενεργός τιμή του εναλλασσόμενου.

Σχ. 5.22 Αν η θερμότητα Q_{Σ} που παράγεται από το συνεχές ρεύμα I_{Σ} είναι ίση με τη θερμότητα $Q_{\text{ENAΛ}}$ που παράγεται από το εναλλασσόμενο ρεύμα, τότε $I_{\text{EV}} = I_{\Sigma}$

Αν $I_{\Sigma} = I_{\text{EV}}$ τότε $V_{\Sigma} = V_{\text{EV}}$

Ενεργός ένταση I_{EV} ενός εναλλασσόμενου ρεύματος ονομάζεται η ένταση ενός συνεχούς ρεύματος το οποίο προκαλεί το ίδιο θερμικό αποτέλεσμα με το εναλλασσόμενο ρεύμα, όταν διαρρέει τον ίδιο αντιστάτη, στον ίδιο χρόνο.

Αποδεικνύεται ότι το I_{EV} και το πλάτος I του εναλλασσόμενου ρεύματος συνδέονται με τη σχέση

$$I_{\text{EV}} = \frac{I}{\sqrt{2}}$$

Ενεργός τάση V_{EV} μιας εναλλασσόμενης τάσης, είναι η τιμή της συνεχούς τάσης, που αν εφαρμοστεί στα άκρα αντιστάτη (R), προκαλεί συνεχές ρεύμα έντασης ίσης με την ενεργό ένταση του εναλλασσόμενου ρεύματος που θα προκαλούσε η εναλλασσόμενη τάση στον ίδιο αντιστάτη.

Αποδεικνύεται ότι η ενεργός τάση $V_{\varepsilon\nu}$ και το πλάτος V της εναλλασσόμενης τάσης συνδέονται με τη σχέση

$$V_{\varepsilon\nu} = \frac{V}{\sqrt{2}}$$

Όταν λέμε ότι οι ρευματοδότες στα σπίτια μας δίνουν 220 V, ή ότι κάποια συσκευή δουλεύει στα 220 V, 16 A, αναφερόμαστε σε ενεργές τιμές.

Τα όργανα που χρησιμοποιούμε για τη μέτρηση εναλλασσόμενων τάσεων και ρευμάτων δείχνουν ενεργές τιμές.

5-9 Ο ΝΟΜΟΣ ΤΟΥ JOULE (ΤΖΑΟΥΛ) - ΙΣΧΥΣ ΤΟΥ ΕΝΑΛΛΑΣΣΟΜΕΝΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΣ

Η ενεργός τιμή της έντασης ενός εναλλασσόμενου ρεύματος είναι η τιμή του συνεχούς ρεύματος που στον ίδιο χρόνο δημιουργεί σε ένα αντιστάτη τα ίδια θερμικά αποτελέσματα με το εναλλασσόμενο. Επομένως **ο νόμος του Joule στο εναλλασσόμενο** γράφεται

$$Q = I_{\varepsilon\nu}^2 R t$$

Η ισχύς του εναλλασσόμενου ρεύματος (ο ρυθμός με τον οποίο το εναλλασσόμενο ρεύμα μεταφέρει στο κύκλωμα ενέργεια κάθε στιγμή) δίνεται από τη σχέση

$$p = \upsilon i \quad \text{ή} \quad p = i^2 R$$

Επειδή η ένταση του ρεύματος μεταβάλλεται διαρκώς, η ισχύς δεν έχει σταθερή τιμή. Για να τονίσουμε ότι η ισχύς μεταβάλλεται με το χρόνο ονομάζουμε την ισχύ αυτή **στιγμιαία ισχύ**.

Η στιγμιαία ισχύς έχει ελάχιστη πρακτική αξία. Στην πράξη χρησιμοποιείται η **μέση ισχύς**, η οποία είναι σταθερή. Είναι η ισχύς που κατά μέσο όρο καταναλώνεται στο κύκλωμα. Η μέση ισχύς ορίζεται ως εξής:

Μέση ισχύς P ονομάζεται το πηλίκο της ενέργειας που μεταφέρει το ηλεκτρικό ρεύμα στο κύκλωμα σε χρόνο μιας περιόδου προς το χρόνο αυτό

$$P = \frac{W}{T}$$

Η μέση ισχύς σε ένα αντιστάτη ισούται με

$$P = V_{\varepsilon\nu} I_{\varepsilon\nu} \quad \text{ή} \quad P = I_{\varepsilon\nu}^2 R$$

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 5-5

Αγωγός που έχει αντίσταση $R=8\Omega$ συνδέεται σε εναλλασσόμενη τάση ενεργού τιμής $V_{\varepsilon V}=16V$. Να υπολογιστεί το ποσό θερμότητας που αποδίδει ο αγωγός στο περιβάλλον σε χρόνο $t=10\text{min}$.

Απάντηση :

Η ενεργός ένταση του ρεύματος που διαρρέει τον αγωγό είναι

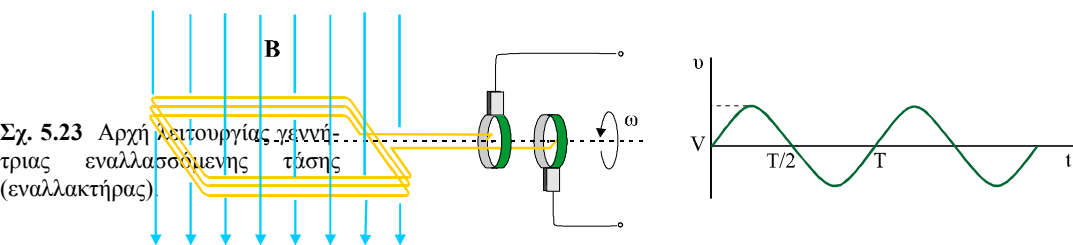
$$I_{\varepsilon V} = \frac{V_{\varepsilon V}}{R} = 2A$$

Από το νόμο του Joule βρίσκουμε

$$Q = I_{\varepsilon V}^2 R t = 19200J$$

5-10 ΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ ΕΝΑΛΛΑΣΣΟΜΕΝΗΣ ΚΑΙ ΣΥΝΕΧΟΥΣ ΤΑΣΗΣ

Στην παράγραφο (5-6) μελετήσαμε μια διάταξη πλαισίου στρεφόμενου μέσα σε ομογενές μαγνητικό πεδίο που παράγει εναλλασσόμενη τάση. Πρόκειται για το πρότυπο της γεννήτριας εναλλασσόμενης τάσης, που λέγεται και **εναλλακτήρας**. Η παραγόμενη τάση αναπτύσσεται στο εξωτερικό κύκλωμα με τη βοήθεια δύο δακτυλίων επαφής (σχ. 5.23) οι οποίοι περιστρέφονται με το πλαίσιο. Σταθερές επαφές, που ονομάζονται ψήκτρες, ολισθαίνουν στους δακτυλίους και αποτελούν την έξοδο του **εναλλακτήρα**.

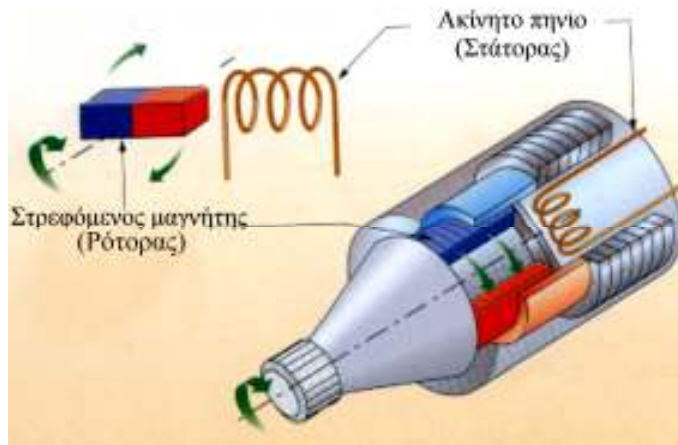


Εικ. 5.4 Δυναμό ποδηλάτου

Το ίδιο ακριβώς αποτέλεσμα έχουμε αν διατηρήσουμε το πλαίσιο σταθερό και περιστρέφουμε το μαγνήτη που δημιουργεί το μαγνητικό πεδίο. Ας δούμε την περίπτωση του δυναμό του ποδηλάτου. Η κίνηση της ρόδας θέτει σε περιστροφική κίνηση ένα μαγνήτη στο εσωτερικό ενός πλαισίου πολλών σπειρών. Ο στρεφόμενος μαγνήτης λέγεται “ρότορας” ενώ το ακίνητο πλαίσιο “στάτορας” (σχ. 5.24)



Εικ. 5.5 Δυναμό (εσωτερικό).

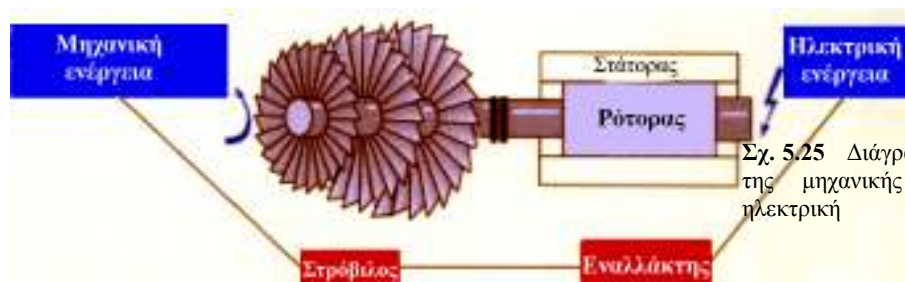


Σχ. 5.24 Η αρχή λειτουργίας του δυναμό ενός ποδηλάτου.



Εικ. 5.6 Ρότορας

Εικ. 5.7 Η ηλεκτρική ενέργεια μεταφέρεται από τα εργοστάσια παραγωγής στην κατανάλωση με αγωγούς μεταφοράς υπό υψηλή τάση.



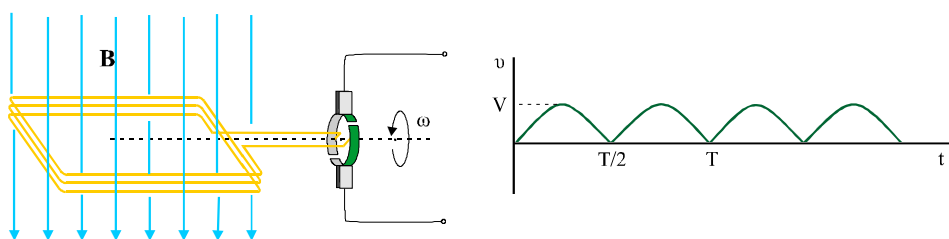
Σχ. 5.25 Διάγραμμα μετατροπής της μηχανικής ενέργειας σε ηλεκτρική

Στο σχήμα 5.26 φαίνεται η αρχή λειτουργίας μιας πηγής που δίνει συνεχή (όχι σταθερή) τάση. Εδώ, αντί για δυο ανεξάρτητους δακτυλίους, όπως στον εναλλακτήρα, τα άκρα του πλαισίου είναι συνδεδεμένα με δύο ημιδακτυλίους που περιστρέφονται μαζί με το πλαίσιο. Η διάταξη αυτή λέγεται **συλλέκτης**. Τη στιγμή που η τάση αλλάζει



Εικ. 5.8 Γεννήτρια σε σταθμό παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με πυρηνική ενέργεια.

πολικότητα οι συνδέσεις με το εξωτερικό κύκλωμα αντιστρέφονται και η τάση που παίρνουμε είναι συνεχής (σχ. 5.26).

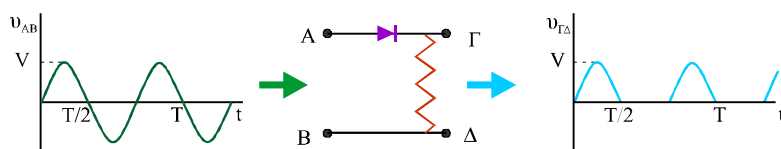


Σχ. 5.26 Αρχή λειτουργίας της γεννήτριας συνεχούς τάσεως.

5-11 ΑΝΟΡΘΩΣΗ ΕΝΑΛΛΑΣΣΟΜΕΝΗΣ ΤΑΣΗΣ

Η εναλλασσόμενη τάση παρουσιάζει πλεονεκτήματα έναντι της συνεχούς. Όμως, πολλές συσκευές καθημερινής χρήσης χρειάζονται συνεχή τάση -και μάλιστα σταθερή- για να λειτουργήσουν. Τη μετατροπή μιας εναλλασσόμενης τάσης σε συνεχή και στη συνέχεια σε σταθερή την επιτυγχάνουμε με το συνδυασμό δύο διατάξεων, του ανορθωτή και του εξομαλυντή.

Στον ανορθωτή χρησιμοποιούμε διόδους. Η διάταξη είναι μία διάταξη που επιτρέπει στο ρεύμα να τη διαρρέει κατά τη μία φορά εύκολα ενώ πρακτικά δε διαρρέεται από ρεύμα κατά την αντίθετη φορά. Η διάταξη παριστάνεται με το σύμβολο $\rightarrow$ και η φορά κατά την οποία διαρρέεται από ρεύμα είναι αυτή που δείχνει το βέλος. Θα μπορούσαμε να πούμε ότι μια ιδανική διάταξη παρουσιάζει μηδενική αντίσταση κατά τη μία φορά και άπειρη αντίσταση κατά την αντίθετη φορά. Στο σχήμα 5.27 βλέπουμε μια διάταξη ανόρθωσης της εναλλασσόμενης τάσης.

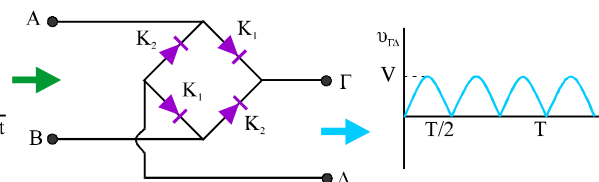


Σχ. 5.27 Διάταξη ανόρθωσης της εναλλασσόμενης τάσης. Η εναλλασσόμενη τάση v_{AB} στην είσοδο του κυκλώματος μετατρέπεται σε συνεχή $v_{\Gamma\Delta}$ στην έξοδο.

Η συνεχής τάση που παίρνουμε με τη διάταξη αυτή ονομάζεται **μερικώς ανορθωμένη** (ημιανορθωμένη).

Στο σχήμα (5.28) βλέπουμε ένα κύκλωμα το οποίο με ένα συνδυασμό διόδων μετατρέπει την εναλλασσόμενη τάση v_{AB} της εισόδου, σε συνεχή τάση $v_{\Gamma\Delta}$ στην έξοδο. Η τάση αυτή ονομάζεται **πλήρως ανορθωμένη**.

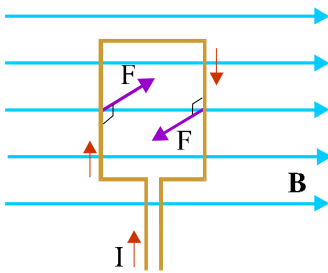
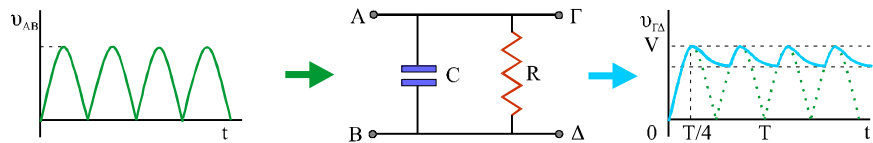
Σχ. 5.28 Διάταξη με τέσσερις διόδους που μετατρέπει την εναλλασσόμενη τάση σε πλήρως ανορθωμένη. Κατά τη μία ημιπερίοδο της τάσης εισόδου όταν το σημείο Α έχει σε υψηλότερο δυναμικό από το σημείο Β, άγουν οι διόδους K_1 , ενώ κατά την άλλη ημιπερίοδο άγουν οι διόδους K_2 .



Ο εξομαλυντής αποτελείται από ένα πυκνωτή και ένα αντιστάτη συνδεδεμένους παράλληλα. Λόγω της

δυσκολίας που παρουσιάζει το κύκλωμα να παρακολουθήσει τις γρήγορες μεταβολές της τάσεως μας δίνει στην έξοδό του τάσεις σχεδόν σταθερές. Αν τροφοδοτήσουμε την είσοδό του με πλήρως ανορθωμένη τάση, καθώς η τάση εισόδου αυξάνεται ο πυκνωτής φορτίζεται και όταν η τάση εισόδου πάρει τη μέγιστη τιμή της το φορτίο του πυκνωτή γίνεται μέγιστο. Στη συνέχεια, καθώς η τάση εισόδου μειώνεται, ο πυκνωτής εκφορτίζεται μέσω του αντιστάτη. Ο χρόνος που διαρκεί η εκφόρτιση του πυκνωτή εξαρτάται από τις τιμές της αντίστασης και της χωρητικότητας. Ο χρόνος εκφόρτισης αυξάνεται όταν οι τιμές τους είναι μεγάλες. Στο κύκλωμα εξομάλυνσης οι τιμές των R και C είναι μεγάλες. Έτσι η τάση στον πυκνωτή, άρα και η τάση εξόδου (V_{TA}), μειώνεται πολύ πιο αργά από την τάση εισόδου. Όταν η τάση στην είσοδο - καθώς αυξάνεται πάλι - γίνει ίση με την τάση στους οπλισμούς του πυκνωτή αρχίζει εκ νέου να αυξάνεται το φορτίο του. Το φαινόμενο επαναλαμβάνεται όταν η τάση γίνει μέγιστη. Με κατάλληλη επιλογή των στοιχείων που συνθέτουν τον ανορθωτή μπορούμε να επιτύχουμε τάσεις κατά ικανοποιητική προσέγγιση σταθερές.

Σχ. 5.29 Με τον εξομαλυντή, η πλήρως ανορθωμένη τάση μετατρέπεται σε τάση σχεδόν σταθερή.



Σχ. 5.30 Το ορθογώνιο πλαίσιο που διαρρέεται από ρεύμα βρίσκεται μέσα σε ομογενές μαγνητικό πεδίο. Το ζεύγος δυνάμεων Laplace που ασκούνται στο πλαίσιο το στρέφουν.

5-12 Ο ΗΛΕΚΤΡΟΚΙΝΗΤΗΡΑΣ

Οι ηλεκτρικοί κινητήρες είναι διατάξεις που μετατρέπουν την ηλεκτρική ενέργεια σε μηχανική. Δηλαδή ένας ηλεκτροκινητήρας είναι μια αντίστροφη ηλεκτρογεννήτρια.

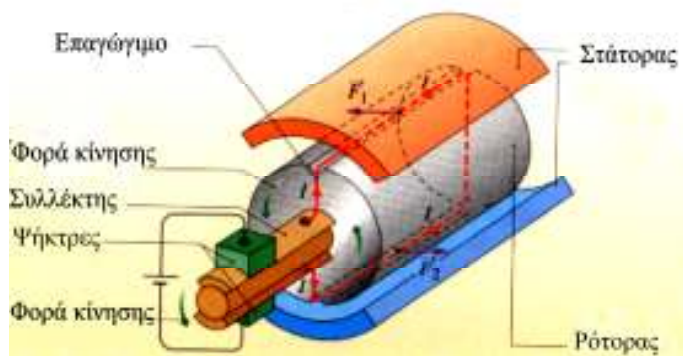
Αρχή λειτουργίας

Τοποθετούμε ένα ορθογώνιο πλαίσιο στο εσωτερικό ενός ομογενούς μαγνητικού πεδίου. Συνδέουμε στα άκρα του μια πηγή συνεχούς τάσης V , οπότε το πλαίσιο διαρρέεται από ρεύμα. Στις πλευρές του πλαισίου θα ασκούνται δυνάμεις Laplace, όπως δείχνει το σχήμα 5.30. Το ζεύγος των δυνάμεων στρέφει το πλαίσιο.

Συνδέοντας το πλαίσιο μ' έναν άξονα μπορούμε να εκμεταλλευτούμε την περιστροφική του κίνηση.

Περιγραφή πραγματικού ηλεκτροκινητήρα

Στους ηλεκτροκινητήρες δεν υπάρχει μόνο ένα ρευματοφόρο πλαίσιο αλλά πολλά. Τα πλαίσια αυτά είναι τοποθετημένα πάνω σε ένα κύλινδρο από μαλακό σίδηρο, το **ρότορα**. Ο ρότορας μπορεί να στρέφεται γύρω από τον άξονά του (σχ. 5.31). Στην επιφάνειά του και κατά μήκος του άξονά του φέρει αύλακες. Στους αύλακες περιτυλίγονται χάλκινοι μονωμένοι αγωγοί, έτσι ώστε να δημιουργείται μια σειρά από πλαίσια. Οι άκρες όλων αυτών των πλαισίων καταλήγουν σε ένα κύλινδρο, το **συλλέκτη**. Ο συλλέκτης χωρίζεται σε τμήματα, μονωμένα μεταξύ τους, κάθε ένα από τα οποία είναι σε ηλεκτρική επαφή με ένα πλαίσιο. Δύο ακίνητες **ψήκτρες** από γραφίτη που μπορούν να συνδεθούν με πηγή τάσης V , εφάπτονται στο συλλέκτη.



Σχ. 5.31 Ηλεκτροκινητήρας (αρχή λειτουργίας).

Ο ρότορας περιβάλλεται από ένα σταθερό τμήμα, το **στάτορα**, που φέρει μόνιμους μαγνήτες (στους μικρούς κινητήρες) ή ηλεκτρομαγνήτες (στους μεγάλους). Ο στάτορας δημιουργεί μαγνητικό πεδίο κάθετο στον άξονα του ρότορα.

Όταν ο κινητήρας ρευματοδοτηθεί, ένα από τα πλαίσια που είναι τυλιγμένα στο ρότορα, αυτό που εκείνη τη στιγμή είναι σε επαφή με τις ψήκτρες, διαρρέεται από ρεύμα. Το μαγνητικό πεδίο ασκεί σ' αυτό ζεύγος δυνάμεων και το στρέφει. Μαζί στέφεται και ολόκληρος ο ρότορας. Με τη στροφή χάνεται η επαφή του πλαισίου αυτού με τις ψήκτρες και διακόπτεται το ρεύμα, ένα άλλο πλαίσιο όμως παίρνει τη θέση του και, έχοντας επαφή με τις ψήκτρες, για τον ίδιο λόγο στρέφεται κι' αυτό. Στη συνέχεια ένα άλλο παίρνει τη θέση του κ.ο.κ. έτσι διατηρείται η κίνηση του ρότορα. που βρίσκεται μέσα σε μαγνητικό πεδίο.

Οι ηλεκτροκινητήρες έχουν απόδοση από 50%, οι μικροί, έως 90% οι μεγάλοι. Οι χρήσεις τους είναι απεριόριστες. Τα ηλεκτρικά κατσαβίδια, τα μίξερ και η μίζα του αυτοκινήτου, οι ανελκυστήρες, τα τρόλεϊ και το μετρό λειτουργούν με ηλεκτροκινητήρες.

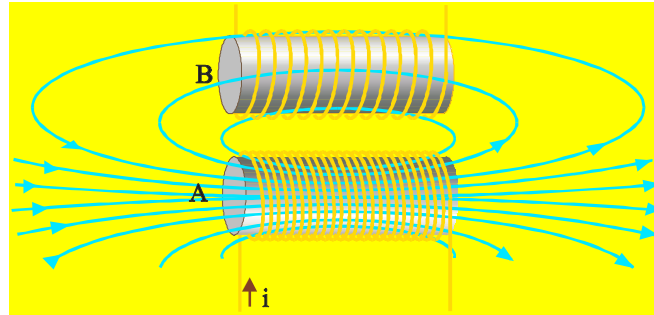


Εικ. 5.9 Μίζα αυτοκινήτου (εκκινητήρας).

5-13 ΑΜΟΙΒΑΙΑ ΕΠΑΓΩΓΗ

Σύμφωνα με το νόμο του Faraday σ' ένα ακίνητο κύκλωμα επάγεται μια ηλεκτρεγερτική δύναμη εάν μεταβάλλεται η μαγνητική ροή που διέρχεται από το κύκλωμα. Τη μεταβολή της μαγνητικής ροής μπορούμε να την πετύχουμε με τη βοήθεια ενός δεύτερου κυκλώματος στο οποίο μεταβάλλουμε την ένταση του ρεύματος. Λέμε τότε ότι τα δύο κυκλώματα βρίσκονται σε **επαγωγική σύζευξη**.

Σχ. 5.32 Το πηνίο A διαρρέεται από ρεύμα μεταβλητής έντασης. Το μαγνητικό πεδίο που δημιουργεί το πηνίο A μεταβάλλεται, με αποτέλεσμα να μεταβάλλεται η μαγνητική ροή που διέρχεται από το πηνίο B και να δημιουργείται σ' αυτό ηλεκτρεγερτική δύναμη από επαγωγή.



Εικ. 5.10 Μετασχηματιστής. Η λειτουργία του στηρίζεται στο φαινόμενο της αμοιβαίας επαγωγής. Η τάση που εφαρμόζεται στο ένα πηνίο μετασχηματίζεται σε μια άλλη τάση διαφορετικού πλάτους στο δεύτερο πηνίο.

Η εμφάνιση ηλεκτρεγερτικής δύναμης σ' ένα κύκλωμα, εξαιτίας της μεταβολής του ρεύματος που συμβαίνει σ' ένα άλλο κύκλωμα, λέγεται αμοιβαία επαγωγή.

Στην περίπτωση της αμοιβαίας επαγωγής ο νόμος της επαγωγής

$$E_{\text{ΕΠ}} = -N \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} \text{ μπορεί να πάρει τη μορφή}$$

$$E_{\text{ΕΠ}} = -M \frac{\Delta i}{\Delta t} \quad (5.9)$$

Το M ονομάζεται **συντελεστής αμοιβαίας επαγωγής των κυκλωμάτων.**

Μετρίεται με τη μονάδα $1H$ (Henry), $1H = 1 \frac{V \cdot s}{A}$.

Σύμφωνα με τη σχέση (5.9),

η ηλεκτρεγερτική δύναμη από αμοιβαία επαγωγή που αναπτύσσεται σε ένα κύκλωμα B εξαιτίας μεταβολής της έντασης του ρεύματος σε ένα κύκλωμα A, είναι ανάλογη του ρυθμού με τον οποίο μεταβάλλεται το ρεύμα στο κύκλωμα A.

Το φαινόμενο της αμοιβαίας επαγωγής είναι έντονο στην περίπτωση δύο πηνίων με κοινό άξονα.

Ο συντελεστής αμοιβαίας επαγωγής δύο πηνίων εξαρτάται από τα γεωμετρικά τους χαρακτηριστικά, τη σχετική τους θέση και το υλικό του πυρήνα τους.

Υπολογισμός συντελεστή αμοιβαίας επαγωγής δύο πηνίων

Θα υπολογίσουμε το συντελεστή αμοιβαίας επαγωγής δυο πηνίων στην ειδική περίπτωση που έχουν κοινό άξονα, όπως στο σχήμα 5.33.

Τα πηνία έχουν, αντίστοιχα, N_1 και N_2 σπείρες και είναι τοποθετημένα έτσι ώστε να έχουν κοινό άξονα, με το πηνίο 1 να περιβάλλει το πηνίο 2. Το πηνίο 1 διαρρέεται από μεταβαλλόμενο ρεύμα i_1 . Εάν τα πηνία δεν περιέχουν κάποιο σώμα στον πυρήνα η ένταση του μαγνητικού πεδίου που δημιουργείται στο εσωτερικό του πηνίου 1 -άρα και στο εσωτερικό του πηνίου 2- θα δίνεται από τη σχέση :

$$B = \mu_0 n_1 i_1$$

όπου μ_0 η μαγνητική διαπερατότητα του κενού και n_1 ο αριθμός σπειρών του πρώτου πηνίου ανά μονάδα μήκους.

Η μαγνητική ροή σε κάθε σπείρα του πηνίου 2 θα είναι :

$$\Phi_{B2} = BA = \mu_0 n_1 A i_1$$

όπου A το εμβαδόν της επιφάνειας στην οποία μεταβάλλεται η ροή

Η επαγόμενη ηλεκτρεγερτική δύναμη στο πηνίο 2 θα είναι

$$E_{\text{ΕΠ2}} = -N_2 \frac{d\Phi_B}{dt} = -N_2 \mu_0 n_1 A \frac{di_1}{dt}$$

όπου N_2 ο αριθμός σπειρών του πηνίου 2

Το σταθερό γινόμενο $N_2 \mu_0 n_1 A$, που θα το συμβολίζουμε με M_{21} εξαρτάται μόνο από τα γεωμετρικά στοιχεία των δύο πηνίων.

Εάν τα πηνία είναι τυλιγμένα γύρω από πυρήνα από υλικό του οποίου η μαγνητική διαπερατότητα μ είναι σταθερή (ανεξάρτητη του B) τότε

$$M_{21} = N_2 \mu \mu_0 n_1 A$$

Εάν επαναλάβουμε τη διαδικασία στην αντίθετη περίπτωση όπου ένα μεταβαλλόμενο ρεύμα i_2 στο πηνίο 2 επάγει ΗΕΔ στο πηνίο 1 καταλήγουμε στη σχέση

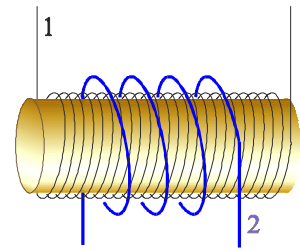
$$E_{\text{ΕΠ1}} = -M_{12} \frac{di_2}{dt}$$

Θα περίμενε κανείς τα M_{21} και M_{12} να είναι διαφορετικά επειδή τα δύο πηνία δεν είναι ίδια και γιατί η ροή που διέρχεται από αυτά δεν είναι ίδια. Όμως, τα M_{21} και M_{12} είναι πάντα ίσα και θα τα συμβολίζουμε με το σύμβολο M .

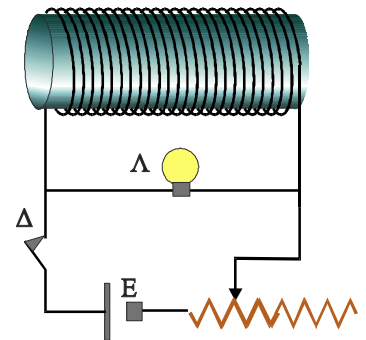
5-14 ΑΥΤΕΠΑΓΩΓΗ

Το κύκλωμα του σχήματος 5.34 περιλαμβάνει πηγή, ρυθμιστική αντίσταση, λαμπτήρα, πηνίο και διακόπτη. Μετακινούμε το δρομέα στη ρυθμιστική αντίσταση ώστε ο λαμπτήρας μόλις να φωτοβολεί. Αν ανοίξουμε το διακόπτη Δ του κυκλώματος θα παρατηρήσουμε ότι για λίγο ο λαμπτήρας συνεχίζει να φωτοβολεί και μάλιστα, αμέσως μετά το άνοιγμα του διακόπτη, πιο έντονα από πριν. Αυτό συμβαίνει γιατί η απότομη μείωση της έντασης του ρεύματος που διαρρέει το πηνίο προκαλεί αντίστοιχη ελάττωση του μαγνητικού του πεδίου, επομένως και της μαγνητικής ροής που διέρχεται από τις σπείρες του. Η μεταβολή της μαγνητικής ροής στο πηνίο έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία ηλεκτρεγερτικής δύναμης από επαγωγή στο πηνίο.

Η ηλεκτρεγερτική δύναμη που δημιουργείται στο πηνίο όταν ανοίξουμε το διακόπτη, προκαλεί ρεύμα στο κύκλωμα πηνίο - λαμπτήρας και αναγκάζει το λαμπτήρα να φωτοβολήσει για λίγο.



Σχ. 5.33 Τα δύο πηνία έχουν κοινό άξονα.



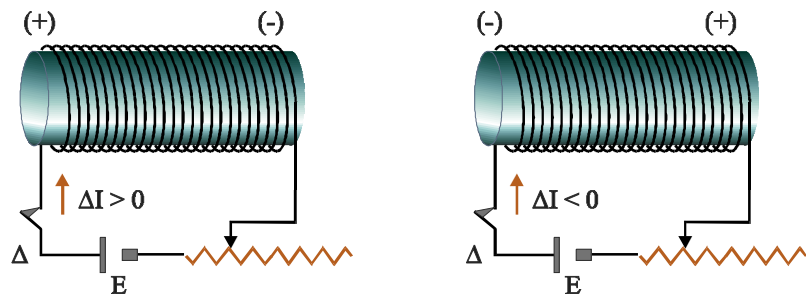
Σχ. 5.34 Αν ανοίξουμε το διακόπτη θα παρατηρήσουμε ότι ο λαμπτήρας εξακολουθεί να φωτοβολεί για λίγο χρόνο.

Ηλεκτρεγερτική δύναμη δημιουργείται στο πηνίο και κάθε φορά που στο κύκλωμα (όσο ο διακόπτης είναι κλειστός) μεταβάλλουμε το ρεύμα που το διαρρέει. Ηλεκτρεγερτική δύναμη επαγωγικής προέλευσης δημιουργείται σε κάθε κύκλωμα στο οποίο μεταβάλλεται η ένταση του ρεύματος, συνήθως όμως τη μελετάμε στα πηνία γιατί εκεί το φαινόμενο είναι εντονότερο. Το φαινόμενο ονομάζεται αυτεπαγωγή.

Αυτεπαγωγή ονομάζεται το φαινόμενο κατά το οποίο δημιουργείται ηλεκτρεγερτική δύναμη σε ένα κύκλωμα, όταν μεταβάλλεται το ρεύμα που το διαρρέει. Η ηλεκτρεγερτική δύναμη που δημιουργείται ονομάζεται ηλεκτρεγερτική δύναμη από αυτεπαγωγή ($E_{\text{ΑΥΤ}}$).

Αν το ρεύμα που διαρρέει ένα πηνίο αυξάνεται, σύμφωνα με τον κανόνα του Lenz, στο πηνίο δημιουργείται ηλεκτρεγερτική δύναμη που παρεμποδίζει την αύξηση του ρεύματος. Αν το ρεύμα στο πηνίο μειώνεται, η ηλεκτρεγερτική δύναμη που δημιουργείται έχει την τάση να το διατηρήσει σταθερό.

Σχ. 5.35 Η ηλεκτρεγερτική δύναμη από αυτεπαγωγή αντιτίθεται στη μεταβολή της έντασης του ρεύματος.

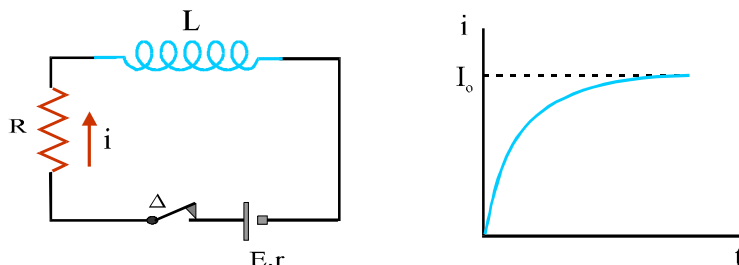


Το πηνίο αντιδρά σε κάθε μεταβολή της έντασης του ρεύματος που το διαρρέει.

Η αυτεπαγωγή είναι ιδιότητα των κυκλωμάτων αντίστοιχη με την αδράνεια των σωμάτων. Τα σώματα αντιστέκονται στη μεταβολή της ταχύτητάς τους. Τα κυκλώματα αντιστέκονται στη μεταβολή του ρεύματος που τα διαρρέει. Μέτρο της αδράνειας των σωμάτων είναι η μάζα τους. Μέτρο της αδράνειας των κυκλωμάτων είναι ο συντελεστής αυτεπαγωγής τους.

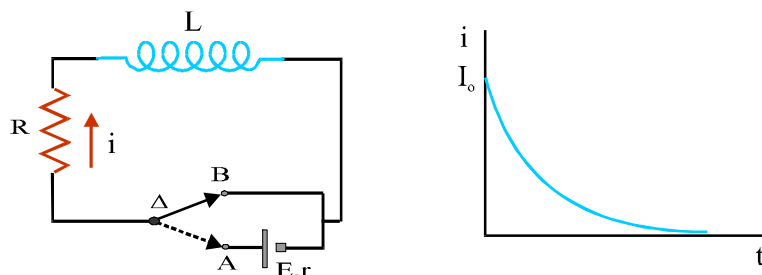
Στο σχήμα 5.36 το κύκλωμα περιλαμβάνει πηγή, διακόπτη, αντιστάτη και πηνίο. Αν κλείσουμε το διακόπτη, το κύκλωμα αρχίζει να διαρρέεται από ρεύμα, επειδή όμως το πηνίο αντιδρά στην αύξηση του ρεύματος, το ρεύμα καθυστερεί να πάρει την τελική του τιμή I_0 .

Σχ. 5.36 Μετά το κλείσιμο του διακόπτη το ρεύμα καθυστερεί να πάρει την τελική του τιμή.



Στο σχήμα 5.37 ο μεταγωγός αρχικά είναι στη θέση Α και το κύκλωμα διαρρέεται από σταθερό ρεύμα I_0 . Τη στιγμή μηδέν, ο μεταγωγός

τοποθετείται στη θέση Β. Το κύκλωμα συνεχίζει για λίγο χρόνο να διαρρέεται από ρεύμα. Το πηνίο, αντιδρώντας στη μείωση του ρεύματος δημιουργεί ηλεκτρεγερτική δύναμη που δίνει για μικρό χρόνο ρεύμα ίδιας φορά με το αρχικό ρεύμα.



Σχ. 5.37 Η μετακίνηση του μεταγωγού από τη θέση Α στη θέση Β δε μηδενίζει αμέσως το ρεύμα στο κύκλωμα εξαιτίας της ηλεκτρεγερτικής δύναμης από αυτεπαγωγή που αναπτύσσεται στο πηνίο.

Ο νόμος της αυτεπαγωγής

Το φαινόμενο της αυτεπαγωγής αποτελεί μια ειδική περίπτωση του φαινομένου της επαγωγής. Ο νόμος της επαγωγής $E_{\text{ΕΠ}} = -N \frac{\Delta \Phi_B}{\Delta t}$ γίνεται στην περίπτωση της αυτεπαγωγής

$$E_{\text{ΑΥΤ}} = -L \frac{\Delta i}{\Delta t} \quad (5.10)$$

Ο συντελεστής αναλογίας L ονομάζεται **συντελεστής αυτεπαγωγής ή αυτεπαγωγή**. Το (-) στη σχέση είναι συνέπεια του κανόνα του Lenz.

Από τη σχέση (5.10), που αποτελεί ειδική έκφραση του νόμου της επαγωγής, προκύπτει ότι

η ηλεκτρεγερτική δύναμη από αυτεπαγωγή σε ένα κύκλωμα είναι ανάλογη με το ρυθμό μεταβολής της έντασης του ρεύματος που το διαρρέει.

Η σχέση (5.10) δίνει τη μέση ηλεκτρεγερτική δύναμη από αυτεπαγωγή. Για να βρούμε την τιμή της μια χρονική στιγμή πρέπει ο χρόνος Δt να είναι απειροστά μικρός.

$$E_{\text{ΑΥΤ}} = -L \frac{di}{dt}$$

Από τη σχέση (5.10) παρατηρούμε ότι ο συντελεστής αυτεπαγωγής ενός πηνίου, είναι αριθμητικά ίσος με την ηλεκτρεγερτική δύναμη που επάγεται στο πηνίο, όταν το ρεύμα μεταβάλλεται με ρυθμό 1 A/s . Μονάδα μέτρησης του συντελεστή αυτεπαγωγής είναι το **Henry (H)**.

Ο συντελεστής αυτεπαγωγής ενός πηνίου εξαρτάται από τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του και από τη μαγνητική διαπερατότητα του υλικού που βρίσκεται στο εσωτερικό του.

Ενεργειακή μελέτη

Στο πείραμα με το λαμπτήρα είπαμε ότι μετά το άνοιγμα του διακόπτη, ο λαμπτήρας, για λίγο χρόνο, συνεχίζει να φωτοβολεί. Αυτό δείχνει ότι στο κύκλωμα υπήρχε αποθηκευμένη ενέργεια, η οποία δόθηκε στο λαμπτήρα και προκάλεσε τη φωτοβολία του.

Αποδεικνύεται ότι ένα πηνίο που διαρρέεται από ρεύμα I έχει αποθηκευμένη ενέργεια στο μαγνητικό του πεδίο

$$U = \frac{1}{2} LI^2$$

Υπολογισμός του συντελεστή αυτεπαγωγής πηνίου

Το μαγνητικό πεδίο στο εσωτερικό ενός πηνίου που διαρρέεται από ρεύμα είναι

$$B = \mu_0 n i$$

όπου μ_0 η μαγνητική διαπερατότητα του κενού και n ο αριθμός σπειρών ανά μονάδα μήκους

$$n = \frac{N}{l}.$$

Από κάθε σπείρα του πηνίου περνάει μαγνητική ροή:

$$\Phi_B = BA = \mu_0 n A i$$

όπου A το εμβαδόν της σπείρας του πηνίου.

Η ηλεκτρεγερτική δύναμη από αυτεπαγωγή στο πηνίο θα είναι

$$E_{\text{ΑΥΤ}} = -N \frac{d\Phi_B}{dt} = -N \mu_0 n A \frac{di}{dt} = -\mu_0 \frac{N^2}{l} A \frac{di}{dt}$$

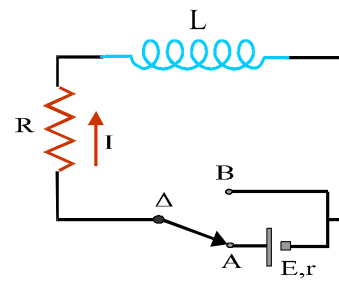
όπου N ο αριθμός σπειρών του πηνίου.

Το σταθερό γινόμενο $\mu_0 \frac{N^2}{l} A$ είναι ο συντελεστής αυτεπαγωγής L του πηνίου και εξαρτάται μόνο από τα γεωμετρικά στοιχεία του πηνίου.

Εάν τα πηνία περιέχει πυρήνα από υλικό μαγνητικής διαπερατότητας μ , ο συντελεστής αυτεπαγωγής του θα είναι:

$$L = \mu \mu_0 \frac{N^2}{l} A$$

Στο κύκλωμα του σχήματος ο μεταγωγός βρίσκεται αρχικά στη θέση Α και το πηνίο διαρρέεται από σταθερό ρεύμα..



Σχ. 5.38

- α) Να υπολογιστεί η τιμή του σταθερού ρεύματος στο κύκλωμα.
 β) Τοποθετούμε το διακόπτη στη θέση Β και το κύκλωμα για λίγο χρόνο εξακολουθεί να διαρρέεται από ρεύμα. Να υπολογιστεί η ηλεκτρεγερτική δύναμη που δημιουργείται στο πηνίο καθώς και ο ρυθμός με τον οποίο μεταβάλλεται η ένταση του ρεύματος, τη στιγμή κατά την οποία το ρεύμα στο κύκλωμα έχει τιμή $i=2A$.
 γ) Πόση θερμότητα αποδίδεται στο περιβάλλον, από τη στιγμή που ο μεταγωγός τοποθετείται στη θέση

Β μέχρι να μηδενιστεί το ρεύμα στο κύκλωμα;

Δίνονται : ο συντελεστής αυτεπαγωγής του πηνίου $L=0,1H$, η ηλεκτρεγερτική δύναμη και η εσωτερική αντίσταση της πηγής $E=20V$, $r=0$ και η αντίσταση $R=4\Omega$. Το πηνίο είναι ιδανικό (δηλαδή δεν έχει ωμική αντίσταση).

Απάντηση :

- α) Όταν το πηνίο είναι συνδεδεμένο με την πηγή και διαρρέεται από σταθερό ρεύμα η ηλεκτρεγερτική δύναμη από αυτεπαγωγή σ' αυτό είναι μηδέν. Μοναδική ηλεκτρεγερτική δύναμη στο κύκλωμα είναι αυτή της πηγής. Σύμφωνα με το νόμο του Ohm

$$I = \frac{E}{R} = 5A$$

- β) Αμέσως μετά το άνοιγμα του διακόπτη, το πηνίο, αντιδρώντας στη μείωση του ρεύματος δημιουργεί ηλεκτρεγερτική δύναμη από αυτεπαγωγή και για λίγο χρόνο δίνει ρεύμα ίδιας κατεύθυνσης με το αρχικό. Εφαρμόζοντας το νόμο του Ohm τη χρονική στιγμή κατά την οποία το ρεύμα καθώς μειώνεται έχει τιμή $i=2A$, έχουμε

$$i = \frac{E_{AYT}}{R} \quad \text{ή} \quad E_{AYT} = iR = 8V$$

Ο ρυθμός με τον οποίο μεταβάλλεται το ρεύμα την ίδια χρονική στιγμή θα βρεθεί από τη σχέση

$$E_{AYT} = -L \frac{di}{dt} \quad \text{επομένως} \quad \frac{di}{dt} = -\frac{E_{AYT}}{L} = -80A/s$$

Το αρνητικό πρόσημο στο αποτέλεσμα δείχνει ότι η ένταση του ρεύματος μειώνεται.

- γ) Η θερμότητα (Q) που παράγεται στην αντίσταση προέρχεται από την ενέργεια μαγνητικού πεδίου (U) που είχε αποθηκευμένη το πηνίο.

Πριν ο διακόπτης τοποθετηθεί στη θέση Β το πηνίο διαρρέονταν από ρεύμα I και είχε αποθηκευμένη ενέργεια (U) στο μαγνητικό του πεδίο. Η ενέργεια αυτή μετά την τοποθέτηση του διακόπτη στο Β αποδίδεται στην αντίσταση και μετατρέπεται σε θερμότητα (Q).

Σύμφωνα με την αρχή διατήρησης της ενέργειας

$$Q = U = \frac{1}{2} LI^2 = 1,25J$$

ΣΥΝΟΨΗ

Όταν μεταβάλλεται η μαγνητική ροή που διέρχεται από την επιφάνεια που ορίζει ένας αγωγός με το σχήμα του, στον αγωγό επάγεται ηλεκτρεγερτική δύναμη η οποία ισούται με το ρυθμό μεταβολής της μαγνητικής ροής.

$$E_{\text{ΕΠ}} = N \frac{|\Delta \Phi_B|}{\Delta t}$$

Όταν ευθύγραμμος αγωγός μήκους L κινείται με σταθερή ταχύτητα v ($v \perp L$) σε επίπεδο κάθετο στις δυναμικές γραμμές ομογενούς μαγνητικού πεδίου $\mathbf{B}$, εμφανίζεται ΗΕΔ από επαγωγή, ίση με

$$E_{\text{ΕΠ}} = BvL$$

Σε ευθύγραμμο αγωγό μήκους L που στρέφεται με σταθερή γωνιακή ταχύτητα ω γύρω από άξονα, παράλληλο με τις δυναμικές γραμμές πεδίου $\mathbf{B}$, που περνάει από το ένα του άκρο, εμφανίζεται ΗΕΔ από επαγωγή ίση με

$$E_{\text{ΕΠ}} = \frac{1}{2} B \omega L^2$$

Τα επαγωγικά ρεύματα έχουν πάντα τέτοια φορά ώστε να αντιτίθενται στο αίτιο που τα προκαλεί.

Ο **κανόνας του Lenz** εκφράζει την αρχή διατήρησης της ενέργειας στην επαγωγή.

Στα άκρα στρεφόμενου πλαισίου N σπειρών, εμβαδού A , που στρέφεται με σταθερή γωνιακή ταχύτητα ω γύρω από άξονα που βρίσκεται στο επίπεδό του και είναι κάθετος στις δυναμικές γραμμές ομογενούς μαγνητικού πεδίου $\mathbf{B}$ αναπτύσσεται από επαγωγή του εναλλασσόμενη τάση.

$$v = V \sin \omega t, \text{ όπου } V = N \omega B A$$

Ενεργός ένταση εναλλασσόμενου ρεύματος είναι η σταθερή ένταση ρεύματος που θα προκαλούσε το ίδιο θερμικό αποτέλεσμα αν διέρρεε έναν ωμικό αγωγό για το ίδιο χρονικό διάστημα με το εναλλασσόμενο ρεύμα.

$$I_{\text{εφ}} = \frac{I}{\sqrt{2}}$$

Ενεργός τάση είναι εκείνη η σταθερή τάση που αν εφαρμοσθεί στα άκρα ενός αντιστάτη αυτός διαρρέεται από σταθερό ρεύμα έντασης ίσης με την ενεργό ένταση.

$$V_{\text{εφ}} = \frac{V}{\sqrt{2}}$$

Ηλεκτρογεννήτρια είναι διάταξη που μετατρέπει μηχανική ενέργεια σε ηλεκτρική. Η λειτουργία της βασίζεται στο φαινόμενο της επαγωγής.

Οι ηλεκτρικοί κινητήρες είναι διατάξεις που μετατρέπουν την ηλεκτρική ενέργεια σε μηχανική.

Το φαινόμενο της εμφάνισης ΗΕΔ από επαγωγή σ' ένα κύκλωμα εξαιτίας της μεταβολής της έντασης του ρεύματος σ' ένα άλλο κύκλωμα λέγεται **αμοιβαία επαγωγή**

$$E_{\text{ΕΠ1}} = -M \frac{di_2}{dt} \quad \text{και} \quad E_{\text{ΕΠ2}} = -M \frac{di_1}{dt}$$

όπου M ο συντελεστής αμοιβαίας επαγωγής των δύο κυκλωμάτων.

Η επαγωγική ΗΕΔ που αναπτύσσεται σ' ένα κύκλωμα λόγω της μεταβολής της έντασης του ρεύματος που το διαρρέει λέγεται ΗΕΔ από **αυτεπαγωγή**.

$$E_{\text{ΑΥΤ}} = -L \frac{di}{dt}$$

όπου L ο συντελεστής αυτεπαγωγής του κυκλώματος.

1. Κατασκευάστε μια απλή γεννήτρια

Θα χρειαστείτε

- Ένα ηλεκτρικό κινητήρα ή τη φυγοκεντρική μηχανή του εργαστηρίου.
- Ένα δίσκο από αλουμίνιο (ακτίνας λίγων εκατοστών) που μπορεί να στρέφεται.
- Ένα πεταλοειδή μαγνήτη.
- Γαλβανόμετρο του μηδενός.
- Καλώδια σύνδεσης.

Χρησιμοποιήστε τον κινητήρα ή τη φυγοκεντρική μηχανή για να περιστρέψετε το δίσκο με σταθερή γωνιακή ταχύτητα. Τοποθετήστε το δίσκο με τέτοιο τρόπο ώστε ένα μέρος του να βρίσκεται μεταξύ των πόλων του πεταλοειδή μαγνήτη.

Συνδέστε με το γαλβανόμετρο δύο ηλεκτρόδια που εφάπτονται στο δίσκο, το ένα στο κέντρο και το άλλο στην περιφέρεια του, σε ένα σημείο ανάμεσα στους πόλους του μαγνήτη.

Η γεννήτρια είναι έτοιμη. Περιστρέψτε το δίσκο.

Σημειώσεις:

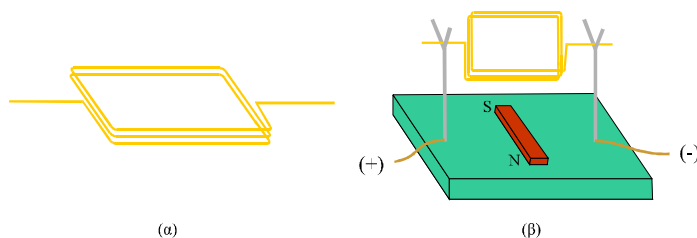
- 1) Η διάταξη αποτελεί απομίμηση της πρώτης γεννήτριας που κατασκευάστηκε από το Faraday.
- 2) Η επαγόμενη ηλεκτρεγερτική δύναμη είναι ανάλογη με τη συχνότητα περιστροφής του δίσκου. Η διάταξη μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη μέτρηση της συχνότητας. Υποδείξτε πώς μπορεί να γίνει αυτό και προτείνετε μια εφαρμογή της μεθόδου.

2. Κατασκευάστε έναν απλό ηλεκτρικό κινητήρα.

Θα χρειαστείτε: μια ξύλινη βάση, περίπου 2m λεπτό μονωμένο χάλκινο σύρμα (από αυτό που χρησιμοποιούν για τις περιελίξεις των μοτέρ), μια μπαταρία 4,5V, ένα μικρό ευθύγραμμο μαγνήτη και δύο άκαμπτα σύρματα για τη στήριξη του "ρότορα".

Κατασκευάστε ένα λεπτό πλαίσιο δέκα σπειρών, διαστάσεων $2 \times 2 \text{ (cm}^2\text{)}$, με το μονωμένο χάλκινο σύρμα. Τα δύο άκρα του θα εξέλκουν από τα μέσα των απέναντι πλευρών (σχ. 5.39α). Ξύστε το μονωτικό υλικό από τις άκρες των συρμάτων που εξέλκουν.

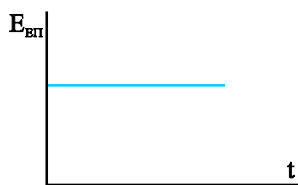
Τοποθετήστε σε ένα κομμάτι ξύλου δύο κατακόρυφα σύρματα που καταλήγουν σε V, του ίδιου ύψους. Πάνω στο ξύλο τοποθετήστε τον ευθύγραμμο μαγνήτη. Συνδέστε του πόλους της μπαταρίας στα δύο ευθύγραμμα σύρματα (σχ. 5.39β).



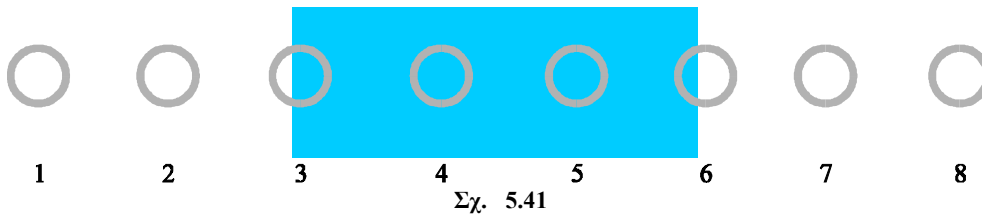
Σχ. 5.39

Νόμος της επαγωγής.

- 5.1 Ένας κυκλικός βρόχος βρίσκεται μέσα στο ομογενές μαγνητικό πεδίο που δημιουργεί ένας ηλεκτρομαγνήτης. Βρείτε τι προσανατολισμό πρέπει να έχει ο βρόχος ώστε η μαγνητική ροή που τον διαπερνά να είναι
 α) μέγιστη,
 β) ελάχιστη.
- 5.2 Συμπληρώστε τις προτάσεις:
 Όταν πλησιάσουμε ένα ραβδόμορφο μαγνήτη σε ένα πηνίο, έτσι ώστε οι άξονες τους να συμπίπτουν, μεταβάλλεται που διέρχεται από τις σπείρες του πηνίου. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να δημιουργηθεί στο πηνίο Το φαινόμενο ονομάζεται
- 5.3 Ένα συρμάτινο πλαίσιο βρίσκεται μέσα στο μαγνητικό πεδίο που δημιουργεί ένας ηλεκτρομαγνήτης. Να αναφέρετε δύο τρόπους με τους οποίους μπορεί να δημιουργηθεί ηλεκτρεγερτική δύναμη από επαγωγή στο πλαίσιο.
- 5.4 Αν η μαγνητική ροή που διέρχεται από την επιφάνεια που ορίζει ένας αγωγός αυξάνεται με σταθερό ρυθμό, η ηλεκτρεγερτική δύναμη που δημιουργείται στον αγωγό α) αυξάνεται; β) μειώνεται; ή γ) μένει σταθερή;
- 5.5 Στο διάγραμμα $E_{\text{επ}} = f(t)$ του σχήματος 5.40 παριστάνεται γραφικά η ηλεκτρεγερτική δύναμη που επάγεται σε ένα κύκλωμα. Τι εκφράζει το εμβαδόν της επιφάνειας που περικλείεται ανάμεσα στη γραμμή του διαγράμματος και τον άξονα των χρόνων;
- 5.6 Το συνολικό φορτίο που μετακινείται σε κλειστό κύκλωμα, λόγω του φαινομένου της επαγωγής, εξαρτάται από
 α) τη χρονική διάρκεια του φαινομένου.
 β) το ρυθμό με τον οποίο μεταβάλλεται η μαγνητική ροή.
 γ) την ένταση του ρεύματος στο κύκλωμα.
 δ) την ωμική αντίσταση που παρουσιάζει το κύκλωμα.
 Επιλέξτε τη σωστή πρόταση.
- 5.7 Στο σχήμα 5.41 φαίνονται οι διαδοχικές θέσεις ενός μεταλλικού δακτυλίου. Ο δακτύλιος περνάει από ένα μαγνητικό πεδίο (η περιοχή με το γαλάζιο χρώμα) που οι δυναμικές του γραμμές είναι κάθετες στο επίπεδο του δακτυλίου. Σε ποια ή σε ποιες από τις οχτώ φάσεις της κίνησης, που παριστάνονται στο σχήμα αναπτύσσεται ηλεκτρεγερτική δύναμη από επαγωγή στο δακτύλιο;



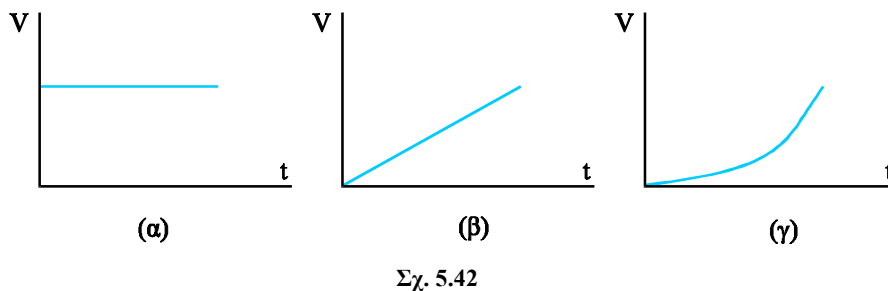
Σχ. 5.40



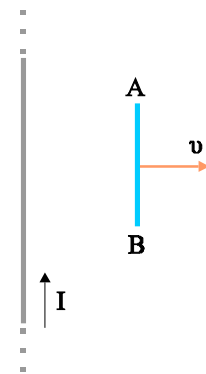
- 5.8 Ακίνητος κυκλικός αγωγός βρίσκεται μέσα σε ομογενές μαγνητικό πεδίο με το επίπεδο του κάθετο στις δυναμικές γραμμές. Αν το μέτρο B του μαγνητικού πεδίου μειώνεται εκθετικά με το χρόνο, στον αγωγό
- δημιουργείται σταθερή ηλεκτρεγερτική δύναμη.
 - δημιουργείται ηλεκτρεγερτική δύναμη που μεταβάλλεται με το χρόνο.
 - δε δημιουργείται ηλεκτρεγερτική δύναμη.
- Ποια απάντηση είναι ορθή;

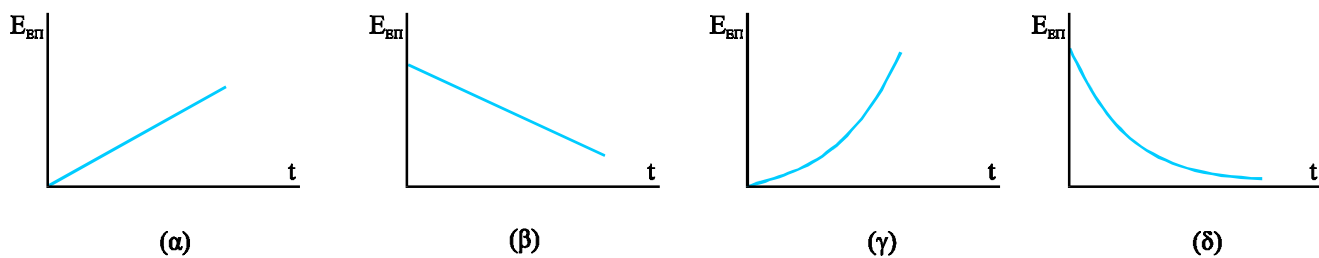
Το φαινόμενο της επαγωγής σε κινούμενο αγωγό.

- 5.9 Πού οφείλεται το φαινόμενο της επαγωγής στην περίπτωση που ένας αγωγός κινείται μέσα σε σταθερό μαγνητικό πεδίο;
- 5.10 Ένας αγωγός αφήνεται να πέσει από ύψος h , σε περιοχή στην οποία υπάρχει οριζόντιο ομογενές μαγνητικό πεδίο. Ο αγωγός, σε όλη τη διάρκεια της κίνησής του, παραμένει οριζόντιος και κάθετος στις δυναμικές γραμμές του πεδίου. Ποιο από τα παρακάτω διαγράμματα παριστάνει την τάση στα άκρα του στις διάφορες χρονικές στιγμές; (Ω ς χρονική στιγμή μηδέν θεωρείται η στιγμή που αφέθηκε ελεύθερος ο αγωγός).



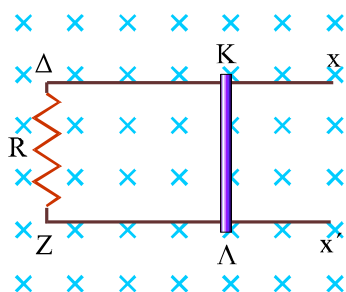
- 5.11 Ακίνητος ευθύγραμμος αγωγός πολύ μεγάλου μήκους διαρρέεται από σταθερό ρεύμα έντασης I . Αγωγός AB είναι παράλληλος στον πρώτο και απομακρύνεται από αυτόν με σταθερή ταχύτητα v (σχ. 5.43). Ποιο από τα διαγράμματα στο σχήμα 5.44 παριστάνει την ηλεκτρεγερτική δύναμη που αναπτύσσεται στον αγωγό AB κατά την κίνησή του, σε συνάρτηση με το χρόνο;





Σχ. 5.44

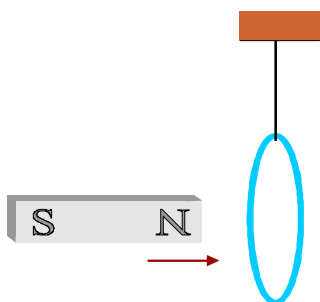
- 5.12 Ποιες από τις επόμενες προτάσεις είναι σωστές;
- Σε ακίνητο αγωγό μέσα σε σταθερό μαγνητικό πεδίο δεν αναπτύσσεται ηλεκτρεγερτική δύναμη.
 - Δεν αναπτύσσεται ηλεκτρεγερτική δύναμη σε αγωγό που κινείται μέσα σε ανομοιογενές μαγνητικό πεδίο.
 - Σε αγωγό που κινείται παράλληλα στις δυναμικές γραμμές μαγνητικού πεδίου δεν αναπτύσσεται ηλεκτρεγερτική δύναμη.
 - Κατά την περιστροφή ενός αγωγού μέσα σε μαγνητικό πεδίο, ηλεκτρεγερτική δύναμη αναπτύσσεται στον αγωγό μόνο αν κατά την κίνηση του τέμνει τις δυναμικές γραμμές του πεδίου.



Σχ. 5.45

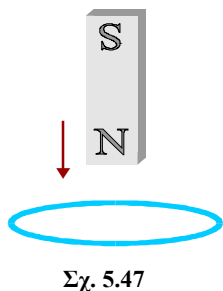
- 5.13 Η ράβδος ΚΛ του σχήματος 5.45 μπορεί να ολισθαίνει, χωρίς τριβές, στους οριζόντιους αγωγούς Δx και Ζx' παραμένοντας πάντα κάθετη σ' αυτούς. Τα άκρα Δ και Ζ των αγωγών συνδέονται με αντιστάτη R. Όλη η διάταξη βρίσκεται σε ομογενές κατακόρυφο μαγνητικό πεδίο. Δίνουμε στη ράβδο αρχική ταχύτητα υ παράλληλη στους αγωγούς και την αφήνουμε ελεύθερη. Η κίνηση της ράβδου θα είναι
- ευθύγραμμη ομαλή.
 - ομαλά επιταχυνόμενη.
 - επιταχυνόμενη μέχρις ότου η ταχύτητά της αποκτήσει μια οριακή τιμή (v_{op}).
 - επιβραδυνόμενη.
- Σημειώστε τη σωστή απάντηση και αιτιολογήστε τη.

Ο κανόνας του Lenz



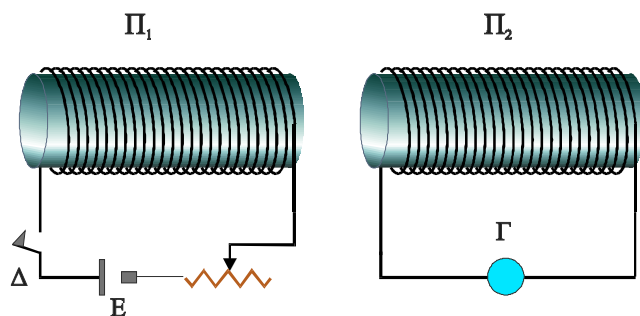
Σχ. 5.46

- 5.14 Να συμπληρωθούν τα κενά:
Ο κανόνας του Lenz είναι συνέπεια μιας γενικότερης αρχής της φυσικής, της αρχής Σύμφωνα με τον κανόνα του Lenz, το ρεύμα που δημιουργείται εξ αιτίας του φαινομένου της επαγωγής έχει τέτοια ώστε να αντιτίθεται στην αιτία που το προκάλεσε.
- 5.15 Από ένα λεπτό νήμα κρέμεται αβαρής μεταλλικός δακτύλιος. Εξηγήστε γιατί ο δακτύλιος θα εκτραπεί από τη θέση ισορροπίας του αν πλησιάσουμε σ' αυτόν ένα μαγνήτη, όπως δείχνει το σχήμα. 5.46. Τι περιμένετε να συμβεί αν ο δακτύλιος έχει εγκοπή;



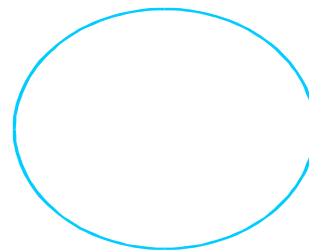
5.16 Αφήνουμε ένα μαγνήτη να πέσει κατακόρυφα. Κάτω από το μαγνήτη βρίσκεται οριζόντιος κυκλικός αγωγός (σχ. 5.47). Να συγκρίνετε την επιτάχυνση που έχει ο μαγνήτης στις διάφορες θέσεις του με την επιτάχυνση της βαρύτητας.

5.17 Βρείτε τη φορά του ρεύματος στο πηνίο Π_2 μόλις κλείσουμε το διακόπτη στο πηνίο Π_1 (σχ.5.48).



Σχ. 5.48

5.18 Ο δακτύλιος του σχήματος 5.49 βρίσκεται μέσα σε μεταβαλλόμενο ομογενές μαγνητικό πεδίο. Το επίπεδο του δακτυλίου είναι κάθετο στις δυναμικές γραμμές του πεδίου. Όταν το μαγνητικό πεδίο αυξάνεται, ο δακτύλιος διαρρέεται από ρεύμα που έχει τη φορά των δεικτών του ρολογιού. Ποια είναι η φορά των δυναμικών γραμμών του πεδίου;



Σχ. 5.49

Εναλλασσόμενη τάση – εναλλασσόμενο ρεύμα

5.19 Σε ποιο φυσικό φαινόμενο στηρίζεται η παραγωγή εναλλασσόμενης τάσης;

5.20 Εάν αυξηθεί η συχνότητα περιστροφής του ρότορα μιας ηλεκτρογεννήτριας τι θα συμβεί στην ενεργό τιμή της τάσης που παρέχει η ηλεκτρογεννήτρια;

- α) Θα παραμείνει ίδια;
- β) Θα αυξηθεί;
- γ) Θα μειωθεί;

Επιλέξτε το σωστό.

5.21 Ποιες από τις παρακάτω προτάσεις είναι σωστές;

- α) Η φορά του εναλλασσόμενου ρεύματος αλλάζει περιοδικά.
- β) Η εναλλασσόμενη τάση στα άκρα ενός αντιστάτη και το ρεύμα που τον διαρρέει έχουν την ίδια συχνότητα και βρίσκονται σε φάση (παίρνουν ταυτόχρονα μέγιστη και ελάχιστη τιμή).
- γ) Η ενεργός τιμή του εναλλασσόμενου ρεύματος αποτελεί τη μέση τιμή της έντασής του.
- δ) Το αίτιο παραγωγής θερμότητας σε ένα αντιστάτη όταν διαρρέεται από ρεύμα είναι ίδιο, είτε πρόκειται για συνεχές

- είτε για εναλλασσόμενο ρεύμα.
- ε) Το πλάτος του εναλλασσόμενου ρεύματος μεταβάλλεται ημιτονοειδώς με το χρόνο.
- 5.22 Οι λάμπες στο σπίτι μας τροφοδοτούνται με εναλλασσόμενη τάση ενεργού τιμής 220 V και συχνότητας 50 Hz. Αυτό σημαίνει ότι διαρρέονται από εναλλασσόμενο ρεύμα με την ίδια συχνότητα. Γιατί δεν παρατηρούνται αυξομειώσεις στην ένταση του φωτισμού;
- 5.23 Αν η ενεργός τιμή της έντασης του εναλλασσόμενου ρεύματος που διαρρέει έναν αντιστάτη διπλασιαστεί, ο ρυθμός με τον οποίο ο αντιστάτης αποδίδει θερμότητα στο περιβάλλον
α) διπλασιάζεται. β) τριπλασιάζεται. γ) τετραπλασιάζεται.
δ) παραμένει ίδιος.
Επιλέξτε το σωστό.
- 5.24 Τα αμπερόμετρα και τα βολτόμετρα που χρησιμοποιούνται για μετρήσεις στο εναλλασσόμενο ρεύμα δίνουν
α) την ενεργό τιμή των μεγεθών.
β) τη μέση τιμή.
γ) το πλάτος.
δ) τη στιγμιαία τιμή.
Επιλέξτε το σωστό
- 5.25 Συμπληρώστε τα κενά:
Μια ηλεκτρογεννήτρια μετατρέπει ενέργεια σε ενέργεια, ενώ ο ηλεκτρικός κινητήρας μετατρέπει την ηλεκτρική ενέργεια σε
- 5.26 Η μετατροπή της εναλλασσόμενης τάσης σε συνεχή γίνεται με το συνδυασμό δύο διατάξεων του και του Ο εξομαλυντής αποτελείται από αντιστάτη και συνδεδεμένα

Αμοιβαία επαγωγή – αυτεπαγωγή

- 5.27 Η ένταση του ρεύματος που διαρρέει ένα πηνίο μεταβάλλεται από την τιμή I στην τιμή $2I$. Η ηλεκτρεγερτική δύναμη από αυτεπαγωγή που αναπτύσσεται στο πηνίο
α) είναι μεγαλύτερη αν η μεταβολή της έντασης του ρεύματος γίνει γρήγορα.
β) δεν εξαρτάται από το χρόνο στον οποίο γίνεται η μεταβολή αλλά μόνο από την αρχική και τελική τιμή της έντασης του ρεύματος.
γ) εξαρτάται από την ωμική αντίσταση που υπάρχει στο κύκλωμα.
δ) εξαρτάται από την πηγή που τροφοδοτεί το κύκλωμα.
Ποιες από τις επόμενες προτάσεις είναι ορθές;
- 5.28 Ο συντελεστής αυτεπαγωγής ενός πηνίου εξαρτάται
α) από το υλικό του σύρματος που έχει χρησιμοποιηθεί για να κατασκευαστεί το πηνίο.
β) από την ένταση του ρεύματος που το διαρρέει.
γ) από τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του πηνίου

δ) από το υλικό το οποίο βρίσκεται στο εσωτερικό του πηνίου (πυρήνας).

Επιλέξτε τα σωστά.

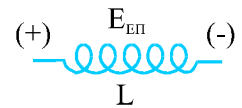
5.29 Η ενέργεια που είναι αποθηκευμένη στο μαγνητικό πεδίο ενός πηνίου όταν διαρρέεται από ρεύμα έντασης I είναι $2J$. Αν διπλασιαστεί το ρεύμα που διαρρέει το πηνίο, η ενέργειά του θα είναι

α) $1J$; β) $2J$; γ) $4J$; δ) $8J$;

5.30 Διαθέτουμε σύρμα μήκους $l=4m$ με το οποίο θέλουμε να κατασκευάσουμε ένα πηνίο με όσο το δυνατόν μεγαλύτερο συντελεστή αυτεπαγωγής. Είναι προτιμότερο :

- α) να τυλίξουμε το σύρμα έτσι, ώστε οι σπείρες να έχουν μικρή διάμετρο και επομένως ο αριθμός των σπειρών να είναι μεγάλος;
- β) να κατασκευάσουμε σπείρες με μεγάλη διάμετρο, οπότε αναγκαστικά θα μειωθεί ο αριθμός τους;
- γ) ο συντελεστής αυτεπαγωγής του πηνίου θα είναι ίδιος και στις δύο περιπτώσεις;

5.31 Στο πηνίο του σχήματος 5.50 αναπτύσσεται ηλεκτρεγερτική δύναμη από αυτεπαγωγή, με την πολικότητα που δείχνει το σχήμα. Το πηνίο διαρρέεται από ρεύμα που



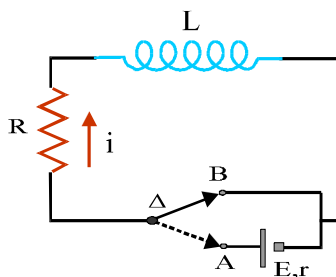
Σχ. 5.50

- α) έχει σταθερή ένταση και φορά προς τα δεξιά.
- β) έχει σταθερή ένταση και φορά προς τα αριστερά.
- γ) έχει φορά προς τα δεξιά και η ένταση του αυξάνεται.
- δ) έχει φορά προς τα δεξιά και η ένταση του ελαττώνεται.
- ε) έχει φορά προς τα αριστερά και η ένταση του αυξάνεται.
- στ) έχει φορά προς τα αριστερά και η ένταση του ελαττώνεται.

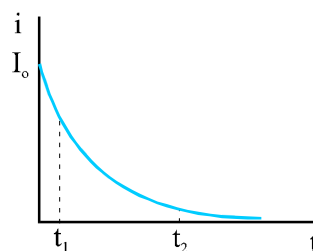
Επιλέξτε τα σωστά.

5.32 Στο σχήμα 5.51α, αρχικά ο μεταγωγός Δ είναι τοποθετημένος στη θέση Α και το πηνίο διαρρέεται από σταθερό ρεύμα. Τη στιγμή μηδέν ο αγωγός τοποθετείται στη θέση Β. Η ένταση του ρεύματος στο πηνίο, από τη στιγμή που ο μεταγωγός τοποθετήθηκε στο Β, σε συνάρτηση με το χρόνο δίνεται από το διάγραμμα στο σχήμα 5.51β.

- α) Η αποθηκευμένη ενέργεια στο πηνίο είναι μεγαλύτερη τη χρονική στιγμή t_1 ή τη στιγμή t_2 ;
- β) Η ηλεκτρεγερτική δύναμη στο πηνίο είναι μεγαλύτερη τη χρονική στιγμή t_1 ή τη χρονική στιγμή t_2 ;



(α)



(β)

Σχ. 5.51

5.33 Να αντιστοιχίσετε τα μεγέθη της πρώτης στήλης με τις μονάδες στη δεύτερη

- | | |
|--------------------|----------|
| 1. Φ_B | α) rad/s |
| 2. $E_{\text{ΕΠ}}$ | β) Wb |
| 3. ω | γ) H |
| 4. M | δ) V |
| 5. L | ε) J |

ΑΣΚΗΣΕΙΣ

Νόμος της επαγωγής

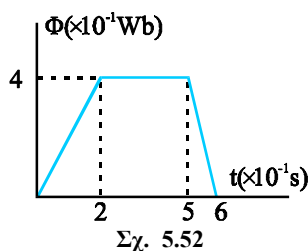
5.34 Κυκλικός αγωγός εμβαδού $A = 10^{-1} \text{ m}^2$ τοποθετείται με το επίπεδό του κάθετο στις δυναμικές γραμμές ομογενούς μαγνητικού πεδίου $B = 0,2 \text{ T}$. Να βρεθεί η ηλεκτρεγερτική δύναμη από επαγωγή που δημιουργείται στον αγωγό αν, μέσα σε χρόνο $\Delta t = 10^{-2} \text{ s}$

- το πεδίο μηδενίζεται,
- το πεδίο διπλασιάζεται,
- η φορά του πεδίου αντιστρέφεται
- το πεδίο παραμένει σταθερό και ο αγωγός στρέφεται κατά 90° ώστε να γίνει παράλληλος με τις δυναμικές γραμμές.

[Απ : $2 \text{ V}, 2 \text{ V}, 4 \text{ V}, 2 \text{ V}$]

5.35 Κυκλικός αγωγός ακτίνας $r = 10/\sqrt{\pi} \text{ cm}$ έχει αντίσταση $R = 2\Omega$. Ο αγωγός τοποθετείται με το επίπεδό του κάθετο σε ομογενές μαγνητικό πεδίο που αυξάνεται με σταθερό ρυθμό $\Delta B/\Delta t = 0,2 \text{ T/s}$. Να βρείτε την ένταση του ρεύματος που διαρρέει τον κυκλικό αγωγό και τη θερμική ισχύ που αναπτύσσεται σ' αυτόν.

[Απ : $10^{-3} \text{ A}, 2 \times 10^{-6} \text{ W}$]



5.36 Η μαγνητική ροή που διέρχεται από κλειστό συρμάτινο πλαίσιο αντίστασης $R = 10 \Omega$, μεταβάλλεται με το χρόνο όπως φαίνεται στο διάγραμμα του σχήματος 5.52. Να γίνουν, με την ίδια κλίμακα χρόνου, τα διαγράμματα:

- της ηλεκτρεγερτικής δύναμης από επαγωγή που αναπτύσσεται στο πλαίσιο.
- της έντασης του ρεύματος που διαρρέει το πλαίσιο.

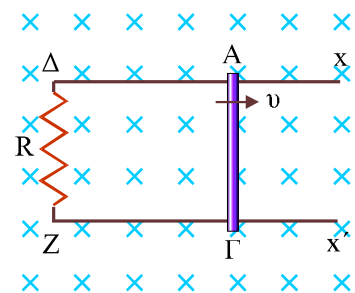
5.37 Κυκλικό πλαίσιο ακτίνας $r = 2 \text{ cm}$ με $N = 100$ σπείρες έχει αντίσταση $R = 25\Omega$. Το πλαίσιο βρίσκεται ολόκληρο μέσα σε ομογενές μαγνητικό πεδίο που σχηματίζεται ανάμεσα στους πόλους ενός ηλεκτρομαγνήτη, με το επίπεδό των σπειρών του κάθετο στις δυναμικές γραμμές του πεδίου. Στα άκρα του πλαισίου συνδέεται βαλλιστικό γαλβανόμετρο. (Το βαλλιστικό γαλβανόμετρο είναι ένα ευαίσθητο όργανο που μετράει την ποσότητα του φορτίου που μετακινείται στους αγωγούς.) Το βαλλιστικό γαλβανόμετρο έχει αντίσταση $R_T = 45\Omega$. Απομακρύνουμε το πλαίσιο από το πεδίο και διαπιστώνουμε ότι στη διάρκεια της απομάκρυνσης κινήθηκε στο

κύκλωμα φορτίο $183,4 \mu C$. Να υπολογιστεί το μέτρο B του μαγνητικού πεδίου ανάμεσα στους πόλους του ηλεκτρομαγνήτη.
[Απ : $10,22 \times 10^{-2} T$]

- 5.38 Ένα μακρύ σωληνοειδές έχει 200 σπείρες/cm και διαρρέεται από ρεύμα $I=4A$. Στο εσωτερικό του υπάρχει κυκλικό πλαίσιο με 100 σπείρες και διάμετρο $d=2cm$. Το επίπεδο του κυκλικού πλαισίου είναι κάθετο στον άξονα του σωληνοειδούς. Το ρεύμα στο σωληνοειδές μηδενίζεται σε χρόνο $\Delta t = 0,02s$. Υπολογίστε τη μέση ηλεκτρεγερτική δύναμη που επάγεται στο κυκλικό πλαίσιο.
Δίνονται $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} T m / A$, $\pi^2 = 10$.
[Απ: $0,16V$]

Το φαινόμενο της επαγωγής σε κινούμενο αγωγό

- 5.39 Ο αγωγός ΑΓ, με μήκος $l=1m$ και αντίσταση $R_l=5\Omega$, κινείται, με ταχύτητα $v=10m/s$, χωρίς τριβές πάνω στους παράλληλους αγωγούς Δχ και Ζχ', μένοντας διαρκώς κάθετος και σε επαφή μ' αυτούς. Τα άκρα Δ και Ζ, των παράλληλων αγωγών συνδέονται μεταξύ τους με αντίσταση $R=5\Omega$. Η αντίσταση όλων των άλλων αγωγών είναι αμελητέα. Η όλη διάταξη βρίσκεται μέσα σε ομογενές μαγνητικό πεδίο $B=2T$ κάθετο στο επίπεδο που ορίζουν οι αγωγοί.
Να υπολογιστούν:

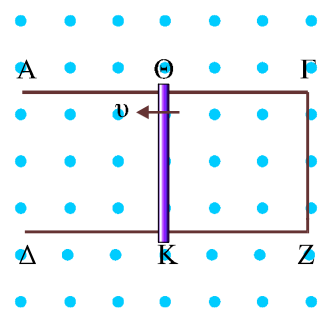


Σχ. 5.53

- α) Η ένταση του ρεύματος στο κύκλωμα.
β) Η τάση στα άκρα του αγωγού ΑΓ.
γ) Η θερμότητα που αποδίδει η αντίσταση R σε χρόνο $t=5min$.
[Απ : α) $2 A$, β) $10 V$, γ) $6 \times 10^3 J$]

- 5.40 Συρμάτινο ορθογώνιο παραλληλόγραμμο πλαίσιο, η μικρότερη πλευρά του οποίου είναι $a = 20 cm$, εισέρχεται σε ομογενές μαγνητικό πεδίο $B = 2 T$ με το επίπεδό του κάθετο στις δυναμικές γραμμές. Η ταχύτητα του πλαισίου είναι παράλληλη στη μεγαλύτερη πλευρά του. Πόση δύναμη πρέπει να ασκήσουμε στο πλαίσιο για να μπαίνει στο μαγνητικό πεδίο με σταθερή ταχύτητα $v = 1,2 m/s$.
Η αντίσταση του πλαισίου είναι $R = 0,8 \Omega$.
[Απ : $0,24 N$]

- 5.41 Το σύρμα ΑΓΖΔ του σχήματος 5.54 έχει σταθερή διατομή. Οι πλευρές ΑΓ και ΔΖ είναι παράλληλες μεταξύ τους και κάθετες στη ΓΖ. Το επίπεδό του πλαισίου είναι κάθετο στις δυναμικές γραμμές ομογενούς μαγνητικού πεδίου. Το σύρμα ΘΚ, που έχει αμελητέα αντίσταση, κινείται με ταχύτητα $v = 12 m/s$ έτσι ώστε να είναι συνέχεια σε επαφή με τα σύρματα ΑΓ και ΔΖ και κάθετο σ' αυτά. Αν $\Gamma Z = 20 cm$ και $B = 2 T$ να υπολογιστεί η τάση $V_{\Gamma Z}$ τη στιγμή που $\Gamma\Theta = 20 cm$.
[Απ : $1,6 V$]



Σχ. 5.54

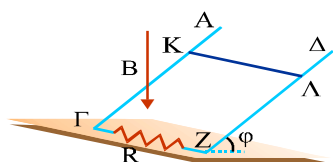
- 5.42 Δύο κατακόρυφα σύρματα αμελητέας αντίστασης ύψους $h = 10 m$,

απέχουν μεταξύ τους $l = 1\text{ m}$. Οι πάνω άκρες τους συνδέονται με σύρμα αντίστασης $R = 1\ \Omega$. Ένα τέταρτο σύρμα με μάζα $m = 0,04\text{ kg}$ μπορεί να ολισθαίνει χωρίς τριβή πάνω στα δύο προηγούμενα σύρματα μένοντας συνεχώς οριζόντιο. Τα σύρματα βρίσκονται μέσα σε ομογενές μαγνητικό πεδίο $B = 0,2\text{ T}$, κάθετο στο επίπεδο των συρμάτων. Κάποια στιγμή αφήνουμε το οριζόντιο σύρμα να πέσει, ξεκινώντας από τις πάνω άκρες των κατακόρυφων συρμάτων. Να υπολογιστεί :

- Η οριακή (μέγιστη) ταχύτητα που θα αποκτήσει πέφτοντας.
- Η θερμότητα που θα παραχθεί στην αντίσταση μέχρι τη στιγμή που το σύρμα φτάνει στο έδαφος με την οριακή του ταχύτητα.

Δίνεται ότι τόσο τα κατακόρυφα σύρματα όσο και το σύρμα που ολισθαίνει παρουσιάζουν αμελητέα αντίσταση. Η επιτάχυνση της βαρύτητας είναι $g = 10\text{ m/s}^2$

[Απ : 10 m/s , 2 J]



Σχ. 5.55

- 5.43 Δύο παράλληλα μεταλλικά σύρματα ΑΓ και ΔΖ απέχουν $l = 40\text{ cm}$ και το επίπεδό τους σχηματίζει γωνία $\varphi = 30^\circ$ με τον ορίζοντα. Τρίτο σύρμα ΚΛ με μάζα 10 g μπορεί να ολισθαίνει χωρίς τριβές πάνω στα ΑΓ και ΔΖ μένοντας συνεχώς κάθετο και σε επαφή με αυτά. Συνδέουμε τα ΑΓ και ΔΖ στη βάση τους με αντίσταση $R = 1,6\ \Omega$. Οι άλλοι αγωγοί δεν έχουν αντίσταση. Όλο το σύστημα βρίσκεται σε κατακόρυφο ομογενές μαγνητικό πεδίο $B = 1\text{ T}$. Να υπολογιστούν:

- Η οριακή ταχύτητα που θα αποκτήσει το σύρμα ΚΛ αν αφεθεί να κινηθεί.
- Η δύναμη Laplace που δέχεται τότε το κινούμενο σύρμα.

Δίνεται $g = 10\text{ m/s}^2$

[Απ : $0,667\text{ m/s}$, $0,058\text{ N}$]

Το φαινόμενο της επαγωγής σε στρεφόμενο αγωγό

- 5.44 Αγωγή ράβδος ΑΓ μήκους $l = 1\text{ m}$ στρέφεται με σταθερή γωνιακή ταχύτητα $\omega = 10\text{ rad/s}$ γύρω από άξονα που διέρχεται από σημείο Ο της ράβδου και είναι κάθετος στη ράβδο. Το επίπεδο περιστροφής της ράβδου είναι κάθετο στις δυναμικές γραμμές ομογενούς μαγνητικού πεδίου $B = 1\text{ T}$. Η απόσταση του σημείου Ο από το άκρο Α της ράβδου είναι $AO = 0,4\text{ m}$. Να βρεθεί η διαφορά δυναμικού που αναπτύσσεται λόγω επαγωγής μεταξύ των άκρων της ράβδου.

[Απ : 1 V]

- 5.45 Χάλκινος δίσκος έχει ακτίνα 10 cm και στρέφεται γύρω από τον άξονά του με συχνότητα 1500 στροφές/min . Το επίπεδο του δίσκου

είναι κάθετο στις δυναμικές γραμμές ομογενούς μαγνητικού πεδίου. Η τάση που αναπτύσσεται μεταξύ της περιφέρειας και του κέντρου του δίσκου έχει είναι $-0,628 \text{ V}$. Να σχεδιάσετε τη διάταξη και να υπολογίσετε το μέτρο B του μαγνητικού πεδίου.
[Απ : $0,8 \text{ T}$]

Εναλλασσόμενη τάση - εναλλασσόμενο ρεύμα

5.46 Να υπολογιστεί η ενεργός τιμή της εναλλασσόμενης τάσης που επάγεται στα άκρα ορθογωνίου πλαισίου εμβαδού $A = 500 \text{ cm}^2$ και $N = 80$ σπειρών όταν περιστρέφεται με γωνιακή ταχύτητα $\omega = 48 \text{ rad/s}$ γύρω από άξονα που βρίσκεται στο επίπεδό του και είναι κάθετος στις δυναμικές γραμμές ομογενούς μαγνητικού πεδίου $B = 1,62 \text{ T}$. Αν το πλαίσιο έχει συνολική αντίσταση $R = 10 \Omega$ και στα άκρα του συνδεθεί εξωτερική αντίσταση $R_1 = 100 \Omega$ να υπολογιστεί η μεγαλύτερη τιμή του ρεύματος που διαρρέει το κύκλωμα.

[Απ : 220 V , $2\sqrt{2} \text{ A}$]

5.47 Εναλλακτήρας αποτελείται από ορθογώνιο πλαίσιο 100 σπειρών, διαστάσεων $50\text{cm} \times 20\text{cm}$, που στρέφεται μέσα σε ομογενές μαγνητικό πεδίο $B = 0,02\text{T}$, με συχνότητα 900 στροφές/min, γύρω από άξονα που είναι κάθετος στις δυναμικές γραμμές. Ποια είναι η μέγιστη τιμή της τάσης που παράγει.

[Απ: $18,84 \text{ V}$]

5.48 Πηγή συνεχούς τάσης $V_{\Sigma} = 100 \text{ V}$ όταν συνδεθεί με αντιστάτη R προκαλεί την ίδια θερμική ισχύ με πηγή εναλλασσόμενης τάσης συνδεδεμένη με αντιστάτη $2R$. Αν οι εσωτερικές αντιστάσεις των πηγών θεωρηθούν αμελητέες να υπολογίσετε το πλάτος της εναλλασσόμενης τάσης.

[Απ : 200 V]

5.49 Η εναλλασσόμενη τάση $V = 100\sqrt{2} \sin 100\pi t$, εφαρμόζεται στα άκρα αγωγού αντίστασης $R = 50 \Omega$. Να υπολογιστεί το ποσό θερμότητας που παράγεται στον αγωγό σε χρόνο $\Delta t = 1 \text{ min}$.

[Απ : $1,2 \times 10^4 \text{ J}$]

5.50 Αντίσταση R τροφοδοτείται με εναλλασσόμενο ρεύμα της μορφής $i = I_m \sin 314t$ και καταναλώνει μέση ισχύ 100W .

α) Να υπολογιστεί η στιγμιαία ισχύς που καταναλώνει η αντίσταση τη στιγμή $t_1 = 5 \times 10^{-3}\text{s}$

β) Αν $I_{\text{eff}} = 0,4\text{A}$ ποια η τιμή της τάσης τη χρονική στιγμή $t_2 = 2,5 \times 10^{-3}\text{s}$;

[Απ: 200W , 250 V]

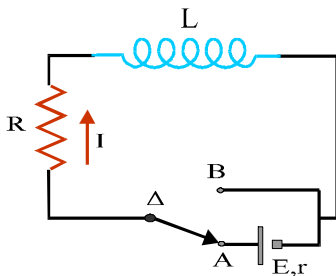
- 5.51 Ηλεκτρική λάμπα που έχει αντίσταση $R=40\Omega$ τροφοδοτείται με εναλλασσόμενη τάση της μορφής $V = 80\sqrt{2} \sin 100t$. Να υπολογιστεί η μέση ισχύς που καταναλώνει η λάμπα.
[Απ : 160 W]

Αμοιβαία επαγωγή

- 5.52 Ο συντελεστής αμοιβαίας επαγωγής δύο πηνίων είναι $M=0,2\text{H}$. Η ένταση του ρεύματος στο ένα πηνίο μεταβάλλεται με ρυθμό $di/dt=50\text{A/s}$. Ποια είναι η ηλεκτρεγερτική δύναμη που επάγεται στο άλλο πηνίο;
[Απ : 10V]
- 5.53 Ένα μακρύ πηνίο Π_1 έχει $n=1000$ σπείρες/m. Το εμβαδόν κάθε σπείρας είναι $A=10^{-3}\text{m}^2$. Ένα δεύτερο πηνίο Π_2 με $N=200$ σπείρες περιβάλλει το κεντρικό μέρος του πρώτου. Κάποια στιγμή, η ένταση του ρεύματος που διαρρέει το πηνίο Π_1 αυξάνεται με ρυθμό 10A/s . Να υπολογιστούν :
- Η ηλεκτρεγερτική δύναμη που επάγεται στο πηνίο Π_2 .
 - Ο συντελεστής αμοιβαίας επαγωγής των δύο πηνίων.
- Δίνεται: $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{Vs} / \text{Am}$
[Απ : $8\pi \times 10^{-4} \text{V}$, $0,8\pi \times 10^{-4} \text{H}$]

Αυτεπαγωγή

- 5.54 Ένα πηνίο με μήκος $l=10\text{cm}$, έχει $N=100$ σπείρες, εμβαδού $A=10^{-3}\text{m}^2$ η κάθε μία. Να υπολογιστεί η ηλεκτρεγερτική δύναμη από αυτεπαγωγή που αναπτύσσεται στο πηνίο τη στιγμή που το ρεύμα που το διαρρέει μεταβάλλεται με ρυθμό 150A/s . Δίνεται $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{Vs} / \text{Am}$
[Απ : $6\pi \times 10^{-3} \text{V}$]
- 5.55 Πηνίο έχει $N=400$ σπείρες. Όταν διαρρέεται από ρεύμα $I=5\text{A}$, η μαγνητική ροή που διέρχεται από κάθε σπείρα του είναι $\Phi_m=10^{-3}\text{Wb}$. Να υπολογιστεί ο συντελεστής αυτεπαγωγής του πηνίου.
[Απ : 0,08 H]
- 5.56 Ένα πηνίο έχει συντελεστή αυτεπαγωγής $L=6 \times 10^{-3}\text{H}$ και ωμική αντίσταση $R=4\Omega$. Στα άκρα του πηνίου συνδέεται πηγή $E=12\text{V}$. Πόση ενέργεια θα αποθηκευτεί στο μαγνητικό πεδίο του πηνίου όταν το ρεύμα πάρει την τελική του τιμή;
[Απ: 0,027 J]



Σχ. 5.56

- 5.57 Στο κύκλωμα του σχήματος 5.56 η πηγή έχει ηλεκτρεγερτική δύναμη $E=24\text{V}$ και αμελητέα εσωτερική αντίσταση. Ο αντιστάτης έχει αντίσταση $R=10 \Omega$. Το πηνίο είναι ιδανικό και έχει συντελεστή αυτεπαγωγής $L=0,02 \text{H}$.
- Αρχικά ο μεταγωγός βρίσκεται στη θέση A και το κύκλωμα διαρρέεται από σταθερό ρεύμα I_0 . Να υπολογιστεί η τιμή αυτού του ρεύματος.
 - Ο μεταγωγός μεταφέρεται απότομα στη θέση B. Κάποια στιγμή, το ρεύμα στο κύκλωμα έχει τιμή $i=1\text{A}$. Να υπολογιστεί η ηλεκτρεγερτική δύναμη από αυτεπαγωγή στο

- γ) πηνίο και ο ρυθμός μεταβολής του ρεύματος τη στιγμή αυτή.
 γ) Να υπολογιστεί η θερμότητα που θα παραχθεί στο κύκλωμα, από τη στιγμή που ο μεταγωγός μεταφέρθηκε στη θέση Β μέχρι να μηδενιστεί το ρεύμα στο κύκλωμα.
 [Απ: α) 2,4A β) 10V , -500A/s γ) 0,058J]

ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ

- 5.58 Ένα κλειστό κυκλικό πλαίσιο με ακτίνα $r = 8\text{ cm}$ και N σπείρες έχει κατασκευαστεί από χάλκινο σύρμα διατομής $s = 0,1\text{ cm}^2$. Το πλαίσιο βρίσκεται μέσα σε ομογενές μαγνητικό πεδίο $B = 2 \times 10^{-5}\text{ T}$ με το επίπεδό του κάθετο στις δυναμικές γραμμές. Το πλαίσιο στρέφεται κατά 180° , με άξονα περιστροφής μια διάμετρό του. Να υπολογιστεί το φορτίο που θα περάσει από μία διατομή του σύρματος. Δίνεται η ειδική αντίσταση του χαλκού $\rho = 1,6 \times 10^{-6}\ \Omega\text{ cm}$.
 [Απ : 10^{-3} C]
- 5.59 Ορθογώνιο πλαίσιο αποτελείται από δύο σύρματα χρωμονικελίνης τα οποία είναι ακίνητα και απέχουν απόσταση $l = 10\text{ cm}$ και παρουσιάζουν αντίσταση $R^* = 0,01\ \Omega/\text{cm}$. Τα άλλα δύο σύρματα είναι χάλκινα και χωρίς αντίσταση. Το ένα είναι ακίνητο και το άλλο μπορεί να ολισθαίνει χωρίς τριβές πάνω στα σύρματα χρωμονικελίνης. Το πλαίσιο βρίσκεται μέσα σε ομογενές μαγνητικό πεδίο μαγνητικής επαγωγής $B = 5 \times 10^{-2}\text{ T}$ με το επίπεδό του κάθετο στις δυναμικές γραμμές. Το κινητό χάλκινο σύρμα κινείται με σταθερή ταχύτητα. Αν τη χρονική στιγμή μηδέν η απόσταση ανάμεσα στα χάλκινα σύρματα είναι αμελητέα,
 α) να βρεθεί σχέση που συνδέει την ένταση του ρεύματος που διαρρέει το πλαίσιο με το χρόνο.
 β) να υπολογιστεί η τιμή της έντασης του ρεύματος τη στιγμή $t = 2\text{ s}$.
 γ) να γίνει γραφική παράσταση της έντασης του ρεύματος με το χρόνο.
 [Απ: α) $\frac{2,5 \times 10^{-3}}{t}\text{ A}$ β) $1,25\text{ mA}$]
- 5.60 Δύο παράλληλα, οριζόντια σύρματα, ΑΓ και Α'Γ', μεγάλου μήκους και αμελητέας αντίστασης συνδέονται στα άκρα τους Α και Α' με τρίτο σύρμα αντίστασης $R_1 = 0,1\ \Omega$. Ένα τέταρτο σύρμα ΣΣ' με μάζα $m = 0,1\text{ kg}$, μήκος $L = 1\text{ m}$ και αντίσταση $R_2 = 0,5\ \Omega$ μπορεί να ολισθαίνει χωρίς τριβές, μένοντας κάθετο και σε επαφή, στα σημεία Σ και Σ', με τα σύρματα ΑΓ και Α'Γ'. Το σύστημα βρίσκεται μέσα σε ομογενές μαγνητικό πεδίο $B = 0,2\text{ T}$ κάθετο στο επίπεδο των συρμάτων.
 α) Ασκοούμε στο σύρμα ΣΣ', που αρχικά είναι ακίνητο, σταθερή δύναμη $F = 1\text{ N}$ παράλληλη στα ΑΓ και Α'Γ' οπότε η

- ταχύτητά του αποκτά κάποια σταθερή τιμή. Να υπολογιστεί η τάση στα άκρα του μετά τη σταθεροποίηση της ταχύτητας.
- β) Κάποια στιγμή παύει να ασκείται η δύναμη F και η ταχύτητα του σύρματος $\Sigma\Sigma'$ μετά από λίγο μηδενίζεται.
- β₁. Να υπολογιστεί ο ρυθμός μεταβολής της ταχύτητας καθώς και ο ρυθμός μεταβολής της κινητικής ενέργειας του σύρματος $\Sigma\Sigma'$ τη χρονική στιγμή που η ταχύτητά του μικραίνοντας έγινε ίση με το μισό της μέγιστης τιμής της.
- β₂. Να υπολογιστεί η θερμότητα που απέβαλε το κύκλωμα στο περιβάλλον κατά τη διάρκεια της επιβράδυνσης του σύρματος.
- [Απ: α) 0,5V, β) -5m/s^2 , $-3,75\text{W}$, $11,25\text{J}$]

- 5.61 Δύο παράλληλα σύρματα οδηγού, με μήκος $d=10\text{m}$ και αμελητέα αντίσταση απέχουν απόσταση $l=1\text{m}$, σχηματίζουν με το οριζόντιο επίπεδο γωνία $\varphi=30^\circ$. Στη βάση τους οι αγωγοί ενώνονται με σύρμα αντίστασης $R_1=0,1\Omega$. Ένας πρισματικός αγωγός με μάζα $m=1\text{kg}$ μπορεί να ολισθαίνει πάνω στα σύρματα οδηγούς χωρίς τριβές, παραμένοντας συνεχώς οριζόντιος. Το σύστημα βρίσκεται σε ομογενές μαγνητικό πεδίο $B=0,5\text{T}$ κάθετο στο επίπεδο των συρμάτων. Στον οριζόντιο αγωγό, που έχει αντίσταση $R_2=0,1\Omega$, ασκείται σταθερή δύναμη $F=15\text{N}$, παράλληλη με τα σύρματα- οδηγούς και φορά προς τα πάνω. Τη χρονική στιγμή $t=0$ ο αγωγός βρισκόταν στη βάση του πλάγιου επιπέδου που ορίζουν οι αγωγοί. Υπολογίστε:
- α) Την οριακή ταχύτητα που θα αποκτήσει το σύρμα ανεβαίνοντας.
- β) Την τάση στα άκρα του μετά την απόκτηση της οριακής ταχύτητας.
- γ) Τη θερμότητα που θα παραχθεί, μέχρι τη στιγμή που το σύρμα θα φτάσει στην κορυφή με την οριακή ταχύτητα.
- Δίνεται $g=10\text{m/s}^2$.
- [Απ: α) 8m/s β) 2V γ) 68J]

- 5.62 Δύο παράλληλοι οριζόντιοι αγωγοί Ax και $A'x'$ με αμελητέα αντίσταση απέχουν μεταξύ τους $l=1\text{m}$ και τα άκρα τους A και A' συνδέονται με αγωγό αντίστασης $R=5\Omega$. Ένας άλλος αγωγός KL , με μάζα $m=0,5\text{kg}$, χωρίς αντίσταση, μπορεί και ολισθαίνει χωρίς τριβές μένοντας κάθετος και σε επαφή με τους παράλληλους αγωγούς Ax και $A'x'$. Το σύστημα των τεσσάρων αγωγών βρίσκεται μέσα σε ομογενές μαγνητικό πεδίο $B=0,5\text{T}$ κάθετο στο επίπεδό τους. Ο αγωγός KL είναι αρχικά ακίνητος. Τη χρονική στιγμή $t=0$ ασκείται στον αγωγό KL δύναμη F , της ίδιας διεύθυνσης με αυτή των παράλληλων αγωγών, η οποία τον εξαναγκάζει να κινηθεί με σταθερή επιτάχυνση $a=2\text{m/s}^2$.
- α) Να γίνει το διάγραμμα $F=f(t)$
- β) Αν το έργο που παράγει η δύναμη F από τη χρονική στιγμή $t=0$ μέχρι τη χρονική στιγμή $t=6\text{s}$ είναι $50,4\text{J}$ να υπολογιστεί η θερμότητα που παράχθηκε στην αντίσταση στο

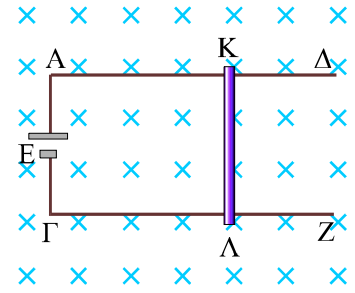
ίδιο χρονικό διάστημα.

- γ) Να υπολογιστεί ο ρυθμός με τον οποίο αυξάνεται η κινητική ενέργεια του αγωγού τη χρονική στιγμή $t=6s$.

[Απ: β) 14,4 J, γ) 12 J/s]

- 5.63 Δύο οριζόντιοι μεταλλικοί αγωγοί ΑΔ και ΓΖ με αμελητέα αντίσταση απέχουν μεταξύ τους $l=1m$ (σχ.5.57). Οι αγωγοί βρίσκονται σε κατακόρυφο ομογενές μαγνητικό πεδίο $B=1T$. Μεταλλική ράβδος ΚΛ, βρίσκεται σε συνεχή επαφή με τους αγωγούς ΑΔ και ΓΖ και μπορεί να ολισθαίνει χωρίς τριβές παραμένοντας κάθετη σε αυτούς. Συνδέουμε τα σημεία Α και Γ με τους πόλους πηγής ηλεκτρεγερτικής δύναμης $E=12V$ και αφήνουμε ελεύθερη τη ράβδο. Να υπολογιστεί η οριακή ταχύτητα που θα αποκτήσει.

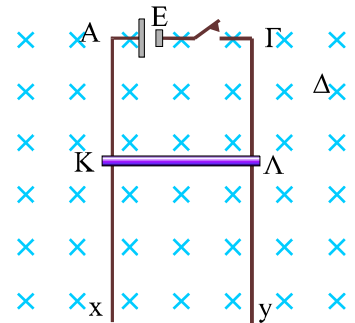
[Απ: 12m/s]



Σχ. 5.57

- 5.64 Οι αγωγοί Αx και Γy δεν παρουσιάζουν αντίσταση, είναι κατακόρυφοι, απέχουν μεταξύ τους $l=1m$ και τα άκρα τους Α και Γ συνδέονται μέσω διακόπτη με ηλεκτρική πηγή που έχει $E=24V$ και $r=0$ (σχ.5.58). Ο αγωγός ΚΛ, με μάζα $m=0,1kg$ και αντίσταση $R=20\Omega$, μπορεί να ολισθαίνει χωρίς τριβές πάνω στους αγωγούς Αx και Γy, μένοντας συνεχώς οριζόντιος και σε επαφή με αυτούς. Όλο το σύστημα βρίσκεται μέσα σε ομογενές μαγνητικό πεδίο $B=1T$ κάθετο στο επίπεδο των συρμάτων. Κλείνουμε το διακόπτη Δ και αφήνουμε τον αγωγό ΚΛ ελεύθερο να κινηθεί. Να υπολογιστεί η μέγιστη (οριακή) ταχύτητα που θα αποκτήσει. Δίνεται $g=10m/s^2$.

[Απ: 4m/s]



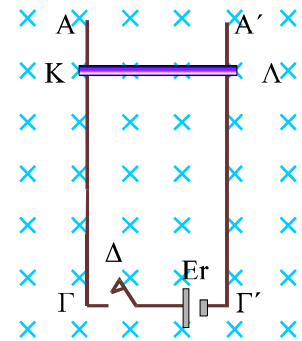
Σχ. 5.58

- 5.65 Οι κατακόρυφοι αγωγός ΑΓ και ΑΓ' στο κύκλωμα του σχήματος 5.59 έχουν αμελητέα αντίσταση και είναι μεγάλου μήκους. Ο αγωγός ΚΛ έχει αντίσταση $R=3\Omega$, μήκος $l=1m$, μάζα $m=0,2kg$ και μπορεί να ολισθαίνει χωρίς τριβές μένοντας οριζόντιος και σε ηλεκτρική επαφή με τους αγωγούς ΑΓ και ΑΓ'. Η όλη διάταξη βρίσκεται μέσα σε ομογενές μαγνητικό πεδίο $B=1T$ κάθετο στο επίπεδο των αγωγών, με φορά προς τα μέσα, όπως φαίνεται στο σχήμα. Η πηγή έχει ηλεκτρεγερτική δύναμη $E=12V$ και εσωτερική αντίσταση $r=1\Omega$. Κάποια στιγμή ο αγωγός ΚΛ αφήνεται να ολισθηθεί ενώ ο διακόπτης Δ είναι ανοιχτός. Όταν ο αγωγός ΚΛ διανύσει διάστημα $h=0,8m$ κλείνει ο διακόπτης.

- α) Να βρεθεί η επιτάχυνση του αγωγού ΚΛ (μέτρο, φορά), αμέσως μετά το κλείσιμο του διακόπτη.
β) Θα γίνει η ταχύτητα του αγωγού ΚΛ κάποια στιγμή μηδέν; Αν ναι να υπολογιστεί η τάση στα άκρα του αυτή τη στιγμή.
γ) Να βρεθεί η ταχύτητα (μέτρο, φορά) που θα αποκτήσει τελικά ο αγωγός ΚΛ, κατά τη διάρκεια του φαινομένου.

Δίνεται $g=10m/s^2$.

[Απ: α) $10m/s^2$ και φορά προς τα πάνω β) 9V γ) 4m/s και φορά προς τα πάνω]

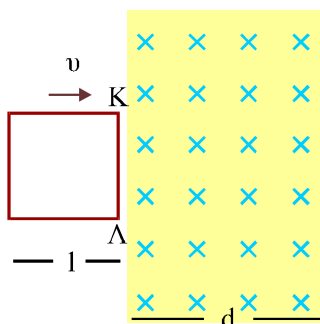


Σχ. 5.59

5.66 Δύο παράλληλοι οριζόντιοι αγωγοί χωρίς αντίσταση, που απέχουν μεταξύ τους $l=0,5\text{m}$, συνδέονται στα άκρα τους με ιδανικό πηνίο συντελεστή αυτεπαγωγής $L=25\times 10^{-3}\text{H}$. Ένας αγωγός ΑΓ, με μάζα $m=150\text{g}$ και αντίσταση $R=5\times 10^{-2}\Omega$, μπορεί να ολισθαίνει χωρίς τριβές μένοντας κάθετος και σε επαφή με τους παράλληλους αγωγούς. Το σύστημα βρίσκεται μέσα σε κατακόρυφο ομογενές μαγνητικό πεδίο $B=0,1\text{T}$. Ασκώντας στον αγωγό ΑΓ κάποια δύναμη F , παράλληλη με τους οριζόντιους αγωγούς, τον κινούμε με τρόπο ώστε η ένταση του ρεύματος στο κύκλωμα να δίνεται από τη σχέση $I=2t+3$ (SI).

- Να υπολογιστεί η ηλεκτρεγερτική δύναμη από αυτεπαγωγή που δημιουργείται στο πηνίο κατά τη διάρκεια του φαινομένου.
- Να βρεθεί και να αποδοθεί γραφικά η σχέση που συνδέει την ταχύτητα του αγωγού ΑΓ με το χρόνο.
- Να υπολογιστεί ο ρυθμός $\Delta v / \Delta t$ με τον οποίο αυξάνεται η ταχύτητα του αγωγού κατά τη διάρκεια του φαινομένου.
- Να υπολογιστεί ο ρυθμός με τον οποίο προσφέρεται ενέργεια στο κύκλωμα μέσω του έργου της F , τη χρονική στιγμή $t=4\text{s}$.

[Απ: α) $0,05\text{V}$ β) $v=2t+4$ (SI) γ) 2m/s^2 δ) $10,2\text{J/s}$]

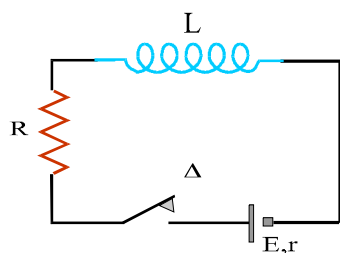


Σχ. 5.60

5.67 Το τετράγωνο συρμάτινο πλαίσιο του σχήματος έχει πλευρά $l=0,25\text{m}$ και αντίσταση ανά μονάδα μήκους $R^*=1\Omega/\text{m}$. Το πλαίσιο μπαίνει με σταθερή ταχύτητα $v=0,05\text{m/s}$ σε ομογενές μαγνητικό πεδίο που έχει ένταση $B=0,4\text{T}$ και εύρος $d=40\text{cm}$ (σχ. 5.60) με το επίπεδό του κάθετο στις δυναμικές γραμμές του πεδίου.

Να γίνει γραφική παράσταση των παρακάτω μεγεθών σε συνάρτηση με το χρόνο.

- Μαγνητική ροή που διέρχεται από το πλαίσιο.
- Ηλεκτρεγερτική δύναμη που δημιουργείται στο πλαίσιο.
- Ρεύμα που διαρρέει το πλαίσιο.
- Τάση ανάμεσα στα σημεία Κ και Λ.
- Δύναμη Laplace που δέχεται το πλαίσιο.



Σχ. 5.61

5.68 Το κύκλωμα του σχήματος 5.61 αποτελείται από πηγή ηλεκτρεγερτικής δύναμης $E=40\text{V}$ και εσωτερικής αντίστασης $r=2\Omega$, ιδανικό πηνίο με συντελεστή αυτεπαγωγής $L=0,5\text{H}$ και αντιστάτη με αντίσταση $R=8\Omega$. Κάποια στιγμή κλείνουμε το διακόπτη του κυκλώματος.

Να υπολογιστούν :

- Η τελική τιμή της έντασης του ρεύματος στο κύκλωμα.
- Η ηλεκτρεγερτική δύναμη που αναπτύσσεται από αυτεπαγωγή στο πηνίο τη στιγμή κατά την οποία το ρεύμα στο κύκλωμα αυξάνεται με ρυθμό $di/dt=6\text{A/s}$.
- Η ένταση του ρεύματος στο κύκλωμα και η ενέργεια που έχει αποθηκευτεί στο πηνίο την ίδια στιγμή.
- Ο ρυθμός με τον οποίο αποθηκεύεται ενέργεια στο μαγνητικό

πεδίο του πηνίου την ίδια στιγμή.

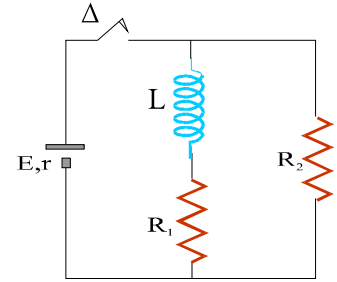
[Απ : α) 4 A, β) 3 V, γ) 3,7 A 3,42 J δ) 11,1 W]

5.69 Στο κύκλωμα του σχήματος είναι $E=12\text{V}$, $r=0$, $R_1=3\Omega$, $R_2=6\Omega$, $L=0,2\text{H}$. Αρχικά ο διακόπτης Δ είναι ανοιχτός και το κύκλωμα δε διαρρέεται από ρεύμα.

α) Τη στιγμή μηδέν κλείνει ο διακόπτης. 1) Να υπολογιστούν τα ρεύματα στο κύκλωμα αμέσως μετά το κλείσιμο του διακόπτη και 2) μετά από αρκετό χρόνο, όταν θα έχουν αποκατασταθεί οι τελικές τιμές.

β) Αφού αποκατασταθούν οι τελικές τιμές των ρευμάτων, ανοίγουμε το διακόπτη. 1) Να καθορίσετε ποιοι κλάδοι του κυκλώματος εξακολουθούν να διαρρέονται από ρεύμα και να σχεδιάσετε τη φορά του ρεύματος. 2) Να υπολογίσετε τη θερμότητα που θα παραχθεί στις αντιστάσεις από τη στιγμή που ανοίγουμε το διακόπτη μέχρι να μηδενιστεί το ρεύμα στο πηνίο.

[Απ : α) 1) 2 A, 0 2) 2 A, 4 A, β) 1,6 J]



Σχ. 5.62

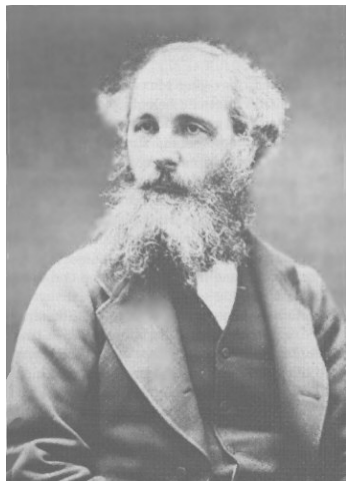


ΟΙ ΕΙΣΩΣΕΙΣ ΤΟΥ MAXWELL (ΜΑΞΓΟΥΕΛ)

Στις αρχές του 19ου αιώνα οι ερευνητές είχαν αντιληφθεί ότι ο ηλεκτρισμός και ο μαγνητισμός είναι συγγενή φαινόμενα.

Το 1820 ο Oersted έδειξε με το περίφημο πείραμά του ότι ένα ηλεκτρικό ρεύμα δημιουργεί γύρω του μαγνητικό πεδίο.

Το 1831 ο Faraday και ο Henry, ανεξάρτητα ο ένας από τον άλλο, παρατήρησαν ότι όταν μεταβάλλεται η μαγνητική ροή μέσα από ένα κύκλωμα στο κύκλωμα επάγεται ηλεκτρεγερτική δύναμη.



Το 1865 ο James Clerk Maxwell λαμβάνοντας υπόψη όλη την προηγούμενη εμπειρία (Coulomb, Ampere, Faraday....) διατύπωσε τέσσερις εξισώσεις, που σήμερα είναι γνωστές ως εξισώσεις του Maxwell και περιγράφουν όλα τα ηλεκτρομαγνητικά φαινόμενα. Η σπουδαιότητα των εξισώσεων αυτών στον ηλεκτρομαγνητισμό είναι αντίστοιχη με τη σπουδαιότητα των νόμων του Newton στη μηχανική.

Ο Maxwell δε διατύπωσε όλες αυτές τις εξισώσεις μόνος του, τις έδωσε όμως σαν ένα ενιαίο σύνολο, επισήμανε τη σπουδαιότητά τους και μέσω αυτών προέβλεψε την ύπαρξη των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων, που διαδίδονται με την ταχύτητα του φωτός.

Τρεις από τις εξισώσεις αυτές τις γνωρίζετε ήδη

Η πρώτη είναι ο **νόμος του Gauss**

$$\Phi_E = \frac{Q_{\text{εγκ}}}{\epsilon_0}$$

που συνδέει το ηλεκτρικό πεδίο με το ηλεκτρικό φορτίο που το δημιουργεί.

Η δεύτερη είναι ο **νόμος του Gauss για το μαγνητισμό**

$$\Phi_m = 0$$

που δηλώνει ότι δεν υπάρχουν μαγνητικά μονόπολα, δηλαδή δεν υπάρχει μαγνητικό αντίστοιχο του ηλεκτρικού φορτίου.

Η τρίτη είναι ο **νόμος της επαγωγής του Faraday**

$$E_{\text{ΕΠ}} = -N \frac{\Delta \Phi_B}{\Delta t}$$

Μια διάσταση αυτού του νόμου, την οποία δεν την αναλύσαμε, είναι ότι ένα μεταβαλλόμενο μαγνητικό πεδίο δημιουργεί ηλεκτρικό πεδίο.

Τέλος η τέταρτη εξίσωση είναι ο **νόμος του Ampère**, τροποποιημένος από το **Maxwell**.

Ο νόμος του Ampere συνδέει το μαγνητικό πεδίο με τις πηγές του, που είναι τα ηλεκτρικά ρεύματα. Ο Maxwell τον τροποποίησε ως εξής

Εικ. 5.11 James Clerk Maxwell (1831-1879). Ο κορυφαίος θεωρητικός φυσικός του 19^{ου} αιώνα. Θεμελιωτής της σύγχρονης ηλεκτρομαγνητικής θεωρίας και ένας από τους θεμελιωτές της Θερμοδυναμικής και της Στατιστικής μηχανικής. Γεννήθηκε στο Εδιμβούργο από διακεκριμένη σκοτσέζικη οικογένεια. Σπούδασε στο Κέμπριτζ όπου διακρίθηκε. Δίδαξε σε διάφορα πανεπιστήμια στην Αγγλία καταλήγοντας στο Κέμπριτζ. Είχε ιδιότυπη αίσθηση του χιούμορ, ήταν εξαιρετικά καλλιεργημένος, έγραφε ποίηση και ήταν μάλλον εσωστρεφής χαρακτήρας.

$$\sum B dl \sin \theta = \mu_0 I_{\text{εγκ}} + \epsilon_0 \mu_0 \frac{d\Phi_E}{dt}$$

Στη σχέση αυτή, Φ_E είναι η ηλεκτρική ροή που διέρχεται από την κλειστή διαδρομή γύρω από την οποία υπολογίζεται το άθροισμα $B dl \sin \theta$.

Η τροποποίηση που επέφερε ο Maxwell δηλώνει ότι πηγή του μαγνητικού πεδίου δεν είναι μόνο το ηλεκτρικό ρεύμα αλλά και το μεταβαλλόμενο ηλεκτρικό πεδίο. Αξίζει να σημειωθεί ότι την εποχή εκείνη δεν είχε γίνει κανένα πείραμα από το οποίο να αποδεικνύεται ότι ένα μεταβαλλόμενο ηλεκτρικό πεδίο μπορεί να δημιουργήσει μαγνητικό πεδίο.

Η ηλεκτρομαγνητική θεωρία, όπως τη διατύπωσε ο Maxwell, συνδέει το ηλεκτρικό και το μαγνητικό πεδίο με τις πηγές τους. Πηγές του ηλεκτρικού πεδίου δεν είναι μόνο τα φορτία αλλά και τα μεταβαλλόμενα μαγνητικά πεδία και πηγές του μαγνητικού πεδίου είναι όχι μόνο τα ρεύματα αλλά και τα μεταβαλλόμενα ηλεκτρικά πεδία. Σύμφωνα με τη θεωρία αυτή, η **μεταβολή του ενός πεδίου συνεπάγεται και τη δημιουργία του άλλου**. Κατά τον Maxwell τέτοιες μεταβολές ηλεκτρικού και μαγνητικού πεδίου πρέπει να διαδίδονται στο χώρο, όπως διαδίδονται τα ηχητικά ή τα υδάτινα κύματα. Στο κενό, οι διαταραχές αυτές πρέπει να διαδίδονται με την ταχύτητα c του φωτός.

Λίγα χρόνια αργότερα ο Hertz (Χερτζ) επιβεβαίωσε πειραματικά τις προβλέψεις του Maxwell, παράγοντας ηλεκτρομαγνητικά κύματα στο εργαστήριο, και μετρώντας την ταχύτητά τους.

Η ηλεκτρομαγνητική θεωρία, όπως διατυπώθηκε από το Maxwell, έπαιξε σπουδαίο, αν όχι το σπουδαιότερο, ρόλο στη διατύπωση της θεωρίας της σχετικότητας από τον Einstein. Με τη θεωρία της σχετικότητας πολλές βασικές έννοιες της φυσικής αναθεωρήθηκαν, οι εξισώσεις του Maxwell όμως παρέμειναν άθικτες.



Εικ. 5.12 Heinrich Rudolph Hertz (1857-1894). Γόνος ευκατάστατης μεγαλοαστικής οικογένειας του Αμβούργου. Γνώριζε πολλές ξένες γλώσσες μεταξύ των οποίων και αραβικά. Διάβαζε τον Όμηρο στο πρωτότυπο. Μαθητής και βοηθός του Helmholtz διακρίθηκε για την φοβερή πειραματική του επιδεξιότητα. Προσπάθησε ίσως περισσότερο από οποιονδήποτε άλλο να επιβεβαιώσει πειραματικά την ηλεκτρομαγνητική θεωρία του Maxwell και τα κατάφερε. Πέθανε σε ηλικία τριανταέξι ετών, θύμα της "ζήλιας των θεών", όπως είπε ο Helmholtz όταν έμαθε για το θάνατό του.

ΤΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΤΟΥ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟΥ

Ο ηλεκτρικός εξοπλισμός του αυτοκινήτου περιλαμβάνει :

Πηγές ηλεκτρικής ενέργειας : η μπαταρία και το δυναμό,

Καταναλωτές ηλεκτρικής ενέργειας : η μίζα, τα φώτα, οι καθαριστήρες, τα ηλεκτρικά παράθυρα, το ραδιοκασετόφωνο, τα μπουζί, ο ανεμιστήρας, ο κλιματισμός και άλλα.

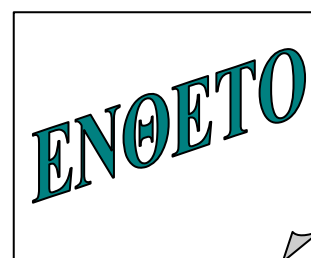
ΟΙ ΠΗΓΕΣ

Η μπαταρία είναι συνήθως μολύβδου, έχει ΗΕΔ 12 V και μπορεί να παρέχει μέγιστο ρεύμα από 150 A έως 250 A.

Το δυναμό είναι μια ηλεκτρογεννήτρια που εκμεταλλεύεται την κίνηση του κινητήρα του αυτοκινήτου για να παράγει ηλεκτρική ενέργεια.

Η μπαταρία φορτίζεται από το δυναμό όταν ο κινητήρας είναι σε λειτουργία.

Το δυναμό συνοδεύεται από ένα ρυθμιστή (αυτόματος) που κάνει δυο δουλειές.



- α) Διακόπτει τη φόρτιση της μπαταρίας όταν αυτή έχει φορτιστεί πλήρως.
- β) Υποχρεώνει το δυναμό να παρέχει ακριβώς το απαραίτητο ρεύμα για τη λειτουργία των καταναλωτών.

ΟΙ ΚΑΤΑΝΑΛΩΤΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Τα μπουζί

Για να παραχθεί σπινθήρας ανάμεσα στα ηλεκτρόδια ενός μπουζί, που απέχουν μεταξύ τους από 0,5 mm έως 0,7 mm, μέσα σ' ένα συμπιεσμένο μίγμα αέρος – βενζίνης, πρέπει να εφαρμόσουμε μια τάση γύρω στα 10.000 V.

Την τάση αυτή την πετυχαίνουμε με τη βοήθεια δύο σωληνοειδών τυλιγμένων γύρω από ένα πυρήνα μαλακού χάλυβα. Το ένα σωληνοειδές (πρωτεύον) έχει λίγες σπείρες και τροφοδοτείται με χαμηλή τάση. Το δεύτερο σωληνοειδές (δευτερεύον) έχει περίπου 20.000 σπείρες.

Ένα είδος διακόπτη (οι πλατίνες) μεταβάλλει το ρεύμα στο πρωτεύον διακόπτοντάς το και αποκαθιστώντας το διαδοχικά. Χάρη στο φαινόμενο της αμοιβαίας επαγωγής στα άκρα του δευτερεύοντος αναπτύσσονται τάσεις από 10.000 V έως 30.000 V. Αυτή η υψηλή τάση κατανέμεται στα μπουζί με τη σειρά με την οποία πρέπει να λειτουργήσουν.



Σχ. 5.63

Η μίζα

Η μίζα είναι ένας μικρός ηλεκτροκινητήρας που καταναλώνει μεγάλα ποσά ηλεκτρικής ενέργειας. Γι' αυτό συνδέεται απ' ευθείας με τη μπαταρία με δυο καλώδια μεγάλης διατομής. Η μίζα έχει ανάγκη από ρεύμα 100 A – 300 A για να λειτουργήσει. Πρόκειται για ρεύμα 20 φορές μεγαλύτερο από αυτό που χρειάζονται τα φώτα του αυτοκινήτου. Εάν μετά από έξι ως επτά δευτερόλεπτα συνεχούς χρήσης της μίζας το αυτοκίνητο δεν πάρει μπροστά πρέπει να περιμένουμε ένα χρονικό διάστημα πριν ξαναδοκιμάσουμε. Η παραγωγή του ρεύματος αντιστοιχεί σε μια χημική αντίδραση στη μπαταρία που είναι προτιμότερο να συμβαίνει όσο πιο αργά γίνεται. Περιορίζοντας το χρόνο λειτουργίας της μίζας φθείρουμε λιγότερο τη μπαταρία.



Σχ. 5.64

Οι άλλοι καταναλωτές

Αν και οι υπόλοιποι καταναλωτές δεν καταναλώνουν τα ποσά ηλεκτρικής ενέργειας που καταναλώνει η μίζα, καλό είναι να μην λειτουργούν όταν ο κινητήρας δε λειτουργεί γιατί εξαντλούν τη μπαταρία.

Στον πίνακα που ακολουθεί αναφέρονται κάποιες τιμές κατανάλωσης ηλεκτρικής ισχύος

Μίζα βενζινοκινητήρα	1-2 kW
Μίζα κινητήρα diesel	2-3 kW
Θερμαντική αντίσταση τζαμιού	250 W
Ηλεκτρικό παράθυρο	100 W
Καθαριστήρες	80 W
Ραδιοκασετόφωνο	20-40 W
Φώτα πορείας	2X60 W
Φώτα φρένων	2X21 W
Πίσω φώτα	15-20 W
Φωτισμός καμπίνας	3 W