

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

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

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  $\omega$  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  $\omega$  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

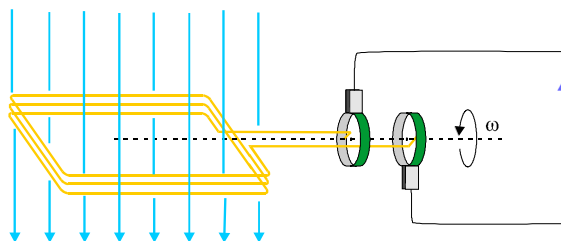
σημείο της περιφέρειας θα υπάρχει  $E_{\text{ΕΠ}} = \frac{1}{2} B \omega r^2$

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  $\omega$  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  $\omega$  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 πλαίσιο μας έχει  $N$  σπείρες τότε  $\Phi_B = NBA \sigma \omega t$  και αντίστοιχα

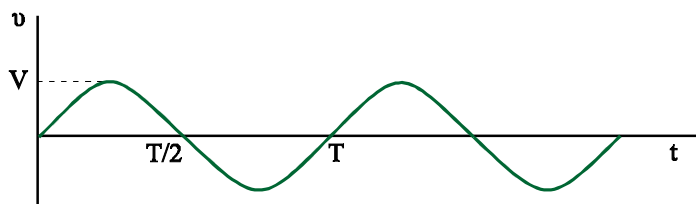
$$E_{\text{ΕΠ}} = N\omega BA \eta \mu \omega t .$$

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

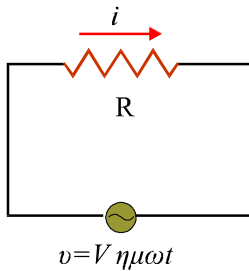
- Το  $V$  είναι η μεγαλύτερη τιμή που μπορεί να πάρει η τάση, μετριέται σε *Volts* και ονομάζεται **πλάτος της εναλλασσόμενης τάσης**.
- Το γινόμενο  $\omega t$  ονομάζεται **φάση** της τάσης και είναι γωνία, μετρημένη σε *rad* .
- Το  $\omega$  ονομάζεται **γωνιακή συχνότητα** της εναλλασσόμενης τάσης και είναι ίσο με τη γωνιακή ταχύτητα περιστροφής του πλαισίου που παρήγαγε την τάση. Μετριέται σε  $\frac{rad}{s}$  . 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

<sup>1</sup> 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

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

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

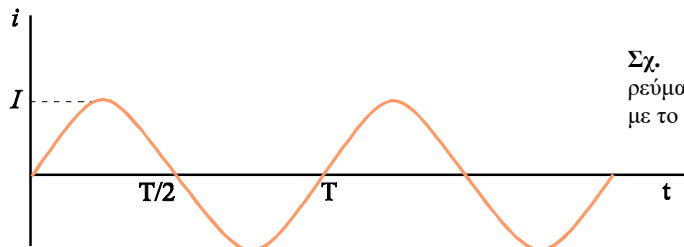
ή όπου το  $I$  είναι η μέγιστη τιμή της έντασης του ρεύματος (πλάτος) και

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

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  $\omega t$  ονομάζεται φάση και το  $\omega$  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  $I = \frac{V}{R} = 11\sqrt{2} A$

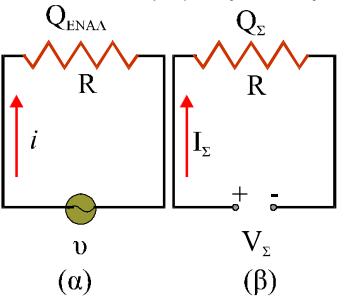
Η γωνιακή συχνότητα  $\omega = 2\pi f = 100\pi$

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  $Q_{ENAA}$  η θερμότητα που παράγεται σε χρόνο  $t$ . Στον ίδιο αντιστάτη διαβιβάζουμε συνεχές ρεύμα (σχ. 5.22β). Σε χρόνο  $t$  στον αντιστάτη θα παραχθεί θερμότητα  $Q_S$ . Αν η ένταση  $I_S$  του συνεχούς ρεύματος είναι τέτοια ώστε  $Q_S=Q_{ENAA}$ , η τιμή αυτή του ρεύματος ονομάζεται ενεργός τιμή του εναλλασσόμενου.

**Σχ. 5.22** Αν η θερμότητα  $Q_S$  που παράγεται από το συνεχές ρεύμα  $I_S$  είναι ίση με τη θερμότητα  $Q_{ENAA}$  που παράγεται από το εναλλασσόμενο ρεύμα, τότε  $I_{ev}=I_S$

Αν  $I_S=I_{ev}$  τότε  $V_S=V_{ev}$

**Ενεργός ένταση  $I_{ev}$  ενός εναλλασσομένου 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 εναλλασσομένου ρεύματος συνδέονται με τη σχέση

$$I_{ev} = \frac{I}{\sqrt{2}}$$

**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  $V_{\varepsilon v}$  και το πλάτος  $V$  της εναλλασσόμενης τάσης συνδέονται με τη σχέση

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

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 εναλλασσομένου 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

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

Η ισχύς του εναλλασσομένου 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

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

## 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

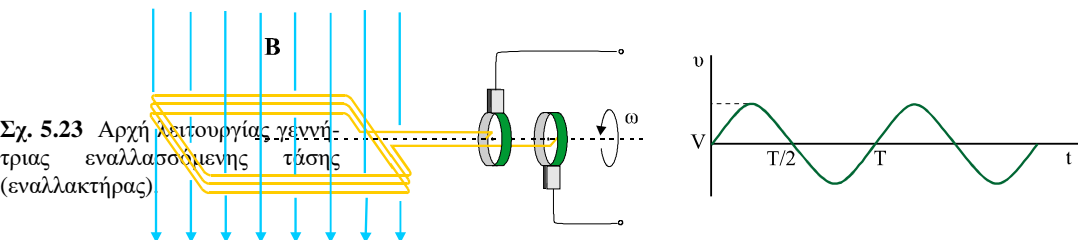
$$I_{\varepsilon V} = \frac{V_{\varepsilon V}}{R} = 2A$$

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**.



Σχ. 5.23 Αρχή λειτουργίας γεννήτριας εναλλασσόμενης τάσης (εναλλακτήρας)



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)