

$$V_M - V_A = I_0 R_1 \quad V_A - V_B = I_0 R_2 \quad V_B - V_N = I_0 R_3$$

Η πρόσθεση αυτών δίνει :

$$V_M - V_A + V_A - V_B + V_B - V_N = I_0 (R_1 + R_2 + R_3)$$

$$\text{Όμως:} \quad V_M - V_A + V_A - V_B + V_B - V_N = V_M - V_N = V_0 \quad (\alpha)$$

Από τις δύο τελευταίες θα έχουμε:

$$V_0 = I_0 (R_1 + R_2 + R_3) \quad (3.7)$$

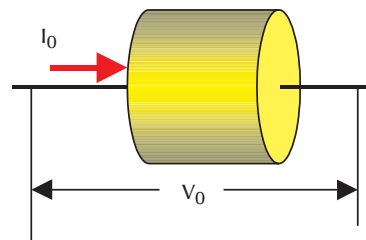
Η αντίσταση του ισοδύναμου αντιστάτη θα πρέπει να είναι τέτοια, ώστε αν αντικαταστήσουμε τους τρεις με αυτόν και εφαρμόσουμε στα άκρα του την ίδια τάση  $V_0$ , να διαρρέεται από ρεύμα  $I_0$ , όπως όταν ήταν και οι τρεις αντιστάτες μαζί.

Η κατάσταση απεικονίζεται στην εικόνα (16). Αν εφαρμόσουμε το νόμο του Ohm για την περίπτωση αυτή, θα έχουμε:

$$V_0 = I_0 R_{\text{ισοδ}} \quad (3.8)$$

Από τις σχέσεις (3.7) και (3.8) προκύπτει:

$$R_{\text{ισοδ}} = R_1 + R_2 + R_3 \quad (3.9)$$



Εικ. 16

### Συμπέρασμα

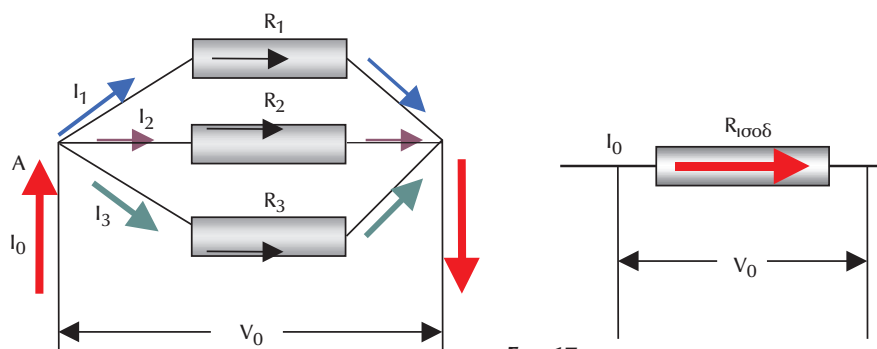
Όταν συνδέουμε αντιστάτες σε σειρά, η αντίσταση του ισοδύναμου αντιστάτη ισούται με το άθροισμα των αντιστάσεων των αντιστατών.

### Παρατηρήσεις

1. Οι αντιστάσεις των αντιστατών είναι θετικοί αριθμοί.
2. Όπως φαίνεται από τη σχέση (α), το άθροισμα των τάσεων στα άκρα των αντιστατών ισούται με την τάση που τροφοδοτεί το τμήμα του κυκλώματος στο οποίο υπάρχουν οι αντιστάτες.
3. Όλοι οι αντιστάτες διαρρέονται από το ίδιο ρεύμα.
4. Ο ισοδύναμος αντιστάτης έχει αντίσταση μεγαλύτερη από την αντίσταση κάθε μεμονωμένου αντιστάτη, άρα μεγαλύτερη και από τη μεγαλύτερη αντίσταση των αντιστατών. Αυτό φαίνεται εύκολα από την (3.9) και από το γεγονός ότι οι αντιστάσεις των αντιστατών είναι θετικοί αριθμοί.

### Β. Παράλληλη σύνδεση

Θα λέμε ότι κάποιοι αντιστάτες είναι συνδεσμολογημένοι παράλληλα, εάν όλοι τροφοδοτούνται από την ίδια τάση.



Εικ. 17

Θα υπολογίσουμε την αντίσταση του ισοδύναμου αντιστάτη των τριών αντιστατών που είναι συνδεσμοποιημένοι παράλληλα και τροφοδοτούνται από την ίδια τάση  $V_0$ . Το σημείο Α, στο οποίο συναντώνται οι 4 αγωγοί, ονομάζεται **κόμβος**. Ας ονομάσουμε  $I_0$  την ένταση του ρεύματος στον αγωγό α. Το ρεύμα στον κόμβο Α διαχωρίζεται στα ρεύματα  $I_1, I_2, I_3$ , που διαρρέουν τους αντιστάτες με αντιστάσεις  $R_1, R_2, R_3$ , αντίστοιχα.

Εξαιτίας της αρχής διατήρησης του ηλεκτρικού φορτίου μπορούμε να γράψουμε για τον κόμβο Α:

$$I_0 = I_1 + I_2 + I_3 \quad (3.10)$$

Εφαρμόζοντας το νόμο του Ohm για τους τρεις αντιστάτες έχουμε:

$$I_1 = \frac{V_0}{R_1} \quad I_2 = \frac{V_0}{R_2} \quad I_3 = \frac{V_0}{R_3} \quad (3.11)$$

Προσθέτοντας τις τρεις προηγούμενες και λαμβάνοντας υπόψη την (3.6) έχουμε:

$$I_0 = I_1 + I_2 + I_3 = \frac{V_0}{R_1} + \frac{V_0}{R_2} + \frac{V_0}{R_3} = V_0 \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \right) \quad (3.12)$$

Η αντίσταση του ισοδύναμου αντιστάτη θα είναι τέτοια, ώστε αν τροφοδοτηθεί με την ίδια τάση  $V_0$ , να διαρρέεται από ρεύμα της ίδιας έντασης  $I_0$ . Η κατάσταση απεικονίζεται στην εικόνα (17).

Από το σχήμα προκύπτει:

$$I_0 = \frac{V_0}{R_{\text{ισοδ}}} \quad (3.13)$$

Από τη σύγκριση των (3.12) και (3.13) έχουμε:

$$\frac{1}{R_{\text{ισοδ}}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \quad (3.14)$$

### Παρατηρήσεις

Στην παράλληλη σύνδεση αντιστατών:

1. Όλοι οι αντιστάτες έχουν την ίδια τάση.
2. Το άθροισμα των εντάσεων των ρευμάτων που διαρρέουν τους αντιστάτες

ισούται με την ένταση του ρεύματος που εισέρχεται στο τμήμα του κυκλώματος το οποίο περιέχει τους αντιστάτες.

3. Η αντίσταση του ισοδύναμου αντιστάτη είναι μικρότερη και από τη μικρότερη αντίσταση των αντιστατών.

#### ΣΚΕΦΤΕΙΤΕ

Ο Γιώργος πειραματίστηκε στο εργαστήριο του σχολείου του με τρεις αντιστάτες που γνώριζε ότι είχαν αντιστάσεις  $4\Omega$ ,  $10\Omega$ ,  $20\Omega$ . Για την αντίσταση του ισοδύναμου σε σειρά αντιστάτη βρήκε την τιμή  $18\Omega$ . Για την αντίσταση του ισοδύναμου σε παράλληλη σύνδεση αντιστάτη βρήκε την τιμή  $5\Omega$ . Όταν έδειξε τα αποτελέσματα στον καθηγητή του, αυτός του είπε να επαναλάβει τις μετρήσεις, γιατί υπάρχουν λάθη. Τι παρατήρησε ο καθηγητής;

#### Παράδειγμα 5

Σας δίνονται τρεις αντιστάτες με τιμές αντίστασης  $R_1 = 3\Omega$ ,  $R_2 = 6\Omega$ ,  $R_3 = 9\Omega$ . Να υπολογίσετε την αντίσταση του ισοδύναμου αντιστάτη σε σύνδεση σε σειρά και σε παράλληλη σύνδεση.

#### Λύση

Για τη σύνδεση σε σειρά θα εφαρμόσουμε τον τύπο:

$$R_{\text{ισοδ}} = R_1 + R_2 + R_3 = 3\Omega + 6\Omega + 9\Omega = 18$$

Για την παράλληλη σύνδεση θα έχουμε:

$$\frac{1}{R_{\text{ισοδ}}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} = \frac{1}{3\Omega} + \frac{1}{6\Omega} + \frac{1}{9\Omega} = \frac{6}{18\Omega} + \frac{3}{18\Omega} + \frac{2}{18\Omega} = \frac{11}{18\Omega}$$

$$\text{και τελικά } R_{\text{ισοδ}} = \frac{18}{11} \Omega$$

#### Παράδειγμα 6

Ο Νίκος πειραματίζεται με δύο αντιστάτες και υπολογίζει τις επόμενες τιμές αντιστάσεων:  $2\Omega$ ,  $3\Omega$ ,  $6\Omega$ ,  $9\Omega$ . Να υπολογίσετε τις τιμές των αντιστάσεων των αντιστατών που χρησιμοποίησε.

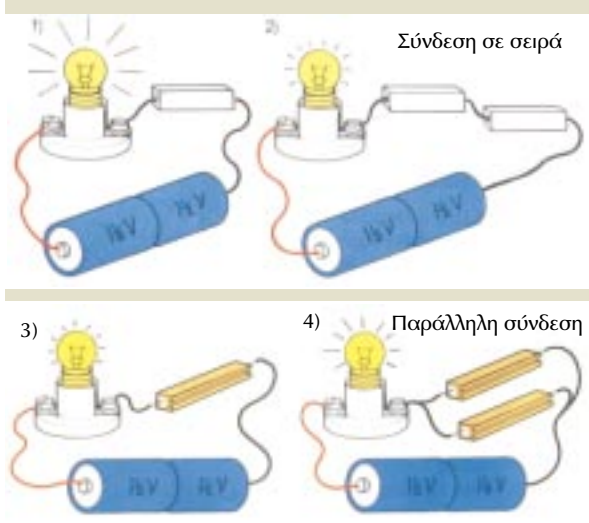
#### Λύση

Ο μόνος τρόπος για να μπορέσει να πάρει 4 τιμές αντίστασης χρησιμοποιώντας μόνο δύο αντιστάτες είναι να συμπεριλάβει στις μετρήσεις του και δύο μετρήσεις για τις τιμές αντίστασης των ίδιων των αντιστατών. Έτσι, στην τετράδα τιμών που πήρε περιέχονται οι δύο τιμές των αντιστάσεων των αντιστατών και οι ισοδύναμες σε σειρά και παράλληλα.

Γνωρίζουμε ότι όταν έχουμε σύνδεση σειράς, η ισοδύναμη αντίσταση είναι μεγαλύτερη και από τη μεγαλύτερη αντίσταση, και όταν έχουμε παράλληλη σύνδεση, η ισοδύναμη αντίσταση είναι μικρότερη και από τη μικρότερη. Αυτό σημαίνει ότι η τιμή των  $9\Omega$  αντιπροσωπεύει την ισοδύναμη σε σειρά και η τιμή

των  $2\Omega$  την ισοδύναμη παράλληλα. Οι αντιστάσεις των δοσμένων αντιστατών πρέπει να είναι  $3\Omega$  και  $6\Omega$ . Πράγματι, αυτές σε σειρά δίνουν ισοδύναμη  $9\Omega$  και παράλληλα ισοδύναμη  $R_{\text{ισοδ}} = \frac{3 \times 6}{3 + 6} = 2\Omega$

### ΣΚΕΦΤΕΙΤΕ

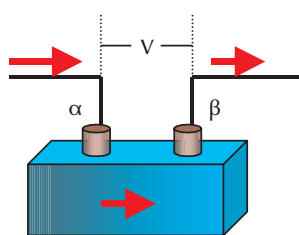


Στο απέναντι σχήμα φαίνονται δύο κυκλώματα. Στο σχήμα (1) έχουμε μία πηγή που συνδέεται σε σειρά με ένα λαμπάκι και με έναν αντιστάτη. Το λαμπάκι φωτοβολεί κανονικά. Στο σχήμα (2) έχουμε συνδέσει σε σειρά και ένα δεύτερο αντιστάτη. Γιατί το λαμπάκι φωτοβολεί λιγότερο;

Στο σχήμα (3) έχουμε πάλι συνδέσει ένα λαμπάκι και έναν αντιστάτη σε μια πηγή, ώστε το λαμπάκι να φωτοβολεί κανονικά. Στο

σχήμα (4), παράλληλα προς τον αρχικό αντιστάτη, έχουμε συνδέσει έναν δεύτερο. Γιατί στην περίπτωση αυτή το λαμπάκι φωτοβολεί ισχυρότερα;

## 3.12 Ενέργεια και ισχύς του ηλεκτρικού ρεύματος



Εικ. 18

Είδαμε ότι το ηλεκτρικό ρεύμα είναι η ομαδικά προσανατολισμένη κίνηση ελεύθερων ηλεκτρικών φορέων, οι οποίοι στα μέταλλα είναι τα ελεύθερα ηλεκτρόνια. Είδαμε ακόμα ότι όταν δημιουργούμε ένα κύκλωμα που αποτελείται από διάφορα στοιχεία, στα άκρα των στοιχείων δημιουργούνται τάσεις. Θυμηθείτε τώρα ότι όταν τα ηλεκτρικά φορτία κινούνται από τάσεις που τα επιταχύνουν αποκτούν ενέργεια από τα ηλεκτρικά πεδία η οποία ονομάζεται **ενέργεια του ηλεκτρικού ρεύματος**. Η ενέργεια

αυτή μετασχηματίζεται σε άλλες μορφές ενέργειας στα διάφορα στοιχεία ενός κυκλώματος, όπως θα δούμε στη συνέχεια.

Στην εικόνα (18) έχουμε θεωρήσει ένα στοιχείο ενός κυκλώματος (το τετράγωνο κουτί). Ας ονομάσουμε  $V = V_\alpha - V_\beta$  τη διαφορά δυναμικού στα άκρα του στοι-

χείου. Το ρεύμα συμβατικής φοράς (δηλαδή θετικά φορτία) μπαίνει από το σημείο α (που είναι σε υψηλό δυναμικό) και βγαίνει από το σημείο β (που είναι σε χαμηλό δυναμικό). Ας υποθέσουμε ότι σε κάποιο χρονικό διάστημα μετακινείται φορτίο  $q$  από το άκρο α στο άκρο β του στοιχείου. Η ενέργεια που παίρνει από το ηλεκτρικό πεδίο είναι :

$$W = q V_{\alpha\beta} \quad (3.15)$$

Θυμηθείτε τώρα και τη σχέση  $I = \frac{q}{t}$

Με τη βοήθεια αυτής η (3.15) γράφεται:

$$W = I V t \quad (3.16)$$

Οι σχέσεις (3.15) και (3.16) ισχύουν ανεξάρτητα από τη φύση του στοιχείου που από δώ και πέρα θα το ονομάζουμε **καταναλωτή**. Αν ο καταναλωτής είναι αντιστάτης, μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε το νόμο του Ohm με τις μορφές

$V = I R$  και  $I = \frac{V}{R}$  και να έχουμε και τις επόμενες εκφράσεις αντίστοιχα :

$$W = I^2 R t \quad W = \frac{V^2}{R} t$$

### Εξισώσεις της ηλεκτρικής ενέργειας

Η ισχύς όπως γνωρίζετε, δίνεται από τη σχέση  $P = \frac{W}{t}$ . Η ισχύς του ηλεκτρικού ρεύματος είναι το πηλίκο της ηλεκτρικής ενέργειας που μεταφέρεται σε έναν καταναλωτή μέσα σε χρονικό διάστημα  $t$  και του χρονικού διαστήματος  $t$ . Οι εξισώσεις της ηλεκτρικής ισχύος προκύπτουν εύκολα από τους προηγούμενους τύπους με διαίρεση με το χρονικό διάστημα  $t$ . Έτσι θα έχουμε :

$$W = q V \quad (3.17)$$

$$W = I V t \quad (3.18)$$

$$W = I^2 R t \quad (3.19)$$

$$W = \frac{V^2}{R} t \quad (3.20)$$

Οι **δύο πρώτες** ισχύουν για κάθε αποδέκτη ηλεκτρικής ενέργειας.

Οι **δύο τελευταίες** ισχύουν μόνο για ωμικούς αντιστάτες.

### Εξισώσεις ηλεκτρικής ισχύος

$$P = \frac{qV}{t} \quad (3.21)$$

$$P = IV \quad (3.22)$$

$$P = I^2 R \quad (3.23)$$

$$P = \frac{V^2}{R} \quad (3.24)$$

Οι **δύο πρώτες** ισχύουν για κάθε αποδέκτη ηλεκτρικής ενέργειας.

Οι **δύο τελευταίες** ισχύουν μόνο για ωμικούς αντιστάτες.

### 3.13 Θερμικά αποτελέσματα του ηλεκτρικού ρεύματος

#### Φαινόμενο Joule

Ας θεωρήσουμε έναν αντιστάτη με τη μορφή ενός μεταλλικού αγωγού. Στα άκρα του εφαρμόζουμε σταθερή συνεχή τάση. Όπως έχουμε πει, στο εσωτερικό του δημιουργείται ομογενές ηλεκτρικό πεδίο, που ασκεί δυνάμεις στα ελεύθερα ηλεκτρόνια. Τα ηλεκτρόνια παίρνουν ενέργεια από το πεδίο και κάνουν επιταχυνόμενη κίνηση. Κατά την κρούση τους με τα ιόντα μεταφέρουν σε αυτά την ενέργεια, με αποτέλεσμα να αυξάνεται το πλάτος ταλάντωσης των ιόντων. Αυτό γίνεται αντιληπτό ως αύξηση της θερμοκρασίας του αγωγού. Στην περίπτωση του μεταλλικού αγωγού όλη η ενέργεια του ηλεκτρικού ρεύματος μετατρέπεται σε θερμική ενέργεια.

Το φαινόμενο της θέρμανσης των αγωγών, ως αποτέλεσμα κρούσεων των ηλεκτρικών φορέων με τα ταλαντούμενα ιόντα, όταν οι αγωγοί διαρρέονται από ηλεκτρικό ρεύμα, ονομάζεται **φαινόμενο Joule**.

Το ουσιαστικό περιεχόμενο του φαινομένου Joule είναι η ολοκληρωτική μετατροπή της ενέργειας του ηλεκτρικού ρεύματος, αποκλειστικά και μόνο, σε θερ-

#### Φαινόμενο Joule

**Η ολοκληρωτική μετατροπή της ηλεκτρικής ενέργειας σε θερμότητα, όταν το ηλεκτρικό ρεύμα διαρρέει ωμικούς αντιστάτες.**

μότητα.

Ο υπολογισμός της θερμικής ενέργειας που αναπτύσσεται είναι εύκολος, εφόσον αυτή προέρχεται από ολοκληρωτική μετετροπή της ηλεκτρικής ενέργειας. Δεν έχουμε παρά να χρησιμοποιήσουμε τους τύπους της ηλεκτρικής ενέργειας. Έτσι, οι εξισώσεις που δίνουν το ποσό της θερμικής ενέργειας θα είναι:

$$\begin{array}{lll} Q = I^2 R t & & I: A \\ Q = IVt & (3.25) & R: \Omega \quad Q : \text{Joule} \\ Q = \frac{V^2}{R} t & & V: \text{Volt} \\ & & t: s \end{array}$$

Οι προηγούμενοι τύποι (3.25) εκφράζουν τη θερμότητα σε μονάδες ενέργειας στο σύστημα SI. Αυτό είναι απόλυτα θεμιτό, διότι, όπως γνωρίζετε, η θερμική ενέργεια είναι μορφή ενέργειας. Πολλές φορές, όμως, επιθυμούμε να την εκφράσουμε σε μονάδες *calorie* (θεμίδες), που είναι αυθαίρετη μονάδα. Στην περίπτωση αυτή εισάγουμε στις εξισώσεις (3.25) ένα συντελεστή  $\alpha$ , που είναι συντελεστής μετατροπής της μονάδας Joule στη μονάδα *cal*. Η τιμή του  $\alpha$  είναι:

$$\alpha = 0,24 \frac{\text{cal}}{\text{Joule}}$$

Οι εξισώσεις (A) γράφονται:

$$Q = \alpha I^2 R t$$

$$Q = \alpha I V t \quad (3.26)$$

$$Q = \alpha \frac{V^2}{R} t$$

I: A

R: Ω

V: Volt

t: s

Q : Joule

### Παράδειγμα 1

Θερμαντικό σώμα έχει αντίσταση  $R = 400\Omega$  και λειτουργεί κανονικά σε τάση  $V_0 = 220 \text{ Volt}$ . Να υπολογίσετε :

1. Την ένταση του ρεύματος που το διαρρέει .
2. Την ισχύ την οποία καταναλώνει σε αυτές τις συνθήκες
3. Την ενέργεια που δαπανάται για τη συνεχή λειτουργία του σώματος επί τρεις ώρες.
4. Τη θερμότητα που εκλύεται στο παραπάνω χρονικό διάστημα λειτουργίας.

### Λύση

1. Η ένταση του ρεύματος κανονικής λειτουργίας θα υπολογιστεί από τη σχέση:

$$\text{ση. } I_0 = \frac{V_0}{R} \quad \text{Από αυτή, με αντικατάσταση, βρίσκουμε : } I_0 = \frac{220 \text{ Volt}}{400\Omega} = 0,55 \text{ A}$$

2. Η ισχύς που καταναλώνεται θα υπολογιστεί από τη σχέση.  $P = I_0 V_0$  Με αντικατάσταση έχουμε:  $P = 0,55 \text{ A} \times 220 \text{ V} = 121 \text{ W}$

3. Η ενέργεια που δαπανάται θα υπολογιστεί από τη σχέση:  $W = P t$  η οποία με αντικατάσταση δίνει :  $W = 121 \times 3 \times 3600 = 1,3 \times 10^6 \text{ J}$

5. Για να υπολογίσουμε την ενέργεια σε μονάδες θερμότητας , θα διαιρέσουμε την ενέργεια σε Joule με το συντελεστή 4,18. Έτσι:

$$Q = \frac{1,3 \times 10^6}{4,18} = 0,31 \times 10^6 \text{ cal}$$

## 3.14 Εφαρμογές του φαινομένου Joule

### Α. Λαμπτήρας πυράκτωσης

Είναι ο παλαιότερος τύπος λαμπτήρων φωτισμού (εικόνα 19). Αποτελείται από ένα πολύ λεπτό και μακρύ μεταλλικό σύρμα κατασκευασμένο από βολφράμιο, που μπορεί να θερμαίνεται σε υψηλές θερμοκρασίες λευκοπύρωσης χωρίς να λιώνει. Σε αυτές τις θερμοκρασίες, αν ήταν στον αέρα, θα αναφλεγόταν. Γι' αυτό τον λόγο τοποθετείται μέσα σε γυάλινο περίβλημα γεμάτο με αέρια που δεν αντιδρούν με αυτό, όπως αργό και άζωτο. Μολονότι φωτοβολεί έντονα και εκπέμπει μεγάλα ποσά ενέργειας με μορφή ακτινοβολίας, το μεγαλύτερο μέρος της ενέργειας ακτινοβολείται με μορφή υπέρυθρης ακτινοβολίας (ακτινοβολία



Εικ. 19

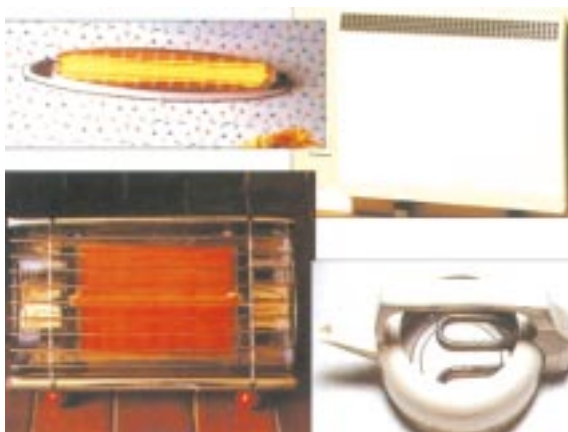
που θερμαίνει). Αυτό το αντιλαμβάνεστε, αν βάλετε κοντά στο λαμπτήρα το χέρι σας. Μόνο το 2% ή το 3% της ενέργειας που καταναλώνει ο λαμπτήρας μετατρέπεται σε ορατή ακτινοβολία.

### Β. Θερμαντικά σώματα

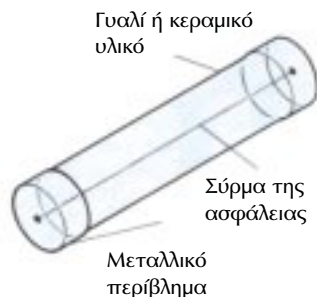
Στην εικόνα 20 φαίνονται τέσσερα είδη ηλεκτρικών θερμαντικών συσκευών. Από αυτά μόνο η ηλεκτρική θερμάστρα “κοκκινίζει” κατά τη λειτουργία της σε θερμοκρασία 600 με 700° C. Η θερμάστρα ακτινοβολεί ενέργεια με μορφή ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων. Ο ηλεκτρικός βραστήρας έχει ένα στοιχείο αντίστασης που δε

χρειάζεται να θερμανθεί σε θερμοκρασία μεγαλύτερη από 100 °C, η οποία είναι η θερμοκρασία βρασμού του νερού.

Οι θερμοσυσσωρευτές αποτελούνται από ειδικά υλικό, το οποίο μπορεί να αποθηκεύει θερμότητα, όταν θερμαίνεται. Χρειάζεται μεγάλο χρονικό διάστημα, για να θερμανθεί, αλλά χρειάζεται και μεγάλο χρονικό διάστημα, για να αποδώσει τη θερμότητα στο περιβάλλον.



Εικ. 20



Εικ. 21

### Γ. Τηκόμενες ασφάλειες

Μερικές φορές η ένταση του ρεύματος σε διάφορα τμήματα ενός κυκλώματος μπορεί να πάρει εξαιρετικά μεγάλες τιμές, με αποτέλεσμα (ανάμεσα στα άλλα) να λιώσουν τα σύρματα και να προκληθούν πυρκαγιές. Το ενδεχόμενο αυτό αποφεύγεται με την παρεμβολή της ασφάλειας στον επικίνδυνο αγωγό. Η ασφάλεια είναι ένα μικρό μεταλλικό σύρμα από κράμα μετάλλων με χαμηλό σημείο τήξης. Αν περάσει ρεύμα με ένταση μεγαλύτερη από μία προκαθορισμένη τιμή, το



σύρμα λιώνει και το κύκλωμα διακόπτεται. Είναι φανερό ότι ο ρόλος της ασφάλειας είναι να αυτοκαταστραφεί, διακόπτοντας τη δίοδο του ρεύματος. Με τον τρόπο αυτό αποφεύγονται ατυχήματα, πυρκαγιές, αλλά και προστατεύονται από καταστροφή άλλες ακριβότερες συσκευές.

Έτσι, όταν λέμε ότι μία ασφάλεια είναι 2A, εννοούμε ότι αν από αυτή περάσει ρεύμα με ένταση μεγαλύτερη από 2A, η ασφάλεια καταστρέφεται.



Είναι καλή ιδέα να υπάρχουν ασφάλειες στις πρίζες

### Ο ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΣ ΕΙΝΑΙ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΣ

Το ανθρώπινο σώμα είναι πολύ καλός αγωγός του ηλεκτρισμού. Αυτό οφείλεται στο ότι το σώμα αποτελείται κυρίως από νερό, μέσα στο οποίο βρίσκονται διαλυμένα όλα τα είδη των αλάτων.

Ευτυχώς, όταν το δέρμα είναι στεγνό, είναι κακός αγωγός. Ακόμα, όταν φοράτε παπούτσια από πλαστικό ή από καουτσούκ, το ρεύμα δεν μπορεί να κυκλοφορήσει εύκολα μέσα από το σώμα σας. Σε αυτές τις περιπτώσεις είναι δυνατόν να ακουμπήσει κάποιος γυμνά καλώδια και να επιζήσει. Σίγουρα όμως θα αισθανθεί ισχυρό τίναγμα, πράγμα που δεν είναι καθόλου αστείο. Οι χειρότερες συνθήκες για ηλεκτροπληξία είναι όταν το δέρμα είναι υγρό και τα πόδια γυμνά, περίπτωση που μπορεί να εμφανιστεί όταν είμαστε στο λουτρό. Υπάρχει μεγάλος κίνδυνος ηλεκτροπληξίας και πρέπει να προσέχουμε πολύ. Πριν απ' όλα όλοι οι διακόπτες πρέπει να λειτουργούν με εξωτερικό έλεγχο. Ηλεκτρικές θερμάστρες με γυμνά καλώδια απαγορεύονται. Το λουτρό δεν είναι ο κατάλληλος χώρος για να ακούει κανείς μουσική ή για να παρακολουθεί τηλεόραση.

Το νευρικό σύστημα του σώματος λειτουργεί με ηλεκτρισμό. Οι μύες ελέγχονται από ηλεκτρικά μηνύματα, που αποστέλλει ο εγκέφαλος ή τα νευρικά κύτταρα. Όταν το ηλεκτρικό ρεύμα μπει στο σώμα, μπορεί να υπερκαλύψει τα νευρικά σήματα, με αποτέλεσμα να χαθεί ο έλεγχος των μυών. Αυτό σημαίνει ότι είναι πιθανόν να μην μπορείτε να αφήσετε ένα ηλεκτροφόρο καλώδιο που ακουμπήσατε. Το σώμα σας θα τρέμει χωρίς να μπορείτε να το ελέγξετε, και πιθανόν δε θα μπορείτε να μιλήσετε. Όλα αυτά μπορούν να συμβούν ακόμα και με ρεύμα **δεκαπέντε εκατοστά** του Ampere.

Εάν η ένταση του ρεύματος είναι μεγαλύτερη, είναι δυνατόν να παρουσιάσουν εγκαύματα ή απανθράκωση εξαιτίας των θερμικών αποτελεσμάτων του ρεύματος. Ο σημαντικός, όμως, κίνδυνος είναι ο κίνδυνος διακοπής της καρδιακής λειτουργίας. Η καρδιά, όπως κάθε άλλος μυς, ελέγχεται από νευρικές ηλεκτρικές ωθήσεις. Εάν οι ωθήσεις αυτές επικαλυφθούν από ηλεκτρικό σοκ, είναι πιθανόν να σταματήσει να λειτουργεί η καρδιά και να μην είναι δυνατή η αναπνοή. Ο θάνατος επέρχεται σε πολύ σύντομο χρονικό διάστημα.

### 3.15 Στοιχεία ηλεκτρικής συσκευής

Κάθε συσκευή κατανάλωσης ηλεκτρικής ισχύος φέρει γραμμένα πάνω της δύο στοιχεία. Το ένα αναφέρεται σε τάση και εκφράζεται σε Volt, το άλλο αναφέρεται σε ισχύ και εκφράζεται σε Watt. Τα στοιχεία αυτά τα δίνει ο κατασκευαστής και αναφέρονται σε συνθήκες κανονικής λειτουργίας της συσκευής. Η αναγραφόμενη τάση ονομάζεται **τάση κανονικής λειτουργίας** και είναι η τάση με την οποία πρέπει να τροφοδοτηθεί η συσκευή, για να λειτουργεί κανονικά. Αν η συσκευή τροφοδοτηθεί με τάση μικρότερη από την κανονική, θα υπολειτουργεί. Αυτό σημαίνει ότι οι αποδόσεις της δε θα είναι οι αναμενόμενες. Αν τροφοδοτηθεί με τάση μεγαλύτερη από την κανονική, υπάρχει σοβαρός κίνδυνος καταστροφής. Η αναγραφόμενη ισχύς ονομάζεται **ισχύς κανονικής λειτουργίας** και εκφράζει την ισχύ που θα καταναλώνει η συσκευή, αν τροφοδοτηθεί με την τάση κανονικής λειτουργίας.

Αν, για παράδειγμα, σε μία κανονική λάμπα πυράκτωσης δείτε να αναγράφονται τα στοιχεία 220V, 75W, θα καταλάβετε ότι, για να λειτουργήσει η λάμπα σε συνθήκες πλήρους απόδοσης, πρέπει να τροφοδοτηθεί από τάση 220V. Στην περίπτωση αυτή η ισχύς που θα “καταναλώνει” η λάμπα θα είναι 75W, πράγμα που σημαίνει ότι σε κάθε δευτερόλεπτο θα καταναλώνει ηλεκτρική ενέργεια 75 J.

#### Παρατήρηση

Αν γνωρίζετε τα στοιχεία κανονικής λειτουργίας μιας συσκευής  $V_{\text{καν}}$  και  $P_{\text{καν}}$ , μπορείτε να υπολογίσετε και την ένταση του ρεύματος κανονικής λειτουργίας και την αντίσταση της συσκευής στις κανονικές συνθήκες λειτουργίας (εάν πρόκειται για απλό ωμικό καταναλωτή).

Έτσι, στο προηγούμενο παράδειγμα η ένταση του ρεύματος κανονικής λειτουργίας θα είναι  $I_{\text{καν}} = P_{\text{καν}} / V_{\text{καν}} = 75 / 220 = 0,34 \text{ A}$ . Μπορούμε ακόμα να υπολογίσουμε και την αντίσταση της συσκευής σε συνθήκες κανονικής λειτουργίας από τη σχέση  $R = V / I = 220 / 0,34 = 650 \Omega$ .

Στον πίνακα φαίνονται τα κανονικά στοιχεία λειτουργίας για μερικές συσκευές καθημερινής χρήσης. Οι τιμές ισχύος και τάσης που αναφέρονται στη δεύτερη και στην τρίτη στήλη, αναγράφονται πάνω στις συσκευές. Οι τιμές που αναφέρονται στην τέταρτη και πέμπτη στήλη έχουν υπολογιστεί από τις τιμές των δύο προηγούμενων στηλών.

Να παρατηρήσετε ότι, με εξαίρεση τον ηλεκτρονικό υπολογιστή, για όλα τα άλλα όργανα η κανονική τάση λειτουργίας είναι 220V. Αυτό, βέβαια, δεν μπορεί να είναι τυχαίο. Σε αυτό το σημείο θα επανέλθουμε αργότερα, όταν θα εξετάσουμε τον τρόπο κατανομής της ηλεκτρικής ισχύος στους διάφορους καταναλωτές.

Συσκευή	ΠΙΝΑΚΑΣ			
	Ισχύς (kW)	Τάση (V)	Ένταση (A)	Αντίσταση (Ω)
Μεγάλη ισχύς				
Συσσωρευτής θερμότητας	2,0	220	8,7	26,0
Ηλεκτρική κουζίνα	14,0	220	61,0	0,24
Φούρνος μικροκυμάτων	0,65	220	2,8	82,0
Ηλεκτρική θερμάστρα	3,0	220	13,0	18,0
Μέση ισχύς				
Ηλεκτρική θερμάστρα	1,0	220	4,3	53,0
Ηλεκτρικό μπρίκι	2,0	220	8,7	26,0
Στεγνωτήρας μαλλιών	1,0	220	4,3	53,0
Τοστιέρα	0,9	220	3,9	59,0
Ηλεκτρικό σίδερο	1,0	220	4,3	53,0
Ηλεκτρικό τρυπάνι	0,3	220	1,3	177,0
Χαμηλή ισχύς				
Ηλεκτρικό ψυγείο	0,120	220	0,50	460,0
Λαμπτήρας	0,060	220	0,30	767,0
	0,020	220	0,09	2560,0
Κασετόφωνο	0,012	220	0,05	4600,0
Υπολογιστής	0,005	6	0,08	75,0

### Δραστηριότητα

Η δραστηριότητα αυτή να γίνει στις 12 το μεσημέρι. Να καταγράψετε την ισχύ των ηλεκτρικών συσκευών που είναι σε λειτουργία αυτή τη στιγμή. Να υπολογίσετε την ολική ισχύ που καταναλώνετε. Να βρείτε έναν πρόσφατο λογαριασμό της ΔΕΗ και να διαβάσετε την τιμή του 1 kWh που χρεώνει η ΔΕΗ.

1. Να υπολογίσετε το κόστος λειτουργίας των παραπάνω συσκευών για μία ώρα.
2. Να υπολογίσετε το κόστος ταυτόχρονης λειτουργίας όλων των ηλεκτρικών συσκευών που έχετε στο σπίτι σας για χρονικό διάστημα ενός μηνός.

Να κάνετε **λογικές υποθέσεις για το χρόνο λειτουργίας των οργάνων.**

**ΠΡΟΣΟΧΗ** : Να καταγράψετε τις τιμές των μεγεθών κανονικής λειτουργίας των συσκευών, όταν οι συσκευές είναι εκτός λειτουργίας. Εάν δεν το κάνετε αυτό, **υπάρχει κίνδυνος ατυχήματος.**

### Παράδειγμα 1

Λάμπα πυράκτωσης έχει γραμμένα πάνω της τα στοιχεία 220Volt, 75W.

1. Τι σημαίνουν αυτά τα στοιχεία;
2. Να υπολογίσετε την ένταση του ρεύματος κανονικής λειτουργίας της λάμπας και την αντίσταση του σύρματός της στις συνθήκες λειτουργίας

3. Να υπολογίσετε το θερμικό συντελεστή αντίστασης του σύρματος της λάμπας. Η θερμοκρασία κανονικής λειτουργίας της λάμπας είναι  $\theta = 2000^\circ\text{C}$  και η αντίσταση του σύρματος “εν ψυχρώ” είναι 10 φορές μικρότερη από την αντίστασή του κατά τη λειτουργία του.

### Λύση

- Η ένδειξη 220V σημαίνει ότι, για να λειτουργήσει κανονικά ο λαμπτήρας, πρέπει να τροφοδοτηθεί με τάση 220V. Η ένδειξη 75W σημαίνει ότι αν τροφοδοτηθεί με την κανονική τάση λειτουργίας των 220V, θα καταναλώνει ισχύ 75W.
- Η ένταση του ρεύματος κανονικής λειτουργίας θα υπολογιστεί με χρησιμοποίηση του νόμου του Ohm από τα δύο προηγούμενα στοιχεία κανονικής λειτουργίας.  $I_{\text{καν}} = P / V = 75 / 220 = 0,34\text{A}$ .  
Η αντίσταση του σύρματος του λαμπτήρα είναι  $R = V_{\text{καν}} / I_{\text{καν}} = 220 / 0,34 = 647\Omega$ .
- Από τη σχέση  $R_\theta = R_0 (1 + \alpha\theta)$  έχουμε  $10R_0 = R_0 (1 + \alpha\theta)$  και  $\alpha\theta = 9$ . Από αυτήν έχουμε  $\alpha = 1/\theta = 9/2000^\circ\text{C} = 4,5 \times 10^{-3}^\circ\text{C}^{-1}$

## 3.16 Στοιχεία ηλεκτρικής πηγής

Είδαμε στην παράγραφο (3.2) ότι οι ηλεκτρικές πηγές είναι ενεργητικά στοιχεία, τα οποία μετατρέπουν ενέργεια κάποιας μορφής σε ηλεκτρική ενέργεια. Εκεί αναφέρθηκαν δύο είδη ηλεκτρικών πηγών.

### A. Ηλεκτροχημικές πηγές

Σε αυτές έχουμε μετατροπή χημικής ενέργειας σε ηλεκτρική ενέργεια. Διακρίνονται σε **ηλεκτρικά στοιχεία** και σε **συσσωρευτές** (μπαταρίες). Τα ηλεκτρικά στοιχεία όταν εξαντλήσουν την αποθηκευμένη ενέργεια, είναι άχρηστα και αντικαθίστανται. Οι συσσωρευτές επαναφορτίζονται.

### B. Γεννήτριες

Σε αυτές έχουμε μετατροπή μηχανικής ενέργειας σε ηλεκτρική

Κάθε ηλεκτρική πηγή, ανεξάρτητα από το είδος της, χαρακτηρίζεται από δύο μεγέθη, τα οποία κατά κάποιο τρόπο αποτελούν τα στοιχεία ταυτότητας της πηγής. Το ένα από αυτά προσδιορίζει τη δυνατότητα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και ονομάζεται **ηλεκτρεγερτική δύναμη E** (ΗΕΔ) της πηγής. Το άλλο εκφράζει την ωμική αντίσταση της πηγής και ονομάζεται **εσωτερική αντίσταση r** της πηγής.

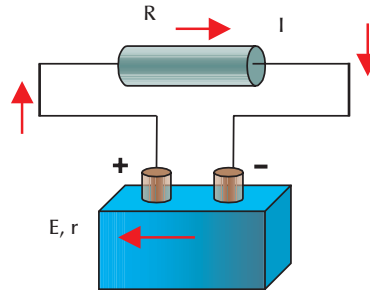
### A. Ηλεκτρεγερτική δύναμη E

Στο εικονα 22 έχουμε ένα απλό κύκλωμα, που αποτελείται από μία ηλεκτρική πηγή και από έναν αντιστάτη με αντίσταση R. Όταν κλείσουμε το διακόπτη, από το κύκλωμα περνά ρεύμα έντασης I. Στο κύκλωμα έχει σχεδιαστεί η (συμβολο-

τική) φορά του ρεύματος. Θα υποθέσουμε ότι στο κύκλωμα κινούνται υποθετικά θετικά φορτία (αυτό, άλλωστε, σημαίνει η συμβατική φορά).

Παρατηρούμε ότι τα θετικά φορτία κινούνται μέσα στην πηγή από το χαμηλό δυναμικό (αρνητικός πόλος) προς το υψηλό δυναμικό (θετικός πόλος). Έχουμε πει ότι θετικά φορτία κινούνται αυτόματα από υψηλά δυναμικά προς χαμηλά και ότι στην κίνησή τους αυτή αποδίδουν ενέργεια. Στην περίπτωση της πηγής παρατηρούμε ότι αναγκάζονται να κινηθούν μέσα από αυτήν, αντίθετα από το κανονικό. Αυτό σημαίνει ότι η πηγή πρέπει να τους προσφέρει ενέργεια (όπως ακριβώς για να σηκώσουμε μια πέτρα από το έδαφος, πρέπει να της προσφέρουμε ενέργεια).

Ας υποθέσουμε ότι μέσα σε κάποιο χρονικό διάστημα διακινείται από τον αρνητικό προς το θετικό πόλο της πηγής ποσότητα φορτίου  $q$ . Ας ονομάσουμε  $W$  την ενέργεια που προσέφερε η πηγή στο φορτίο  $q$  γι' αυτή την μετακίνηση.



Εικ. 22

Ονομάζουμε **ηλεκτρεγερτική δύναμη  $E$**  της πηγής το σταθερό πηλίκο της ενέργειας  $W$ , που προσέφερε η πηγή σε φορτίο  $q$  για τη μεταφορά του από τον αρνητικό προς το θετικό πόλο με το φορτίο  $q$ .

$$E = \frac{W}{q} \quad (3.27)$$

Στη σχέση (3.27) ας διαιρέσουμε αριθμητή και παρονομαστή με το χρονικό διάστημα  $t$ , που χρειάστηκε για τη διακίνηση του φορτίου  $q$  ανάμεσα στους πόλους της πηγής. Θα έχουμε:

$$E = \frac{W/t}{q/t} = \frac{P}{I} \quad (3.28)$$

Ο τύπος (3.28) μας επιτρέπει να δώσουμε και έναν άλλο τρόπο ορισμού της ΗΕΔ  $E$ .

Η ηλεκτρεγερτική δύναμη  $E$  μιας πηγής είναι το σταθερό πηλίκο της ηλεκτρικής ισχύος που παρέχει η πηγή και της αντίστοιχης τιμής της έντασης του ρεύματος.

$$E = \frac{P}{I} \quad (3.29)$$

Από τους τύπους (3.27) και (3.29) προκύπτει ότι η μονάδα της ΗΕΔ στο SI είναι :

$$1 \frac{J}{C} = 1 \frac{W}{A} = 1 \text{ Volt}$$

Ας πούμε ότι έχουμε μια πηγή με ηλεκτρεγερτική δύναμη 2 Volt. Τι σημαίνει αυτό; Σημαίνει ότι η πηγή αυτή πρέπει να δώσει ενέργεια 2 Joule σε κάθε Coulomb θετικού φορτίου που μετακινεί από τον αρνητικό πόλο προς το θετικό πόλο.

### Παρατηρήσεις

1. Η ΗΕΔ μιας πηγής είναι βαθμωτό μέγεθος, όπως, άλλωστε, αναμένεται ως πηλίκο δύο βαθμωτών μεγεθών. Παρ' όλα αυτά πολλές φορές τη συμβολίζουμε με ένα μικρό βελάκι πάνω από την πηγή, που έχει πάντοτε φορά από τον αρνητικό πόλο προς το θετικό. Η έννοια του βέλους είναι ότι προσδιορίζει τη φορά του ρεύματος που θα δημιουργούσε η πηγή σε ένα κύκλωμα, εάν ήταν μόνη της.
2. Μη σας επηρεάσει η λέξη "δύναμη" στην ονομασία του μεγέθους  $E$ . Είναι φανερό ότι το μέγεθος αυτό δεν έχει καμία σχέση με τη γνωστή σας δύναμη.
3. Να προσέξετε ότι στους ορισμούς της  $E$  χρησιμοποιήθηκε η έκφραση "σταθερό πηλίκο". Αυτό σημαίνει ότι το μέγεθος  $E$  είναι χαρακτηριστικό της πηγής και δεν εξαρτάται ούτε από την ένταση  $I$  (ή την ενέργεια  $W$ ) ούτε από την ένταση  $I$  (ή το φορτίο  $q$ ), που διαρρέει ένα κύκλωμα. Δηλαδή, αν διπλασιαστεί ή ένταση του ρεύματος, θα διπλασιαστεί και η ηλεκτρική ισχύς, ώστε το πηλίκο τους να παραμένει σταθερό.

### Β. Εσωτερική αντίσταση

Κάθε ηλεκτρική πηγή αποτελείται από υλικά μέσα από τα οποία θα περάσει το ηλεκτρικό ρεύμα. Γνωρίζουμε ότι η ύλη παρουσιάζει αντίσταση στο πέρασμα του ηλεκτρικού ρεύματος. Το ίδιο συμβαίνει με κάθε ηλεκτρική πηγή. Η ωμική αντίσταση κάθε πηγής, λόγω της δομής της, ονομάζεται εσωτερική αντίσταση  $r$  της πηγής. Φαίνεται παράξενο για μια ηλεκτρική πηγή το ότι είναι ενεργητικό στοιχείο, που παράγει ηλεκτρική ενέργεια, και ταυτόχρονα είναι παθητικό στοιχείο με ωμική αντίσταση, που μετατρέπει ηλεκτρική ενέργεια σε θερμότητα. Το συμπέρασμα είναι ότι αν χρησιμοποιήσετε μια ηλεκτρική πηγή, για να τροφοδοτήσετε ένα άλλο στοιχείο με ηλεκτρική ενέργεια, δε θα μπορέσετε να αξιοποιήσετε το σύνολο της ενέργειας που παράγει η πηγή αλλά μόνο εκείνο το μέρος της που περισσεύει, αν από τη συνολική ενέργεια αφαιρέσετε εκείνη που στο εσωτερικό της μετατρέπεται σε θερμότητα εξαιτίας της εσωτερικής ωμικής της αντίστασης  $r$ . Είναι φανερό, λοιπόν, ότι αν θέλουμε η πηγή να αποδίδει σε άλλα στοιχεία όσο γίνεται μεγαλύτερο ποσοστό από την ηλεκτρική ενέργεια που παράγει, πρέπει η εσωτερική της αντίσταση να είναι όσο το δυνατόν μικρότερη. Μερικές φορές πραγματοποιείται μία "αφαίρεση", και δεχόμαστε ότι μια πηγή δεν έχει εσωτερική αντίσταση. Αυτό γίνεται, κυρίως, για να απλοποιηθούν οι υπολογισμοί. Στην περίπτωση αυτή η πηγή χαρακτηρίζεται ως **ιδανική**.

### 3.17 Νόμος του Ohm σε κλειστό κύκλωμα

Ένα από τα βασικά ζητούμενα στα ηλεκτρικά κυκλώματα είναι η γνώση των ρευμάτων που διαρρέουν τα διάφορα τμήματα και ο υπολογισμός της τάσης στα άκρα των διάφορων στοιχείων του κυκλώματος. Γενικά, το θέμα είναι πολύπλοκο και χρειάζονται προχωρημένες γνώσεις ηλεκτρισμού. Στην περίπτωση απλών κυκλωμάτων μπορούμε να το αντιμετωπίσουμε με τις βασικές γνώσεις που διαθέτουμε.

Στην εικόνα 23 φαίνεται μια ηλεκτρική πηγή, που τροφοδοτεί έναν αντιστάτη αντίστασης  $R$ . Η ΗΕΔ της πηγής είναι  $E$  και η εσωτερική της αντίσταση  $r$ .

Θα προσπαθήσουμε να υπολογίσουμε την ένταση του ρεύματος, χρησιμοποιώντας την αρχή διατήρησης της ενέργειας. Ο παράγων ο οποίος παρέχει ενέργεια στο κύκλωμα είναι η πηγή. Η ενέργεια που παρέχει σε χρονικό διάστημα  $t$  είναι :

$$W_{\text{πηγής}} = E I t \quad (3.30)$$

Η ηλεκτρική ενέργεια την οποία θα καταναλώσει ο αντιστάτης και θα την μετατρέψει σε θερμότητα στο ίδιο χρονικό διάστημα είναι:

$$W_R = I^2 R t \quad (3.31)$$

Στο ίδιο χρονικό διάστημα θα καταναλώσει ηλεκτρική ενέργεια και η ίδια η πηγή, λόγω της εσωτερικής της αντίστασης και θα τη μετατρέψει σε θερμότητα:

$$W_r = I^2 r t \quad (3.32)$$

Επειδή προφανώς :

$$W_{\text{πηγής}} = W_R + W_r$$

προκύπτει:

$$E I t = I^2 R t + I^2 r t$$

Από την τελευταία έχουμε τελικά:

$$E = I(R + r) \quad (3.33)$$

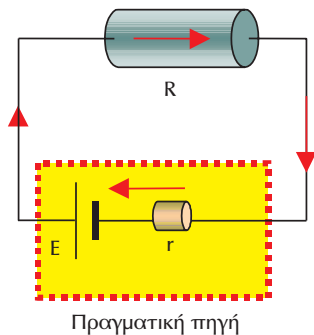
Η σχέση (3.33) αποτελεί τον νόμο του Ohm για ένα απλό κύκλωμα, που περιέχει μία πηγή και μία αντίσταση. Πολλές φορές η σχέση (3.33) γράφεται λυμένη ως προς  $I$

$$I = \frac{E}{R + r} \quad (3.34)$$

Στην περίπτωση που το κύκλωμα περιλαμβάνει περισσότερους από έναν αντιστάτες η σχέση (3.34) γράφεται:

$$I = \frac{E}{R_{\text{ισοδ}} + r} \quad (3.35)$$

όπου  $R_{\text{ισοδ}}$  η ισοδύναμη αντίσταση αυτών των αντιστατών.

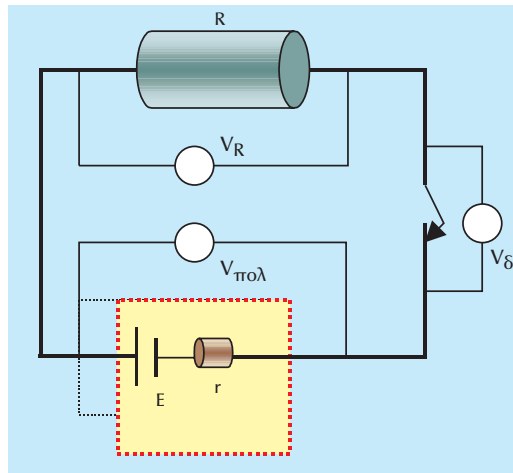


Εικ. 23



### 3.18 Πολική τάση πηγής

Στο κύκλωμα της εικόνας 24 έχουμε πάλι μια ηλεκτρική πηγή με στοιχεία  $E$  και  $r$ , που τροφοδοτεί έναν αντιστάτη αντίστασης  $R$ . Στο κύκλωμα έχει τοποθετηθεί σε σειρά ένα αμπερόμετρο, που μετρά την ένταση του ρεύματος. Έχουμε ακόμα χρησιμοποιήσει τρία βολτόμετρα, που τα έχουμε συνδέσει στους πόλους της πηγής, στα άκρα του αντιστάτη και στα άκρα του διακόπτη  $\delta$ . Υποθέτουμε ότι τα καλώδια σύνδεσης έχουν μηδενική αντίσταση. Μηδενική αντίσταση υποθέτουμε, επίσης, ότι έχει και το αμπερόμετρο. Για τα τρία βολτόμετρα υποθέτουμε ότι έχουν “άπειρη” αντίσταση (ώστε να μη διαρρέονται από ρεύμα).



Εικ. 24

Το βολτόμετρο που είναι συνδεδεμένο στους πόλους της πηγής μετρά τη διαφορά δυναμικού των πόλων της. Αυτή η διαφορά δυναμικού ονομάζεται **πολική τάση** της πηγής. Ο στόχος μας είναι να καταλήξουμε σε μια εξίσωση, με τη βοήθεια της οποίας θα υπολογίζουμε την πολική τάση της πηγής.

Η σχέση (3.33) γράφεται :

$$E = IR + Ir \quad (3.36)$$

Ο θετικός πόλος της πηγής και το άκρο  $\alpha$  του αντιστάτη έχουν το ίδιο δυναμικό (αφού το καλώδιο ένωσης δεν έχει αντίσταση που θα δημιουργούσε διαφορά δυναμικού). Το ίδιο ισχύει και για τον αρνητικό πόλο της πηγής και για το άκρο  $\beta$  του αντιστάτη. Αυτό σημαίνει ότι η πολική τάση της πηγής ισούται με την τάση  $V_{\alpha\beta}$  στα άκρα του αντιστάτη. Η τάση στα άκρα του αντιστάτη είναι (σύμφωνα με το νόμο του Ohm) :

$$V_{\alpha\beta} = IR$$

Λόγω της τελευταίας, η εξίσωση (3.36) γράφεται :

$$E = V_{\text{πολ}} + Ir \quad (3.37)$$

όπου  $V_{\text{πολ}}$  η πολική τάση της πηγής.

Αν λύσουμε την εξ. (3.37) ως προς την πολική τάση, θα έχουμε:

$$V_{\text{πολ}} = E - Ir \quad (3.38)$$

#### Παρατηρήσεις

1. Αν η πηγή δε διαρρέεται από ρεύμα (διακόπτης ανοιχτός, οπότε  $I=0$ ), η ένδειξη του αμπερόμετρου θα ήταν μηδέν. Η ένδειξη, όμως, του βολτόμετρου θα ήταν ακριβώς ίση με την ΗΕΔ της πηγής. Από αυτό το γεγονός ξεκινώντας



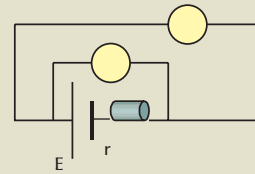
μπορούμε να πούμε ότι η ΗΕΔ της πηγής ισούται με την πολική τάση της σε ανοικτό κύκλωμα

2. Αν η πηγή ήταν ιδανική (εσωτερική αντίσταση  $r=0$ ), πάλι η πολική τάση της θα ήταν ίση με μηδέν.

Η σχέση (3.38) μας λέει κάτι πολύ σημαντικό : η πολική τάση μιας πηγής δεν είναι σταθερό χαρακτηριστικό μέγεθος της πηγής. Αυτό είναι εύκολο να κατανοηθεί, αν μελετήσουμε τη σχέση (3.38), σύμφωνα με την οποία η πολική τάση της πηγής εξαρτάται από την ένταση του ρεύματος  $I$ , που διαρρέει το κύκλωμα. Από την άλλη πλευρά η σχέση (3.33) μας λέει ότι η ένταση του ρεύματος εξαρτάται από την ισοδύναμη αντίσταση των αντιστατών του εξωτερικού κυκλώματος και μάλιστα ότι όσο αυτή αυξάνεται τόσο η ένταση του ρεύματος μειώνεται, με αποτέλεσμα να αυξάνεται η πολική τάση της πηγής, όπως φαίνεται από τη εξίσωση. (3.38). Αντίθετα, αν η ισοδύναμη αντίσταση των εξωτερικών αντιστατών μειώνεται, η ένταση του ρεύματος θα αυξάνεται, με αποτέλεσμα να μειώνεται η πολική τάση της πηγής, όπως φαίνεται από την ίδια εξίσωση (38)

#### ΣΚΕΦΤΕΙΤΕ

Τα στοιχεία μιας πηγής είναι  $E$ ,  $r$ . Ενώνουμε τους πόλους της πηγής με αγωγό ασημαντής αντίστασης, όπως φαίνεται στο απέναντι σχήμα. Ποιες θα είναι οι ενδείξεις των οργάνων:



#### Παράδειγμα 9

Πηγή με στοιχεία  $E = 20\text{V}$  και  $r = 2\Omega$  συνδέεται με αντιστάτη, που έχει αντίσταση  $R = 18\Omega$ . Να υπολογίσετε:

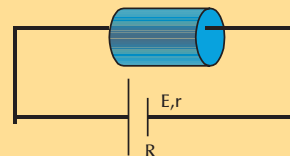
1. Την ένταση του ρεύματος που διαρρέει το κύκλωμα.
2. Την τάση στα άκρα του αντιστάτη.
3. Την πολική τάση της πηγής. Τι παρατηρείτε;
4. Την ηλεκτρική ισχύ της πηγής.
5. Τη θερμική ισχύ που δαπανάται στην πηγή.
6. Τη θερμική ισχύ που δαπανάται στον αντιστάτη.

#### Λύση

1. Η ένταση του ρεύματος που διαρρέει το κύκλωμα θα υπολογιστεί από τη σχέση :

$$I = \frac{E}{R+r} \quad \text{Με αντικατάσταση έχουμε:}$$

$$I = \frac{20}{18+2} = 1\text{A}$$



2. Η τάση στα άκρα του αντιστάτη θα υπολογιστεί από τον νόμο του Ohm  
 $V_R = IR = 1A \times 18\Omega = 18V$
3. Η πολική τάση της πηγής θα υπολογιστεί από τη σχέση  $V_{\text{πολ}} = E - Ir$  Με αντικατάσταση έχουμε:  $V_{\text{πολ}} = 20 - 1 \times 2 = 18V$ . Παρατηρούμε ότι η πολική τάση της πηγής ισούται με την τάση στα άκρα του αντιστάτη, πράγμα αναμενόμενο, αφού τα καλώδια σύνδεσης θεωρούνται χωρίς αντίσταση.
4. Η ηλεκτρική ισχύς της πηγής θα υπολογιστεί από τη σχέση:  $P = EI$ . Με αντικατάσταση έχουμε  $P = 20 \times 1 = 20W$ .
5. Η θερμική ισχύς που δαπανάται στην πηγή είναι  $P_r = I^2 r$ . Με αντικατάσταση έχουμε  $P_r = 1^2 \times 2 = 2W$ .
6. Η θερμική ισχύς που δαπανάται στον αντιστάτη είναι  $P_R = I^2 R$ . Με αντικατάσταση έχουμε:  $P_R = 1^2 \times 18 = 18W$ .

### Παράδειγμα 10

Ηλεκτρική πηγή με στοιχεία  $E = 100V$  και  $r = 5\Omega$  τροφοδοτεί σε σειρά δύο αντιστάτες με τιμές αντίστασης  $R_1 = 15\Omega$  και  $R_2 = 30\Omega$ . Να υπολογίσετε:

1. Την ένταση του ρεύματος που διαρρέει το κύκλωμα.
2. Την πολική τάση της πηγής.
3. Τις τάσεις στα άκρα των αντιστατών. Τι παρατηρείτε ;
4. Την ηλεκτρική ισχύ της πηγής.
5. Τη θερμική ισχύ που δαπανάται στην πηγή..
6. Την ισχύ που παρέχει η πηγή στο υπόλοιπο κύκλωμα
7. Τις ισχύες που δαπανώνται στις αντιστάσεις. Τι παρατηρείτε.;
8. Το ποσοστό της ηλεκτρικής ισχύος που παρέχει η πηγή στο υπόλοιπο κύκλωμα.

### Λύση

1. Η ένταση του ρεύματος θα υπολογιστεί από την εξίσωση  $I = \frac{E}{R_1 + R_2 + r}$   
 Με αντικατάσταση έχουμε:  $I = \frac{100}{15 + 30 + 5} = 2A$

2. Η πολική τάση της πηγής  
 θα υπολογιστεί από τη σχέση:  $V_{\text{πολ}} = E - Ir$   
 Με αντικατάσταση έχουμε:  $V_{\text{πολ}} = 100 - 2 \times 5 = 90V$ .

3. Οι τάσεις στα άκρα των αντιστατών είναι  $V_{R1} = I R_1$   $V_{R2} = I R_2$

Με αντικατάσταση έχουμε:  $V_{R1} = 2 \times 15 = 30V$  .  $V_{R2} = 2 \times 30 = 60V$

Παρατηρούμε ότι το άθροισμα των τάσεων των αντιστατών ισούται με την πολική τάση της πηγής.

4. Η ηλεκτρική ισχύς της πηγής δίνεται από τη σχέση  $P_{\eta\lambda} = EI$ . Με αντικατάσταση έχουμε:  $P_{\eta\lambda} = 100 \times 2 = 200W$  .
5. Η θερμική ισχύς που δαπανάται στην πηγή δίνεται από τη σχέση  $P_r = I^2 r$

Με αντικατάσταση έχουμε:  $P_r = 4 \times 5 = 20W$ .

6. Η ισχύς που παρέχει η πηγή στο υπόλοιπο κύκλωμα (ας την λέμε “ισχύς εξόδου”  $P_{εξ}$ ) θα είναι η διαφορά της ηλεκτρικής ισχύος της πηγής και της θερμικής ισχύος που δαπανάται στην πηγή.  $P_{εξ} = P_{ηλ} - P_r = 200 - 20 = 180W$

Η ισχύς εξόδου της πηγής μπορεί να υπολογιστεί και από τη σχέση :

$$P_{εξ} = V_{πολ} I.$$

Πραγματικά  $P_{εξ} = 90 \times 2 = 180W$ .

7. Οι ισχύες που δαπανώνται στις δύο αντιστάσεις δίνονται από τις σχέσεις

$$P_{R1} = I^2 \times R_1 \quad P_{R2} = I^2 \times R_2.$$

Με αντικατάσταση έχουμε:  $P_{R1} = 4 \times 15 = 60W$   $P_{R2} = 4 \times 30 = 120W$

Παρατηρούμε ότι η ισχύς εξόδου της πηγής ισούται με το άθροισμα των ισχύων που δαπανώνται στις αντιστάσεις.

8. Το ζητούμενο ποσοστό ( που ονομάζεται και “απόδοση” της πηγής) θα

υπολογιστεί από τη σχέση  $\alpha = \frac{P_{εξ}}{P_{ηλ}}$ . Με αντικατάσταση έχουμε

$$\alpha = \frac{180}{200} = 90\%$$

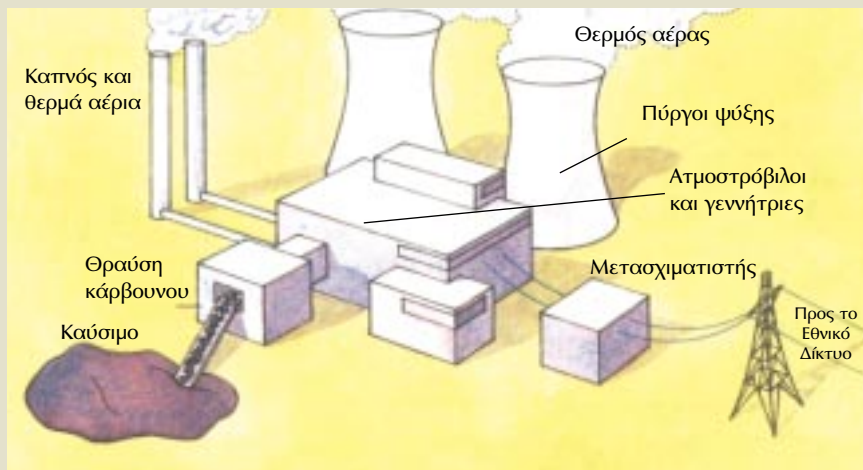
## ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΚΑΙ ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Στην απέναντι εικόνα φαίνεται ένα εργοστάσιο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που χρησιμοποιεί ως πρώτη ύλη το κάρβουνο. Να παρατηρήσετε την τεράστια ποσότητα από κάρβουνο που φαίνεται σε πρώτο πλάνο. Οι τεράστιες καμινάδες χρησιμεύουν στην ψύξη του ατμού, καθώς βγαίνει από την τουρμπίνα.



Όταν καίγεται κάρβουνο, απελευθερώνεται ενέργεια. Αυτή η ενέργεια χρησιμοποιείται για το βρασμό νερού και στη συνέχεια για την άνοδο της θερμοκρασίας του ατμού. Ο πολύ θερμός ατμός έχει πολύ υψηλή πίεση και οδηγείται στα πτερύγια ατμοστρόβιλου, τον οποίο αναγκάζει να περιστρέφεται. Ο ατμός, φεύγοντας από τον υδροστρόβιλο, έχει μικρότερη ενέργεια και χαμηλότερη θερμοκρασία, όχι όμως τόσο χαμηλή, ώστε να ξαναγίνει νερό. Ο στρεφό-

μενος υδροστρόβιλος μεταδίδει περιστροφική κίνηση στα πηνία μεγάλων ηλεκτρομαγνητών. Καθώς τα πηνία περιστρέφονται μέσα σε ισχυρά μαγνητικά πεδία, δημιουργείται υψηλή τάση, που παράγει ρεύμα, το οποίο τροφοδοτεί το Εθνικό Δίκτυο και στη συνέχεια μεταφέρεται όπου χρειάζεται.



Το τελικό ερώτημά σας πρέπει να αφορά τον τρόπο μεταφοράς και αξιοποίησης της ηλεκτρικής ενέργειας. Το επόμενο διάγραμμα δείχνει την "πορεία" της ηλεκτρικής ενέργειας από τον τόπο παραγωγής στον τόπο κατανάλωσης.

