

## (2.7) Ενέργεια και ισχύς του ηλεκτρικού ρεύματος

### Ενέργεια του ηλεκτρικού ρεύματος

Για τη λειτουργία των ηλεκτρικών συσκευών απαιτείται ενέργεια, η οποία προσφέρεται από την πηγή. Η ενέργεια αυτή λέγεται **ηλεκτρική ενέργεια** ή **ενέργεια του ηλεκτρικού ρεύματος**.

Θεωρούμε ένα τμήμα κυκλώματος AB (εικ. 38), το οποίο περιλαμβάνει μια συσκευή, που μπορεί να είναι αντιστάτης, ηλεκτρικός λαμπτήρας, ανεμιστήρας, ραδιόφωνο κ.ά.

Στα άκρα της συσκευής AB υπάρχει τάση  $V = V_A - V_B$  και η συσκευή διαρρέεται από συνεχές ρεύμα σταθερής έντασης  $I$ .

Έστω ότι σε χρόνο  $t$  μετακινείται ηλεκτρικό φορτίο  $q$  από το A στο B. Στην πραγματικότητα, όπως ξέρουμε, τα ελεύθερα ηλεκτρόνια κινούνται αντίθετα. Από τον ορισμό της έντασης του ηλεκτρικού ρεύματος έχουμε:

$$I = \frac{q}{t} \Rightarrow q = I \cdot t$$

Αν  $V_A$  είναι το δυναμικό του άκρου A και  $V_B$  το δυναμικό του άκρου B, τότε το φορτίο  $q$  έχει στο άκρο A δυναμική ενέργεια  $U_A = q \cdot V_A$  και στο άκρο B δυναμική ενέργεια  $U_B = q \cdot V_B$ . Επειδή είναι  $V_A > V_B$  θα είναι και  $U_A > U_B$ , δηλαδή **η δυναμική ενέργεια του φορτίου  $q$  ελαττώνεται καθώς περνά μέσα από τη συσκευή.**

Από την αρχή διατήρησης της ενέργειας συμπεραίνουμε ότι **η μείωση της δυναμικής ενέργειας του φορτίου  $q$  αποδίδεται στη συσκευή και μετατρέπεται σε άλλες μορφές ενέργειας**, όπως κινητική (αν η συσκευή είναι κινητήρας), χημική (αν η συσκευή είναι βολτάμετρο (συσκευή ηλεκτρόλυσης)), θερμική (αν η συσκευή είναι αντιστάτης), κ.ά.

Η μείωση της δυναμικής ενέργειας του φορτίου  $q$  είναι ίση με την ηλεκτρική ενέργεια που προσφέρεται από την πηγή.

Άρα, η ενέργεια που αποδίδεται στη συσκευή σε χρόνο  $t$ , είναι:

$$W = U_A - U_B \Rightarrow W = qV_A - qV_B$$

$$\text{ή } W = q(V_A - V_B) \Rightarrow W = q \cdot V \Rightarrow$$

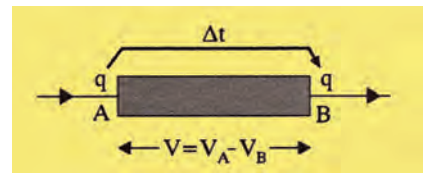
$$W = V \cdot I \cdot t \quad (17)$$

**Ο παραπάνω τύπος είναι γενικός και ισχύει για κάθε συσκευή** (κινητήρας, βολτάμετρο αντιστάτης κ.ά.).

**Αν η συσκευή είναι αντιστάτης** (ωμική αντίσταση), τότε ισχύει ο νόμος του Ohm ( $I = V/R$ ) και μπορούμε να γράψουμε ισοδύναμα ότι:

$$\xrightarrow{V=IR} W = I^2 \cdot R \cdot t \quad (18)$$

$$W = V \cdot I \cdot t \quad \xrightarrow{I=V/R} W = \frac{V^2}{R} t \quad (19)$$



Συσκευή.

Εικόνα 2.7-38.

Στο διεθνές σύστημα μονάδων (S.I.) η μονάδα μέτρησης της ηλεκτρικής ενέργειας είναι το 1J (Joule).

**Ισχύς του ηλεκτρικού ρεύματος**

Τις περισσότερες φορές για τη λειτουργία των συσκευών δε μας ενδιαφέρει μόνο η ποσότητα της ηλεκτρικής ενέργειας που προσφέρεται, αλλά και σε πόσο χρόνο γίνεται αυτό, δηλαδή ο ρυθμός προσφοράς της ηλεκτρικής ενέργειας.

Θεωρούμε την περίπτωση μιας συσκευής (εικ. 39), στην οποία προσφέρεται ίδια ποσότητα ενέργειας σε ίσους χρόνους. Στην περίπτωση αυτή ορίζουμε ως **ισχύ του ηλεκτρικού ρεύματος** ή **ηλεκτρική ισχύ το πηλίκο της ηλεκτρικής ενέργειας που προσφέρεται σε χρόνο t, προς το χρόνο t.**

Δηλαδή:

$$P = \frac{W}{t} \tag{20}$$

Στο διεθνές σύστημα μονάδων (S.I.) η μονάδα μέτρησης της ηλεκτρικής ισχύος είναι το 1W (Watt).

$$\text{Είναι: } 1W = 1 \frac{J}{s} \text{ ή } \left( 1Watt = \frac{1Joule}{1second} \right)$$

**1W είναι η ηλεκτρική ισχύς, όταν η προσφερόμενη ηλεκτρική ενέργεια είναι 1J, σε χρόνο 1s.**

Με βάση τον ορισμό της ηλεκτρικής ισχύος ( $P = W/t$ ) και τους τύπους που δίνουν την ηλεκτρική ενέργεια, **για κάθε συσκευή ισχύει:**

$$P = V \cdot I \tag{21}$$

**Αν η συσκευή είναι αντιστάτης** (ωμική αντίσταση), τότε ισχύει ο νόμος του Ohm, οπότε έχουμε:

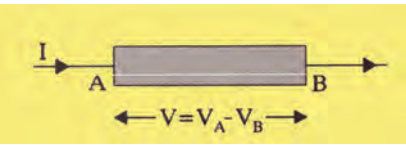
$$P = V \cdot I \xrightarrow{V=IR} W = I^2 \cdot R \tag{22}$$

$$\xrightarrow{I=V/R} W = \frac{V^2}{R} \tag{23}$$

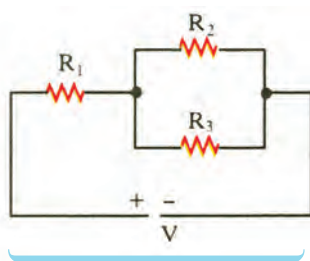
**Παράδειγμα 8**

Η ισχύς στην αντίσταση  $R_2$  είναι  $P_2 = 300W$ . Αν  $R_1 = 3\Omega$ ,  $R_2 = 3\Omega$  και  $R_3 = 6\Omega$  να βρεθούν:

- α) Η ισχύς σε κάθε αντίσταση
- β) Η ισχύς στο σύστημα
- γ) Η τάση V



Συσκευή.  
Εικόνα 2.7-39.



Λύση

$$\alpha) \text{ Είναι: } P_2 = I_2^2 R_2 \Rightarrow I_2 = \sqrt{\frac{P_2}{R_2}} \Rightarrow I_2 = 10\text{A}$$

$$\text{Επίσης: } V_{2,3} = V_2 = I_2 R_2 = 30\text{V}$$

$$\text{Άρα: } I_3 = \frac{V_{2,3}}{R_3} = 5\text{A} \text{ και } I_1 = I_2 + I_3 = 15\text{A}$$

$$\text{Οπότε: } P_1 = I_1^2 R_1 = 675\text{W},$$

$$P_3 = I_3^2 R_3 = 150\text{W}$$

β) Η ισχύς στο σύστημα είναι:

$$P_{\text{ολ}} = P_1 + P_2 + P_3 = 1.125\text{W}$$

$$\text{ή } (P_{\text{ολ}} = I_2 R_{\text{ολ}} = (15\text{A})^2 \cdot 5\Omega = 1.125\text{W})$$

$$\gamma) \text{ Η τάση } V \text{ είναι: } V = I_1 R_{\text{ολ}} = I_1 \left( R_1 + \frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3} \right) \Rightarrow$$

$$V = 75\text{V}$$

**Κόστος λειτουργίας συσκευής**

Από τον ορισμό της ισχύος μιας συσκευής έχουμε:

$$P = \frac{W}{t} \Rightarrow W = P \cdot t$$

Αν στον προηγούμενο τύπο εκφράσουμε την ισχύ  $P$  σε  $W$  (Watt) και το χρόνο  $t$  σε  $s$  (sec), τότε βρίσκουμε την ενέργεια  $W$  σε  $J$  (Joule).

Αν στον προηγούμενο τύπο εκφράσουμε την ισχύ  $P$  σε  $W$  (Watt) το χρόνο  $t$  σε  $h$  (ώρες), τότε βρίσκουμε την ενέργεια  $W$  σε  $Wh$  (βατώρες).

**1Wh είναι η ενέργεια που «καταναλώνει» μια συσκευή ισχύος 1W, όταν λειτουργήσει για χρόνο 1h.**

$$\text{Είναι: } 1\text{Wh} = 1\text{W} \cdot 1\text{h} = 1\text{W} \cdot 3600\text{s} = 3600\text{J}.$$

Αν στον προηγούμενο τύπο εκφράσουμε την ισχύ  $P$  σε  $KW$  (Κιλοβατ) και το χρόνο  $t$  σε  $h$  (ώρες), τότε βρίσκουμε την ενέργεια  $W$  σε  $KWh$  (κιλοβατώρες).

**1KWh είναι η ενέργεια που «καταναλώνει» μια συσκευή ισχύος 1KW, όταν λειτουργήσει για χρόνο 1h.**

$$\text{Είναι: } 1\text{KWh} = 1\text{KW} \cdot 1\text{h} = 1000\text{W} \cdot 3600\text{s} = 3.600.000\text{J}.$$

Η **Δ.Ε.Η.** μετρά την **ενέργεια** που μας δίνει σε  $KWh$ , με κόστος περίπου  $0,1 \text{ €/KWh}$ .

Άρα, μια ηλεκτρική κουζίνα ισχύος  $P = 3000\text{W}$ , που λειτουργεί για χρόνο  $t = 2\text{h}$ , «καταναλώνει» ενέργεια:

$$W = P \cdot t = 3\text{KW} \cdot 2\text{h} = 6\text{KWh}$$

$$\text{με κόστος: } \Lambda = 6\text{KWh} \cdot 0,1 \frac{\text{€}}{\text{KWh}} = 0,6 \text{ €}.$$

## Νόμος του Joule

Όπως έχουμε πει, σ' ένα μεταλλικό αγωγό η μείωση της κινητικής ενέργειας των ελεύθερων ηλεκτρονίων, λόγω των συγκρούσεων με τα θετικά ιόντα, έχει ως συνέπεια την αύξηση της θερμοκρασίας του μεταλλικού αγωγού. Συνέπεια αυτού είναι να μεταφέρεται θερμότητα από τον αγωγό στο περιβάλλον. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται **φαινόμενο Joule**.

Αν υποθέσουμε ότι η θερμοκρασία του μεταλλικού αγωγού παραμένει σταθερή, τότε η προσφερόμενη ηλεκτρική ενέργεια στο μεταλλικό αγωγό είναι ίση με τη θερμότητα που μεταφέρεται από τον αγωγό στο περιβάλλον.

$$\text{Δηλαδή: } W = Q$$

$$\text{Όμως: } W = I^2 R t$$

$$\text{Άρα: } Q = I^2 \cdot R \cdot t \quad (21)$$

Ο Joule απέδειξε πειραματικά την τελευταία σχέση, που εκφράζει το **νόμο του Joule**, ο οποίος διατυπώνεται ως εξής:

**Το ποσό θερμότητας  $Q$  που εκλύεται σ' ένα μεταλλικό αγωγό σταθερής θερμοκρασίας είναι ανάλογο του τετραγώνου της έντασης  $I$  του ρεύματος που τον διαρρέει, ανάλογο της αντίστασής του  $R$  και ανάλογο του χρόνου  $t$  διέλευσης του ηλεκτρικού ρεύματος.**

Αν χρησιμοποιήσουμε τη σχέση  $Q = I^2 \cdot R \cdot t$  και εκφράσουμε τα μεγέθη  $I$  σε A,  $R$  σε  $\Omega$  και  $t$  σε s, τότε βρίσκουμε τη θερμότητα  $Q$  σε J.

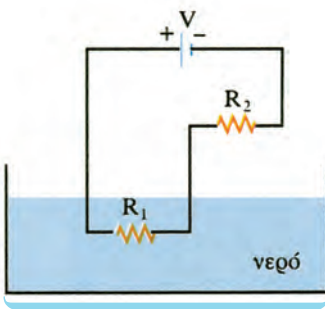
Αν χρησιμοποιήσουμε τη σχέση  $Q = \alpha \cdot I^2 \cdot R t$  και εκφράσουμε τα μεγέθη  $I$  σε A,  $R$  σε  $\Omega$  και  $t$  σε s, τότε βρίσκουμε τη θερμότητα  $Q$  σε cal. Ο συντελεστής  $\alpha$  ονομάζεται **ηλεκτρικό ισοδύναμο της θερμότητας** και ισούται με  $\alpha = 0,24 \frac{\text{cal}}{\text{J}}$ .

## Παράδειγμα 9

Η αντίσταση  $R_1$  του σχήματος είναι βυθισμένη σε νερό μάζας  $m = 0,5\text{Kg}$ . Η θερμοκρασία του νερού αυξάνεται σε χρόνο  $t = 52\text{s}$  από  $\theta_1 = 20^\circ\text{C}$  σε  $\theta_2 = 70^\circ\text{C}$ . Να βρεθεί η τιμή της  $R_2$ , αν  $V = 2000\text{V}$  και  $R_1 = 100\Omega$ .

Δίνεται η ειδική θερμότητα του νερού:

$$c = \frac{1\text{cal}}{\text{g} \cdot \text{grad}} = \frac{4200\text{J}}{\text{Kg} \cdot \text{grad}}$$



**Δύση**

Το ποσό της θερμότητας που εκλύεται από την  $R_1$  και θερμαίνει το νερό είναι:

$$Q_1 = I^2 \cdot R_1 \cdot t$$

Από το θεμελιώδη νόμο της θερμιδομετρίας έχουμε:

$$Q_1 = m \cdot c \cdot \Delta\theta$$

Άρα:

$$I^2 \cdot R_1 \cdot t = m \cdot c \cdot \Delta\theta \Rightarrow I = \sqrt{\frac{m \cdot c \cdot \Delta\theta}{R_1 \cdot t}} \cdot t \Rightarrow I = 5\text{A}$$

Η αντίσταση  $R_2$  υπολογίζεται από τον νόμο του Ohm:

$$V = I(R_1 + R_2) \Rightarrow R_2 = \frac{V - IR_1}{I} \Rightarrow R_2 = 300\Omega$$

**Εφαρμογές φαινομένου Joule****α) Ηλεκτρικός λαμπτήρας πυράκτωσης**

Ο ηλεκτρικός λαμπτήρας πυρακτώσεως (εικ. 40) αποτελείται από ένα γυάλινο δοχείο, μέσα στο οποίο υπάρχει ένα λεπτό σύρμα από πολύ δύστηκτο μέταλλο (βολφράμιο, ταντάλιο, όσμιο), το οποίο έχει θερμοκρασία τήξης πάνω από  $2700^\circ\text{C}$ . Μέσα στο δοχείο δεν υπάρχει οξυγόνο για να μη γίνει οξείδωση του μετάλλου, υπάρχει όμως ένα αδρανές αέριο (αργό, κρυπτό, άζωτο), που εμποδίζει την εξάχνωσή του. Όταν το σύρμα φωτοβολεί, η θερμοκρασία του είναι πάνω από  $2000^\circ\text{C}$ . Όλοι οι λαμπτήρες μιας οικιακής εγκατάστασης συνδέονται μεταξύ τους παράλληλα (εικ. 41) για να λειτουργούν με την ίδια τάση (π.χ. του δικτύου, 220V) και ανεξάρτητα από τους άλλους.

**Ενδείξεις κανονικής λειτουργίας συσκευής**

Σε ηλεκτρικό λαμπτήρα πυρακτώσεως σημειώνονται οι ενδείξεις: **220V, 100W**.

**Ποια είναι η σημασία των ενδείξεων αυτών;**

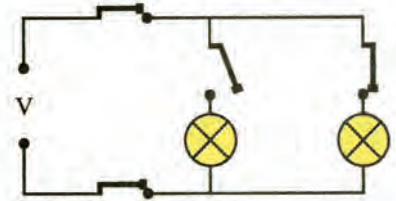
**Τι πληροφορίες μπορούμε να πάρουμε από αυτές;**

Η ένδειξη 220V σημαίνει ότι, για να λειτουργεί κανονικά ο λαμπτήρας, σύμφωνα με τις προδιαγραφές του εργοστασίου κατασκευής, πρέπει στα άκρα του να εφαρμόζεται τάση  $V_k = 220\text{V}$ , που λέγεται **κανονική τάση λειτουργίας**.

Η ένδειξη 100W σημαίνει ότι, όταν ο λαμπτήρας λειτουργεί κανονικά, «καταναλώνει» ισχύ  $P_k = 100\text{W}$ , που λέγεται **κανονική ισχύς λειτουργίας**.



*Ηλεκτρικός λαμπτήρας πυράκτωσης.  
Εικόνα 2.7-40.*



*Σύνδεση λαμπτήρων σε οικιακή εγκατάσταση.*

**Εικόνα 2.7-41.**

Από τις ενδείξεις αυτές μπορούμε να βρούμε:

1) την ένταση του ρεύματος, που διαρρέει το λαμπτήρα, όταν λειτουργεί κανονικά, ως εξής:

$$P_K = V_K \cdot I_K \Rightarrow I_K = \frac{P_K}{V_K} \Rightarrow I_K \simeq 0,45\text{A}$$

2) την αντίσταση του λαμπτήρα, ως εξής:

$$P_K = \frac{V_K^2}{R} \Rightarrow R = \frac{V_K^2}{P} \Rightarrow R = 484\Omega$$

**Σημείωση:** Αν στα άκρα του λαμπτήρα εφαρμοστεί τάση μικρότερη από την  $V_K$ , ο λαμπτήρας υπολειτουργεί χωρίς να κινδυνεύει να καταστραφεί, ενώ, αν εφαρμοστεί τάση μεγαλύτερη από τη  $V_K$ , ο λαμπτήρας υπερλειτουργεί με κίνδυνο καταστροφής του.

## β) Ηλεκτρικές συσκευές παραγωγής θερμότητας

Πολύ συνηθισμένες ηλεκτρικές συσκευές παραγωγής θερμότητας είναι οι ηλεκτρικές θερμάστρες, τα ηλεκτρικά σίδερα, οι ηλεκτρικές κουζίνες, οι ηλεκτρικοί βραστήρες, οι ηλεκτρικοί θερμοσίφωνες κ.τ.λ. Στις συσκευές αυτές εκλύεται θερμότητα σε συρμάτινο αγωγό από χρωμονικελίνη (δύστηκτο κράμα Fe, Ni, Cr, Mn). Σε μερικές συσκευές η θερμότητα ακτινοβολείται απευθείας από το σύρμα (π.χ. στη θερμάστρα), ενώ σε άλλες συσκευές η θερμότητα συγκεντρώνεται πάνω σε μια μεταλλική πλάκα (π.χ. στην κουζίνα).

## γ) Ασφάλειες

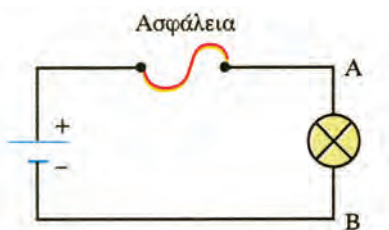
Για την προφύλαξη των κυκλωμάτων από υπέρμετρη αύξηση της έντασης του ρεύματος, που μπορεί να προκαλέσει βλάβες στο κύκλωμα ή ακόμα και πυρκαγιά χρησιμοποιούνται οι ασφάλειες, που παρεμβάλλονται στο κύκλωμα σε σειρά (εικ. 42).

Κάθε ασφάλεια χαρακτηρίζεται από μια τιμή έντασης ρεύματος, πάνω από την οποία προκαλείται διακοπή της λειτουργίας του κυκλώματος.

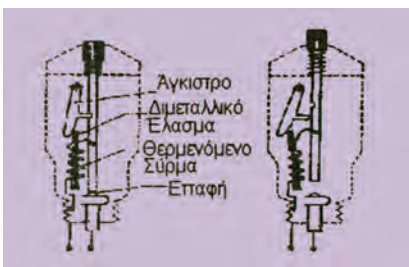
Ένας τύπος είναι η τηκόμενη ασφάλεια, που αποτελείται από ένα εύτηκτο μέταλλο. Μόλις η ένταση του ρεύματος γίνει μεγαλύτερη από μια καθορισμένη τιμή, αμέσως συμβαίνει τήξη του μετάλλου και διακοπή του ρεύματος.

Επίσης, χρησιμοποιείται και η αυτόματη ασφάλεια (εικ. 43), που ουσιαστικά είναι αυτόματος διακόπτης και αποτελείται κυρίως από ένα διμεταλλικό έλασμα. Μόλις η ένταση του ρεύματος γίνει μεγαλύτερη από μια καθορισμένη τιμή, αμέσως το διμεταλλικό έλασμα λυγίζει και προκαλεί διακοπή του ρεύματος.

Για την εκλογή της κατάλληλης ασφάλειας σ' ένα κύκλωμα λαμβάνουμε υπόψη την ένταση του ρεύματος  $I_K$  της κανονικής



Κύκλωμα με ασφάλεια.  
Εικόνα 2.7-42.



Αυτόματη ασφάλεια.  
Εικόνα 2.7-43.

λειτουργίας των συσκευών που τροφοδοτούμε (π.χ. 14A), την οποία βρίσκουμε από τις ενδείξεις των συσκευών. Επειδή στο εμπόριο κυκλοφορούν ορισμένοι τύποι ασφαλειών (π.χ. 6A, 10A, 15A, 20A, 25A) επιλέγουμε την ασφάλεια, που αναγράφει την αμέσως μεγαλύτερη ένδειξη από αυτή που είχαμε υπολογίσει. Στο παράδειγμά μας επιλέγουμε την ασφάλεια των 15A.

## δ) Βραχυκύκλωμα

**Βραχυκύκλωμα ονομάζεται η σύνδεση δύο σημείων ενός κυκλώματος με αγωγό αμελητέας αντίστασης.**

Βραχυκύκλωμα μπορεί να προκληθεί μεταξύ των σημείων A και B, αν τα συνδέσουμε με έναν αγωγό αμελητέας αντίστασης ή αν σ' αυτά φθαρεί η μόνωση και τυχαία έρθουν σε επαφή. Στο κύκλωμα της εικ. 44α είναι  $R_{ολ} = 440\Omega$ , άρα αυτό διαρρέεται από ρεύμα έντασης  $I = 0,5A$ . Στο κύκλωμα της εικ. 44β είναι

$$R_{ολ} = \frac{440 \cdot 1}{440 + 1} \Omega \approx 1\Omega,$$

άρα αυτό διαρρέεται από ρεύμα έντασης  $I = 220A$  και έτσι κινδυνεύει το τμήμα του κυκλώματος, που βρίσκεται μεταξύ της πηγής και του σημείου βραχυκυκλώσεως.

## Παράδειγμα 10

Ηλεκτρικός λαμπτήρας έχει χαρακτηριστικά κανονικής λειτουργίας  $P_K = 100W$  και  $V_K = 100V$ .

α) Ποια είναι η αντίσταση του λαμπτήρα;

β) Θέλουμε να συνδέσουμε τον λαμπτήρα με τάση  $V = 200V$ . Τι αντίσταση πρέπει να συνδέσουμε σε σειρά με τον λαμπτήρα, ώστε να λειτουργεί κανονικά;

### Λύση

α) Έχουμε:

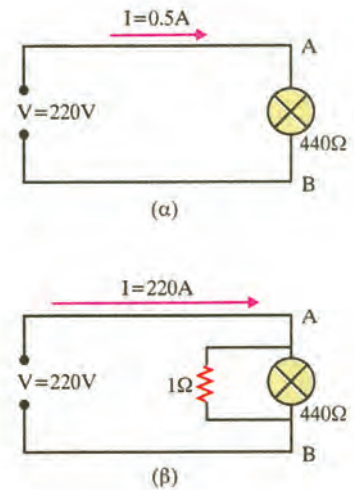
$$P_K = \frac{V_K^2}{R_\Lambda} \Rightarrow R_\Lambda = \frac{V_K^2}{P_K} \Rightarrow R_\Lambda = 100\Omega \quad (1)$$

β) Επειδή  $V > V_K$  η απευθείας σύνδεση του λαμπτήρα με την τάση  $V$  θα τον καταστρέψει. Γι' αυτό συνδέουμε μια αντίσταση  $R_x$  σε σειρά με το λαμπτήρα. Εφόσον ο λαμπτήρας λειτουργεί κανονικά, η τάση στα άκρα του  $V_{B\Gamma}$  είναι ίση με  $V_K$ . Επομένως, η ένταση του ρεύματος που τον διαρρέει είναι:

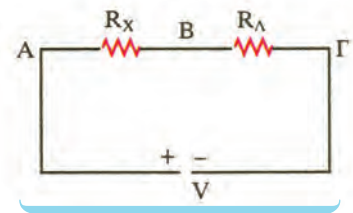
$$P_K = V_K \cdot I_K \Rightarrow I_K = \frac{P_K}{V_K} \stackrel{(1)}{\Rightarrow} I_K = 1A$$

Άρα, η ένταση  $I$  του ρεύματος στο κύκλωμα είναι:

$$I = I_K = 1A$$



Βραχυκύκλωμα.  
Εικόνα 2.7-44.





Από το νόμο του Ohm έχουμε:

$$V = IR_{ολ} \Rightarrow V = I(R + R_x) \Rightarrow \frac{V}{I} = R + R_x \Rightarrow$$

$$R_x = \frac{V}{I} - R \Rightarrow R_x = 100\Omega$$

### Παράδειγμα 11

Σε μια οικιακή εγκατάσταση η ασφάλεια είναι 30A. Στο σπίτι λειτουργούν μια ηλεκτρική κουζίνα ισχύος 2KW, ένα ψυγείο ισχύος 1KW, μία ηλεκτρική σόμπα ισχύος 2KW και 50 λαμπτήρες των 100W ο καθένας.

α) Αν λειτουργήσουν ταυτόχρονα όλες οι συσκευές, να εξετάσετε αν θα λιώσει η ασφάλεια. β) Αν ναι, πόσοι το πολύ λαμπτήρες μπορεί να είναι αναμμένοι, ώστε να λειτουργούν ταυτόχρονα όλες οι υπόλοιπες συσκευές;

Δίνεται ότι η τάση του δικτύου είναι  $V = 220V$ .

#### Λύση

α) Η ολική ισχύς του κυκλώματος είναι:

$$P_{ολ} = 2KW + 1KW + 2KW + 50 \cdot 0,1KW = 10KW$$

Άρα:

$$P_{ολ} = V \cdot I \Rightarrow I = \frac{P_{ολ}}{V} \Rightarrow I = 10.000W / 220V = 45,45A$$

Αφού  $I > 30A$ , η ασφάλεια λιώνει.

β) Πρέπει να είναι:  $P'_{ολ} = V \cdot I \Rightarrow P'_{ολ} = 220V \cdot 30A$

$$\Rightarrow P'_{ολ} = 6600W.$$

Έστω  $x$  ο αριθμός των ζητούμενων λαμπτήρων.

$$\text{Έχουμε: } P_{ολ} = 2000W + 1000W + 2000W + x \cdot 100W \Rightarrow$$

$$P_{ολ} = 5000 + x \cdot 100W.$$

$$\text{Άρα: } 5000 + x \cdot 100 = 6600 \Rightarrow x = 16 \text{ λαμπτήρες.}$$