

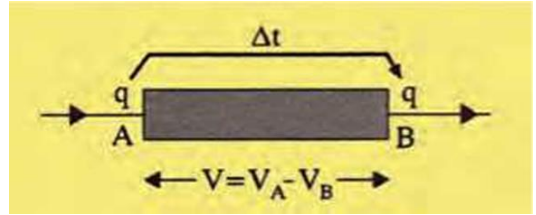
Φ9.1 (2.7) Ενέργεια του ηλεκτρικού ρεύματος

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, 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.)

Η **ένταση** του ηλεκτρικού ρεύματος θα είναι:

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

Η **δυναμική ενέργεια** στο άκρο A και στο άκρο B θα είναι:

$$U_A = q \cdot V_A \text{ και } U_B = q \cdot V_B$$

Η **δυναμική ενέργεια** του φορτίου q **ελαττώνεται** καθώς περνά μέσα από τη συσκευή, γιατί:

$$V_A > V_B \Rightarrow U_A > U_B$$

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**.

Η **ενέργεια που αποδίδεται στη συσκευή** σε χρόνο t , είναι:

$$W = U_A - U_B \Rightarrow W = q \cdot V_A - q \cdot V_B \Rightarrow$$

$$W = q \cdot (V_A - V_B) \Rightarrow W = q \cdot V \Rightarrow \boxed{W = V \cdot I \cdot t}$$

Ο τύπος αυτός 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** οπότε ο τύπος μπορεί να γραφεί:

$$V = I \cdot R \rightarrow \boxed{W = I^2 \cdot R \cdot t}$$

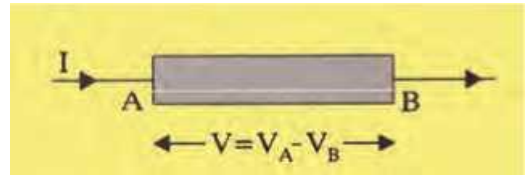
$$I = \frac{V}{R} \rightarrow \boxed{W = \frac{V^2}{R} \cdot t}$$

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

Φ9.2 (2.7) 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.

Στην συσκευή της εικόνας 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:

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

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

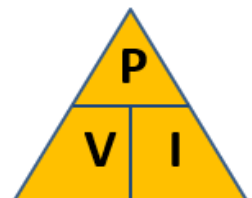
Για κάθε συσκευή ισχύει:

$$W = V \cdot I \cdot t \quad \& \quad P = \frac{W}{t} \rightarrow \boxed{P = V \cdot I}$$

Αν η συσκευή είναι **αντιστάτης (ωμική αντίσταση)**, τότε ισχύει ο **νόμος του Ohm** οπότε ο τύπος μπορεί να γραφεί:

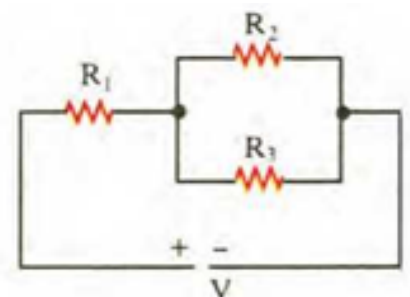
$$V = I \cdot R \rightarrow \boxed{P = I^2 \cdot R}$$

$$I = \frac{V}{R} \rightarrow \boxed{P = \frac{V^2}{R}}$$



ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ Φ9.Π1: Στο κύκλωμα της εικόνας δεξιά 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 .



ΑΠΑΝΤΗΣΗ:

α) Είναι:

$$P_2 = I_2^2 \cdot R_2 \Rightarrow I_2 = \sqrt{\frac{P_2}{R_2}} = \sqrt{\frac{300}{3}} \Rightarrow I_2 = 10A$$

$$V_{2,3} = V_2 = I_2 \cdot R_2 = 10 \cdot 3 \Rightarrow V_{2,3} = 30V$$

$$I_3 = \frac{V_{2,3}}{R_3} = \frac{30}{6} \Rightarrow I_3 = 5A \quad \text{και} \quad I_1 = I_2 + I_3 = 10 + 5 \Rightarrow I_1 = 15A$$

$$P_1 = I_1^2 \cdot R_1 = 15^2 \cdot 3 \Rightarrow P_1 = 675W \quad P_3 = I_3^2 \cdot R_3 = 5^2 \cdot 6 \Rightarrow P_3 = 150W$$

$$P_3 = I_3^2 \cdot R_3 = 5^2 \cdot 6 \Rightarrow P_3 = 150W$$

β) $P_{ολ} = P_1 + P_2 + P_3 \Rightarrow P_{ολ} = 675 + 300 + 150 \Rightarrow P_{ολ} = 1.125W$

γ)

$$R_{ολ} = R_1 + \frac{R_2 \cdot R_3}{R_2 + R_3} = 3 + \frac{3 \cdot 6}{3 + 6} \Rightarrow R_{ολ} = 5\Omega$$

$$V = I_1 \cdot R_{ολ} = 15 \cdot 5 \Rightarrow V = 75V$$

Φ9.3 (2.7) Κόστος λειτουργίας συσκευής

Από τον ορισμό για την **ισχύ** έχουμε:

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

- Αν P είναι σε W και t σε s τότε η **ενέργεια W** θα είναι σε J
- Αν P είναι σε W και t σε h (ώρες) τότε η **ενέργεια W** θα είναι σε **Wh (βατώρες)**
- Αν P είναι σε kW και t σε h (ώρες) τότε η **ενέργεια W** θα είναι σε **kWh (κιλοβατώρες)**

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

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

$$1KWh = 1KW \cdot 1h = 1000W \cdot 3600s = 3.600.000J$$

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

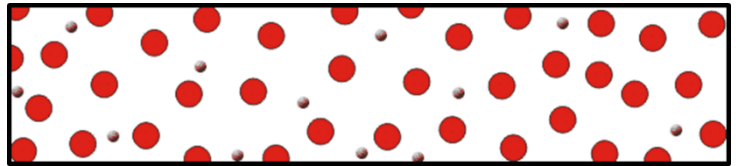
Άρα, μια ηλεκτρική κουζίνα ισχύος $P = 3000W$, που λειτουργεί για χρόνο $t = 2h$, «καταναλώνει» ενέργεια:

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

με κόστος: $K = 6KWh \cdot 0,1\text{€/}KWh = 0,6 \text{ €}$

Φ9.4 (2.7) Νόμος του Joule

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**. Δηλαδή:

$$W = Q$$

$$W = I^2 \cdot R \cdot t \Rightarrow \boxed{Q = I^2 \cdot R \cdot t}$$

Νόμος του Joule:

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 είναι I σε A , R σε Ω και t σε s , τότε βρίσκουμε τη **θερμότητα Q σε J** από τον τύπο **$Q = I^2 \cdot R \cdot t$**
- Αν είναι I σε A , R σε Ω και t σε s , τότε βρίσκουμε τη **θερμότητα Q σε cal** από τον τύπο

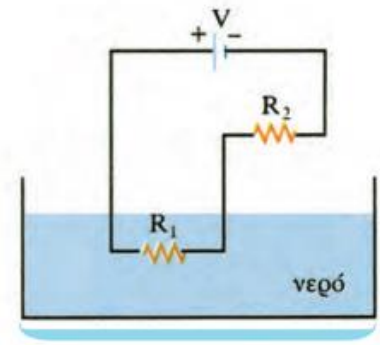
$$\boxed{Q = \alpha \cdot I^2 \cdot R \cdot t}$$

Ο συντελεστής α ονομάζεται **ηλεκτρικό ισοδύναμο της θερμότητας** και είναι: $\boxed{\alpha = 0,24cal/J}$

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ Φ9.Π2: Η αντίσταση R_1 του σχήματος είναι βυθισμένη σε νερό μάζας $m = 0,5 \text{ Kg}$. Η θερμοκρασία του νερού αυξάνεται σε χρόνο $t = 42 \text{ s}$ 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:

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



ΑΠΑΝΤΗΣΗ:

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

$$I^2 \cdot R_1 \cdot t = m \cdot c \cdot \Delta\theta \Rightarrow I = \sqrt{\frac{m \cdot c \cdot \Delta\theta}{R_1 \cdot t}} = \sqrt{\frac{0,5 \cdot 4200 \cdot 50}{100 \cdot 42}} \Rightarrow I = 5 \text{ A}$$

Από τον νόμο του Ohm είναι:

$$R_{ολ} = \frac{V}{I} = \frac{2000}{5} \Rightarrow R_{ολ} = 400 \Omega$$

$$R_{ολ} = R_1 + R_2 \Rightarrow R_2 = R_{ολ} - R_1 = 400 - 100 \Rightarrow R_2 = 300 \Omega$$

Φ9.5 (2.7) Εφαρμογές φαινομένου Joule:

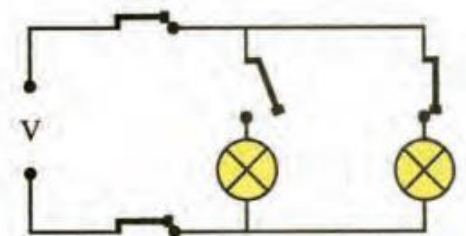
α) Ηλεκτρικός λαμπτήρας πυράκτωσης

Ο **ηλεκτρικός λαμπτήρας** πυρακτώσεως 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°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°C .

Όλοι οι λαμπτήρες μιας οικιακής εγκατάστασης συνδέονται μεταξύ τους **παράλληλα** για να **λειτουργούν με την ίδια τάση** (π.χ. του δικτύου, 220 V) και **ανεξάρτητα** από τους άλλους:



Ενδείξεις κανονικής λειτουργίας συσκευής

Σε **ηλεκτρικό λαμπτήρα πυρακτώσεως** σημειώνονται οι ενδείξεις: 220 V , 100 W . Ποια είναι η σημασία των ενδείξεων αυτών; Τι πληροφορίες μπορούμε να πάρουμε από αυτές;

Η ένδειξη **220 V** 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 $P_K = 100W$, που λέγεται **κανονική ισχύς λειτουργίας**.

Από τις ενδείξεις αυτές μπορούμε να βρούμε:

- Την **ένταση** του ρεύματος, που διαρρέει το λαμπτήρα, **όταν λειτουργεί κανονικά**:

$$P_K = V_K \cdot I_K \Rightarrow I_K = \frac{P_K}{V_K} = \frac{100}{220} \Rightarrow I_K \cong 0,45A$$

- Την **αντίσταση** του λαμπτήρα:

$$P_K = \frac{V_K^2}{R} \Rightarrow R = \frac{V_K^2}{P_K} \Rightarrow R = \frac{220^2}{100} \Rightarrow R = 484\Omega$$

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.



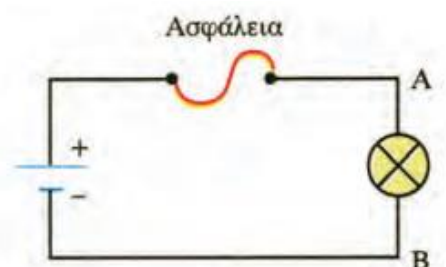
Στις συσκευές αυτές **εκλύεται θερμότητα** σε συρμάτινο αγωγό από **χρωμονικελίνη** (δύστηκτο κράμα Fe, Ni, Cr, Mn). Σε μερικές συσκευές η θερμότητα **ακτινοβολείται** απευθείας από το σύρμα (π.χ. στη θερμάστρα), ενώ σε άλλες συσκευές η θερμότητα **συγκεντρώνεται** πάνω σε μια μεταλλική πλάκα (π.χ. στην 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**.

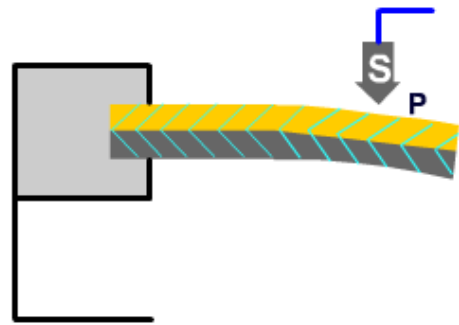
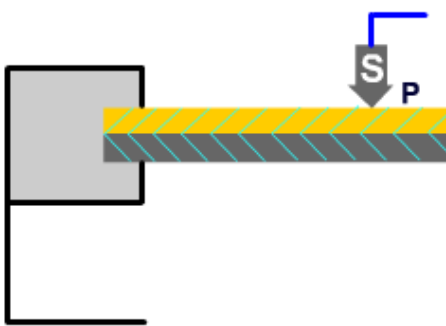
Κάθε ασφάλεια **χαρακτηρίζεται από μια τιμή έντασης ρεύματος**, πάνω από την οποία προκαλείται διακοπή της λειτουργίας του κυκλώματος.

Ένας τύπος είναι η **τηκόμενη ασφάλεια**, που αποτελείται από ένα **εύθικτο 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**, 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 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**.

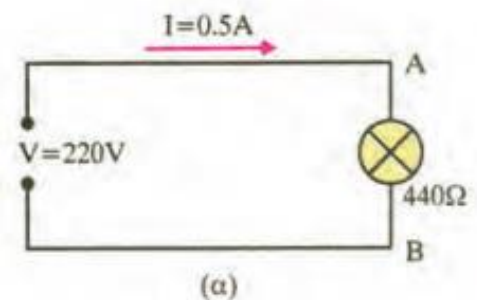


δ) Βραχυκύκλωμα

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

Επίσης βραχυκύκλωμα μπορεί να προκληθεί μεταξύ των σημείων A και B, αν σ' αυτά **φθαρεί η μόνωση** και τυχαία έρθουν σε επαφή.

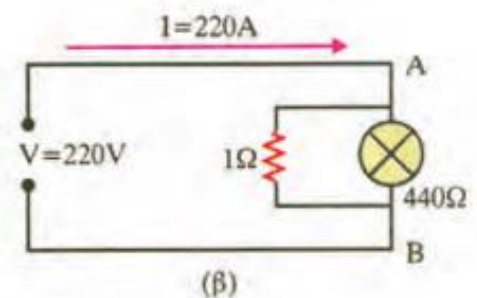
Στο κύκλωμα (α) είναι $R = 440\Omega$, άρα αυτό διαρρέεται από ρεύμα έντασης $I = 0,5A$.



Στο κύκλωμα (β) είναι:

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

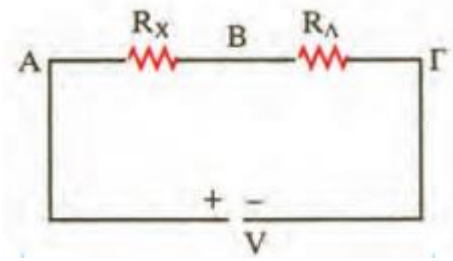
άρα αυτό διαρρέεται από ρεύμα έντασης $I = 220A$ και έτσι κινδυνεύει το τμήμα του κυκλώματος, που βρίσκεται μεταξύ της πηγής και του σημείου βραχυκυκλώσεως.



ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ Φ9.Π3: 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;



ΑΠΑΝΤΗΣΗ:

α) Είναι:

$$P_K = \frac{V_K^2}{R_\Lambda} \Rightarrow R_\Lambda = \frac{V_K^2}{P_K} \Rightarrow R_\Lambda = \frac{100^2}{100} \Rightarrow R_\Lambda = 100\Omega$$

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 . Η ένταση του ρεύματος που τον διαρρέει είναι:

$$P_K = V_K \cdot I_K \Rightarrow I_K = \frac{P_K}{V_K} = \frac{100}{100} \Rightarrow I_K = 1A$$

Άρα, η ένταση I του ρεύματος στο κύκλωμα είναι: $I = I_K = 1A$

$$R_{o\lambda} = \frac{V}{I} = \frac{200}{1} = 200\Omega \Rightarrow R_X + R_\Lambda = 200 \Rightarrow R_X + 100 = 200 \Rightarrow R_X = 100\Omega$$

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ Φ9.Π4: 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. 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 $V = 220V$.

ΑΠΑΝΤΗΣΗ:

α) Η ολική ισχύς του κυκλώματος είναι:

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

$$P_{o\lambda} = V \cdot I \Rightarrow I = \frac{P_{o\lambda}}{V} \Rightarrow I = \frac{10.000}{220} \Rightarrow I = 45,45A$$

Αφού $I > 30A$, η ασφάλεια λιώνει.

β) Πρέπει να είναι:

$$P'_{o\lambda} = V \cdot I \Rightarrow P'_{o\lambda} = 220 \cdot 30 \Rightarrow P'_{o\lambda} = 6.600W = 6,6kW$$

Έστω x ο αριθμός των ζητούμενων λαμπτήρων:

$$P'_{o\lambda} = 2KW + 1KW + 2KW + x \cdot 0,1KW = 6,6KW \Rightarrow$$

$$5 + x \cdot 0,1 = 6,6 \Rightarrow x \cdot 0,1 = 1,6 \Rightarrow x = 16 \text{ λαμπτήρες}$$