

Κεφάλαιο 25

Ηλεκτρικό Ρεύμα και Αντίσταση



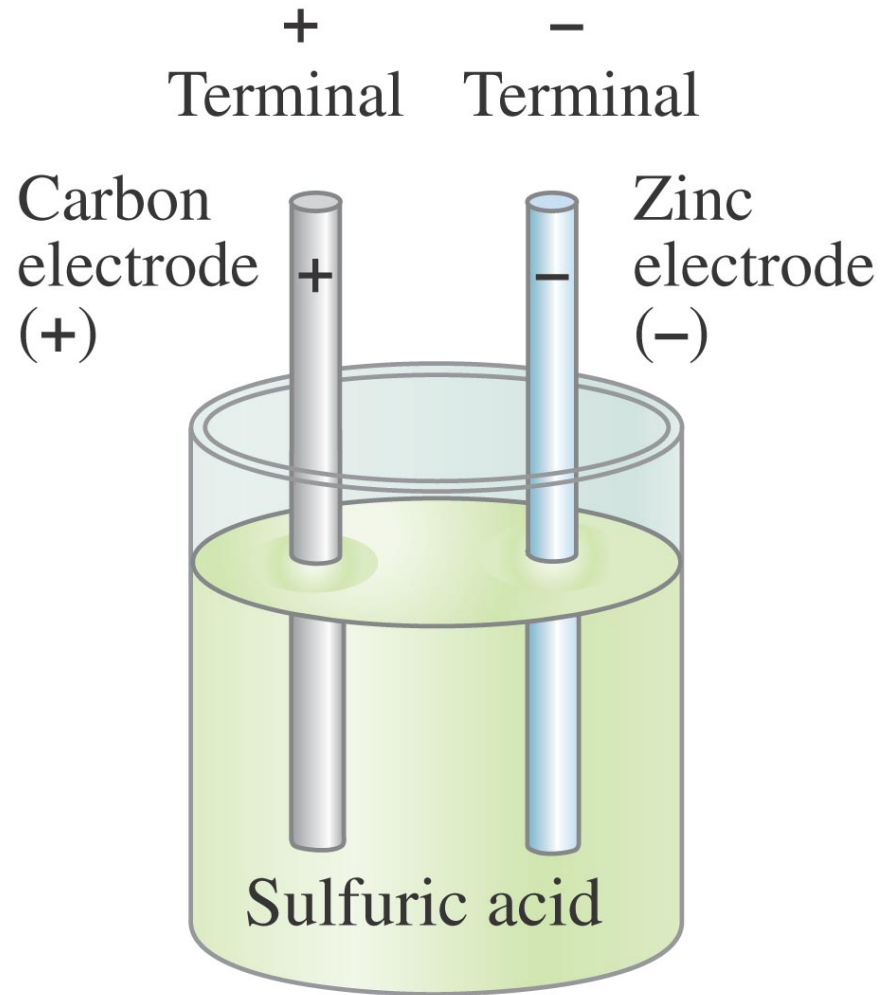
Περιεχόμενα Κεφαλαίου 25

- Μπαταρία
- Ρεύμα
- Νόμος του Ohm
- Αντίσταση και Αντιστάσεις
- Resistivity
- Ηλεκτρική Ισχύς
- Ισχύς Οικιακών Συσκευών/Κυκλωμάτων
- Εναλλασσόμενη Τάση
- Υπεραγωγιμότητα

25-1 Ηλεκτρική Μπαταρία

Ο Volta ανακάλυψε ότι δύο διαφορετικά μέταλλα μέσα σε αγωγίμο διάλυμα (ηλεκτρολύτης) εμφανίζουν διαφορά δυναμικού.

Η διάταξη αυτή αποτελεί ένα ηλεκτρικό στοιχείο.



25-1 Ηλεκτρικές Μπαταρίες

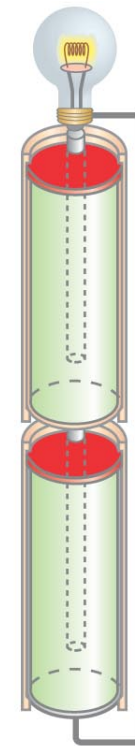
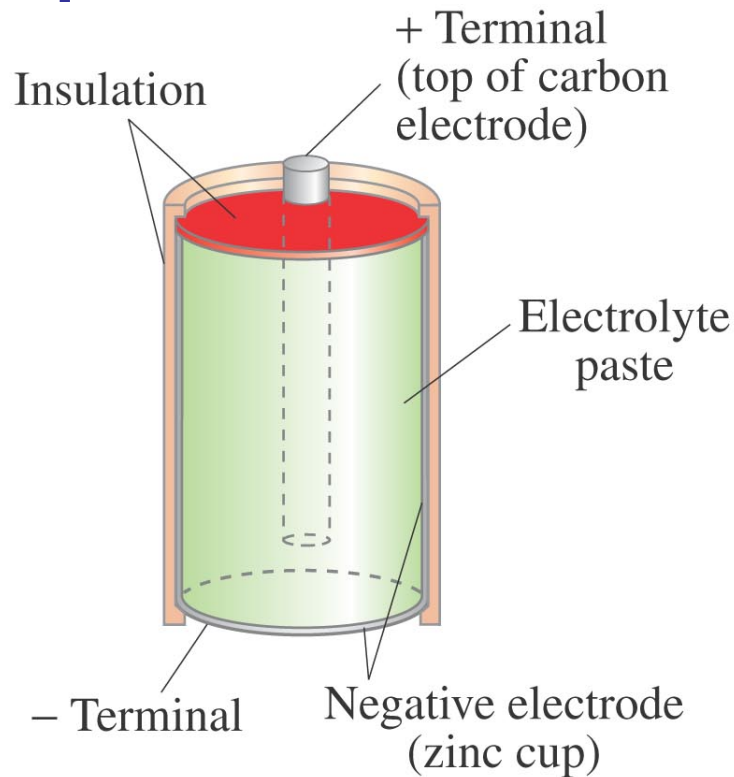
Το ηλεκτρικό στοιχείο μετατρέπει **χημική ενέργεια σε ηλεκτρική ενέργεια.**

Η χημικές αντιδράσεις μέσα σε ένα στοιχείο, δημιουργούν μια διαφορά δυναμικού στους πόλους μέσω της διαδικασίας «διάλυσής τους».

Το στοιχείο φτάνει στο τέλος της όταν ένας από του δύο πόλου διαλυθεί πλήρως.

25-1 The Electric Battery

Μια συστοιχία ηλεκτρικών στοιχείων δημιουργούν μια μπαταρία, αν και πλέον ακόμα και ένα στοιχείο αποκαλείται μπαταρία.



25-2 Ηλεκτρικό Ρεύμα

Ο ρυθμός μεταφορά ηλεκτρικού φορτίο σε ένα αγωγό ονομάζεται **ηλεκτρικό ρεύμα**:

$$\bar{I} = \frac{\Delta Q}{\Delta t}.$$

Το στιγμιαίο ρεύμα είναι:

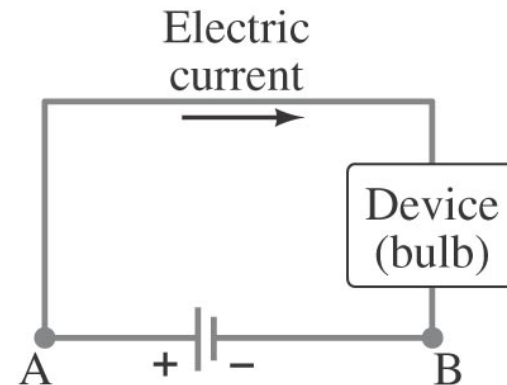
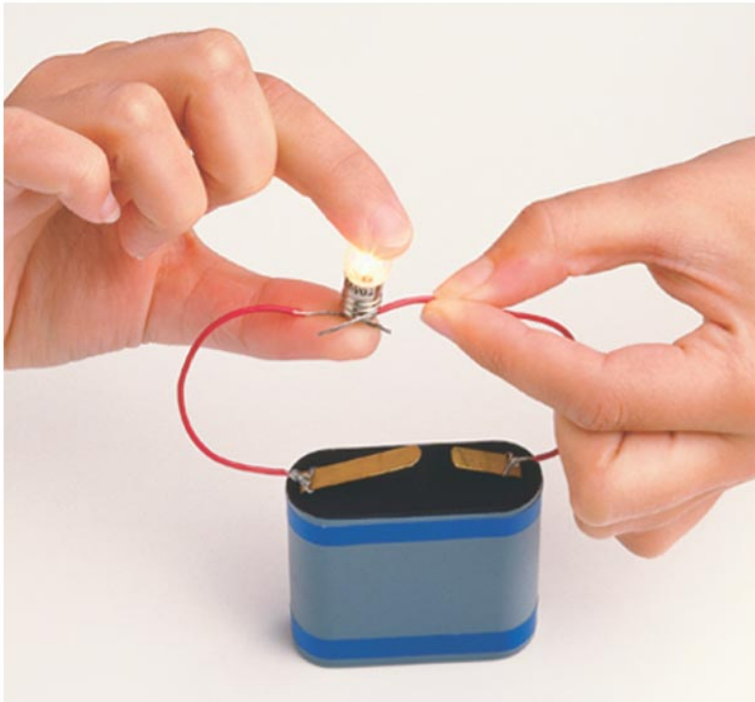
$$I = \frac{dQ}{dt}.$$

Μονάδα ρεύματος είναι το ampere, A:

$$1 \text{ A} = 1 \text{ C/s}.$$

25-2 Ηλεκτρικό ρεύμα

Ένα πλήρες «κλειστό» κύκλωμα επιτρέπει τη διέλευση ρεύματος.



25-2 Ηλεκτρικό Ρεύμα

Ένα σταθερό ρεύμα 2.5 A περνάει μέσα από ένα καλώδιο για 4.0 min . (a) Πόσο φορτίο πέρασε μέσα από το καλώδιο στα 4.0 min ; (b) Πόσα ηλεκτρόνια θα μπορούσαν να είναι;

ΛΥΣΗ

$$\Delta Q = 600\text{ C}$$

$$N_e = 3.8 \cdot 10^{21}\text{ e}$$

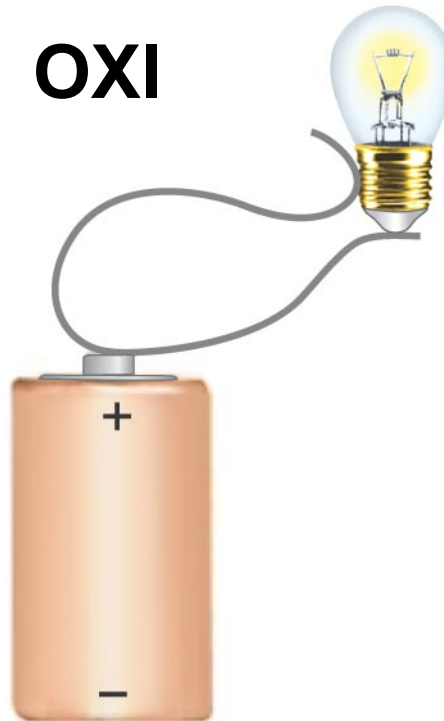
25-2 Ηλεκτρικό Ρεύμα

Με ένα καλώδιο πως πρέπει να συνδέσουμε το φωτάκι για να ανάβει;

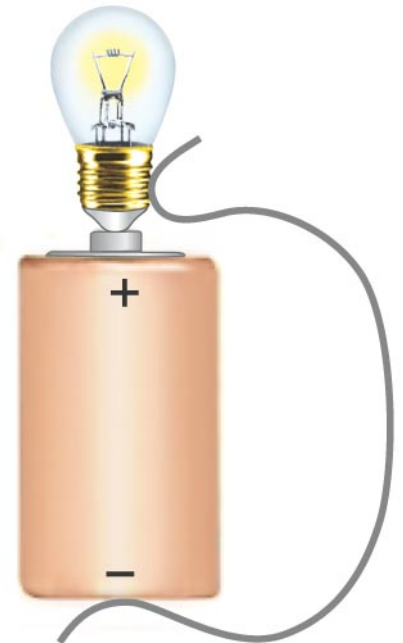
ΟΧΙ



ΟΧΙ

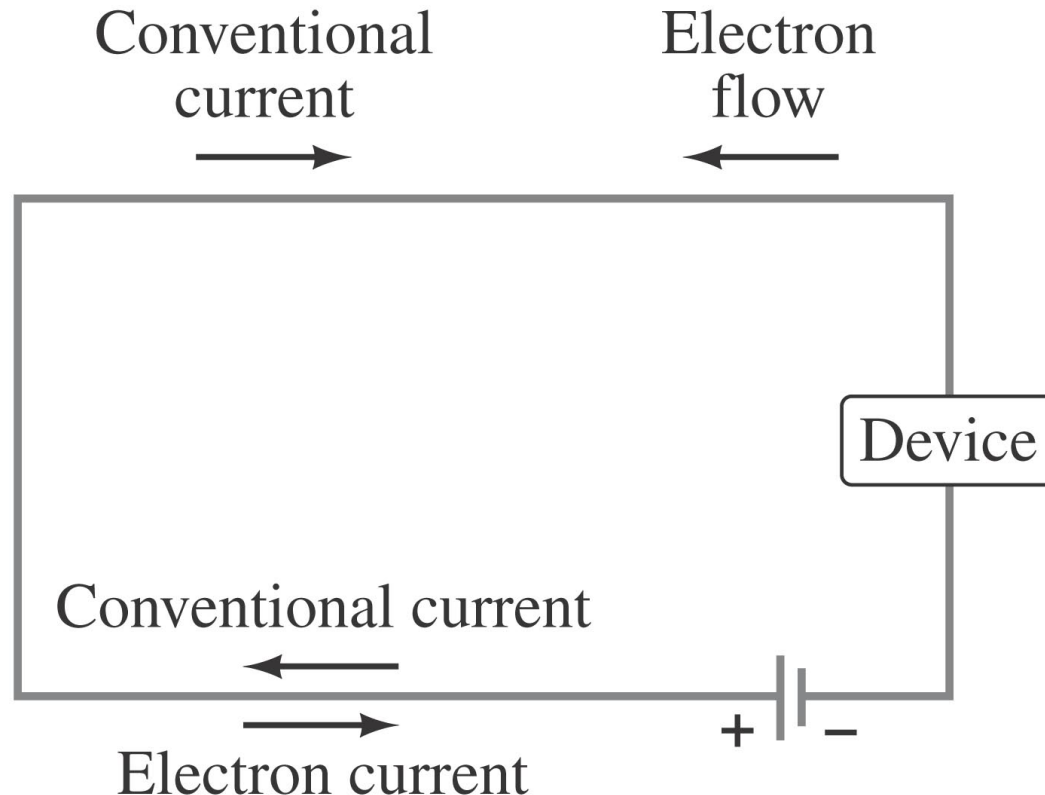


ΝΑΙ



25-2 Ηλεκτρικό Ρεύμα

Η σύμβαση είναι ότι το ρεύμα «ρέει» από **το + στο -**. Τα ηλεκτρόνια είναι προφανές ότι ακολουθούν αντίθετη φορά από τη σύμβαση αλλά δεν είναι πάντα τα ηλεκτρόνια οι φορείς του ρεύματος.



25-3 Ο Νόμος του Ohm : Αντίσταση και Αντιστάσεις

Πειραματικά βρέθηκε ότι το ρεύμα
ενός αγωγού είναι ανάλογο της
τάσεως στα άκρα του:

$$I \propto V.$$

25-3 Ο Νόμος του Ohm' s : Αντίσταση και Αντιστάσεις

Αντίσταση ορίζουμε το λόγο της τάσης ως προς το ρεύμα:

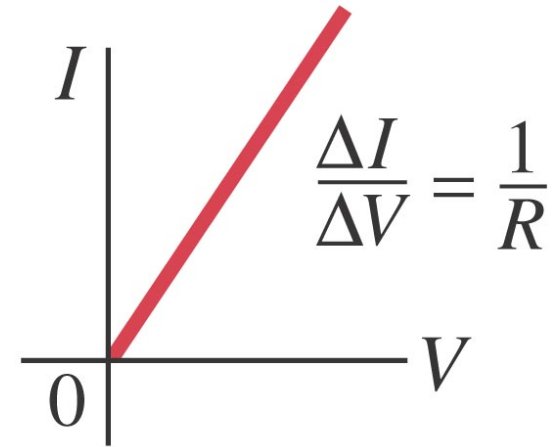
$$I = \frac{V}{R}.$$

$$V = IR.$$

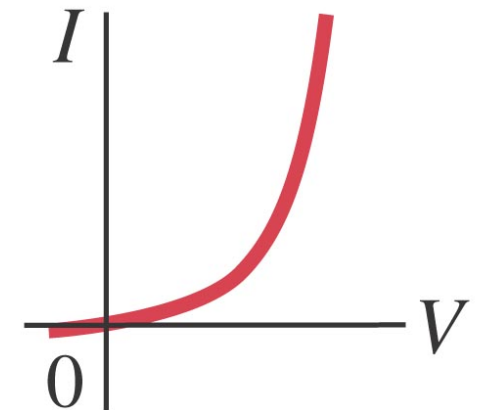
25-3 Ο Νόμος του Ohm: Αντίσταση και Αντιστάσεις

Μονάδα αντίστασης είναι το ohm, Ω : $1 \Omega = 1 \text{ V/A}$.

Στους περισσότερους αγωγούς η αντίσταση είναι ανεξάρτητη της τάσης (ωμικές αντιστάσεις)

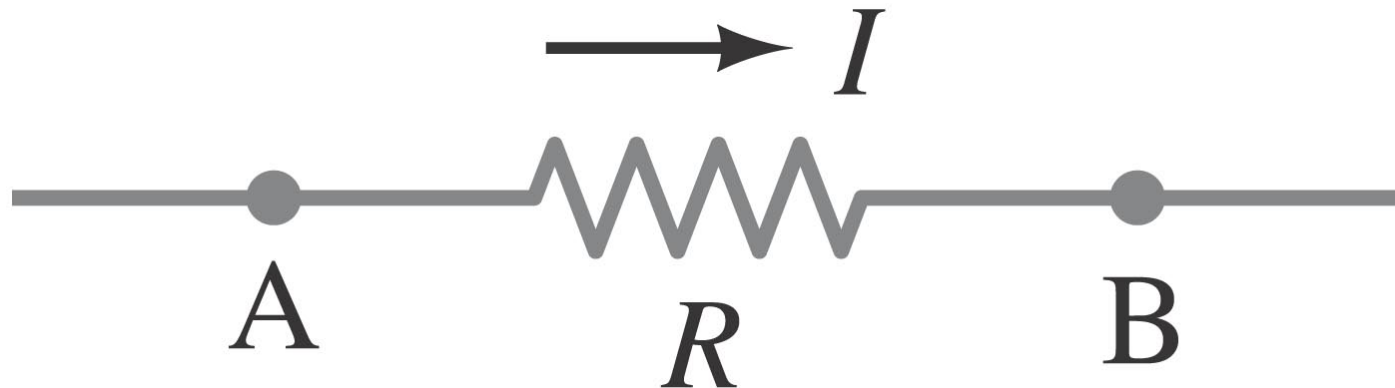


Υπάρχουν όμως και υλικά όπου δεν ισχύει ο νόμος του Ohm



25-3 Ο Νόμος του Ohm: Αντίσταση και Αντιστάσεις

Ρεύμα I εισέρχεται σε μια αντίσταση R όπως στο σχήμα. (a) Η τάση είναι υψηλότερη στο σημείο A ή στο σημείο B; (b) Το ρεύμα είναι μεγαλύτερο στο σημείο A ή στο σημείο B?



Τα ρεύματα πάντα κυλάνε από υψηλότερα σε χαμηλότερα σημεία

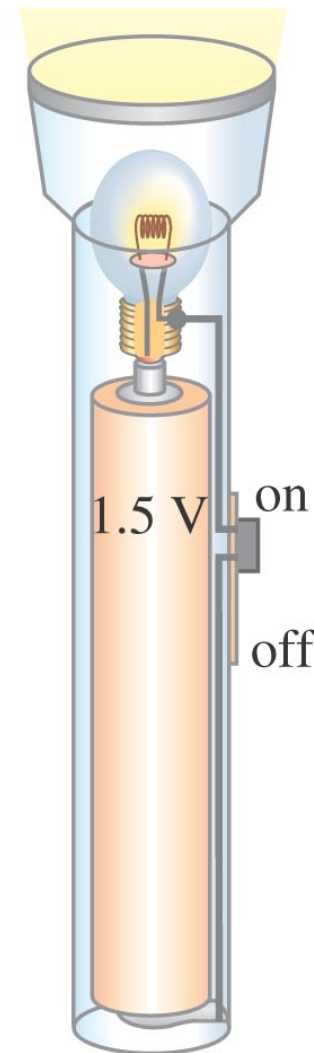
25-3 Ο Νόμος του Ohm : Αντίσταση και Αντιστάσεις

Τα λαμπάκι ενός φακού «τραβάει» 300 mA από μια μπαταρία 1.5-V. (a) Πόση είναι η αντίστασή του; (b) Πόσο θα μεταβληθεί το ρεύμα εάν η τάση της μπαταρίας «πέσει» στα 1,2 V;

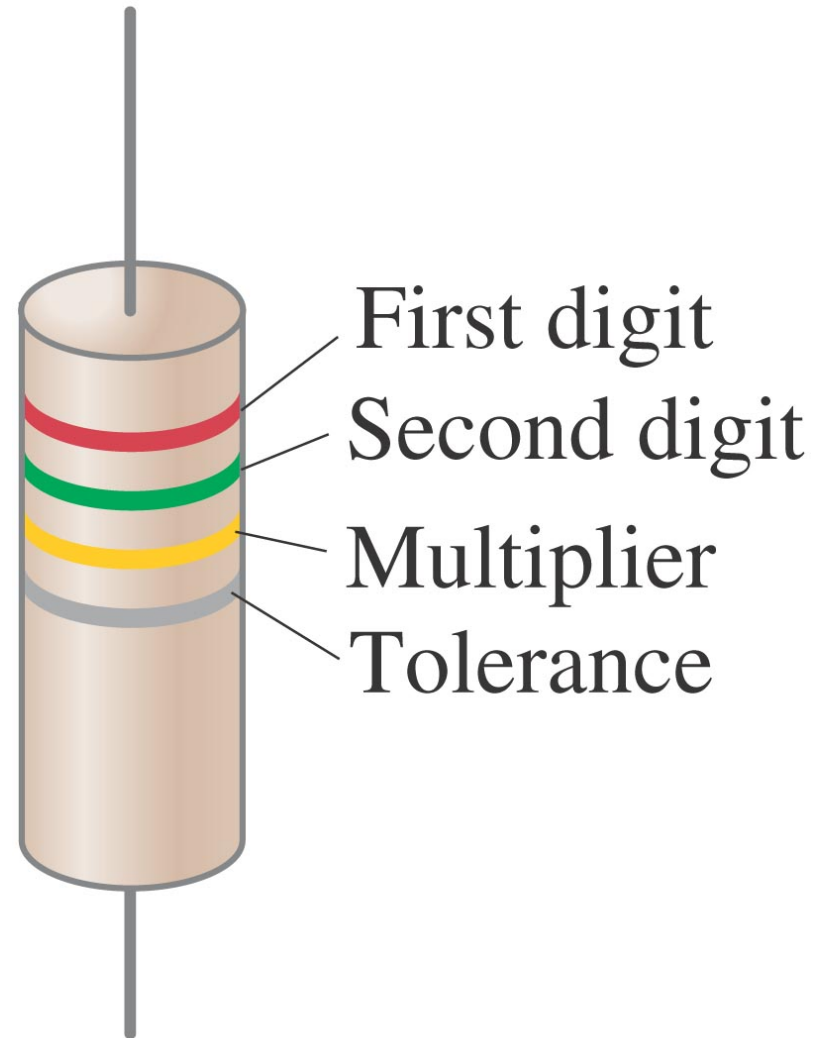
ΛΥΣΗ

$$R = 5.0 \, \Omega$$

$$I = 240 \, \text{mA}$$



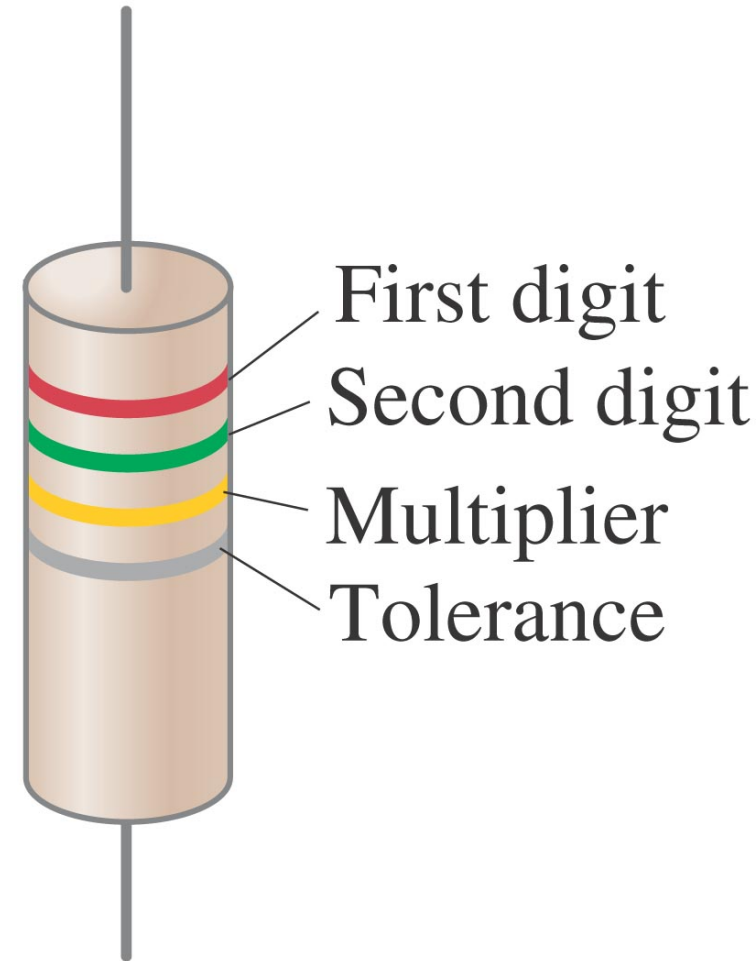
Τυποποιημένες
αντιστάσεις είναι
διαθέσιμες. Το χρώμα
δηλώνει το μέγεθος
και την
«ποιότητα» (ακρίβεια
τιμής).



Ο κώδικας χρωμάτων για αντιστάσεις, ακολουθεί τα χρώματα της ίριδας.

Resistor Color Code

Color	Number	Multiplier	Tolerance
Black	0	1	
Brown	1	10^1	1%
Red	2	10^2	2%
Orange	3	10^3	
Yellow	4	10^4	
Green	5	10^5	
Blue	6	10^6	
Violet	7	10^7	
Gray	8	10^8	
White	9	10^9	
Gold		10^{-1}	5%
Silver		10^{-2}	10%
No color			20%



Κόκκινο, μπλε, μπλε
2 6 $\times 10^6 = 26\text{M}\Omega$

Ορισμένες Διευκρινήσεις:

- Η μπαταρία διατηρεί σταθερή τάση, το ρεύμα εξαρτάται από το κύκλωμα.
- Η αντίσταση είναι ιδιότητα του υλικού.
- Το ρεύμα δεν είναι διανυσματική ποσότητα έχει όμως κατεύθυνση ροής.
- Το ρεύμα και το φορτίο δεν καταναλώνονται: ό,τι μπαίνει στη μια άκρη του κυκλώματος θα βγει από την άλλη.

25-4 Αντίσταση

Η αντίσταση ενός καλωδίου είναι ανάλογη του μήκους του και αντιστρόφως ανάλογη της διατομής του:

$$R = \rho \frac{\ell}{A}.$$

Η σταθερά ρ , ειδική αντίσταση, είναι χαρακτηριστικό του υλικού κατασκευής.

25-4 Αντίσταση

Πίνακας ειδικών αντιστάσεων και συντελεστών θερμότητας για διάφορα υλικά.

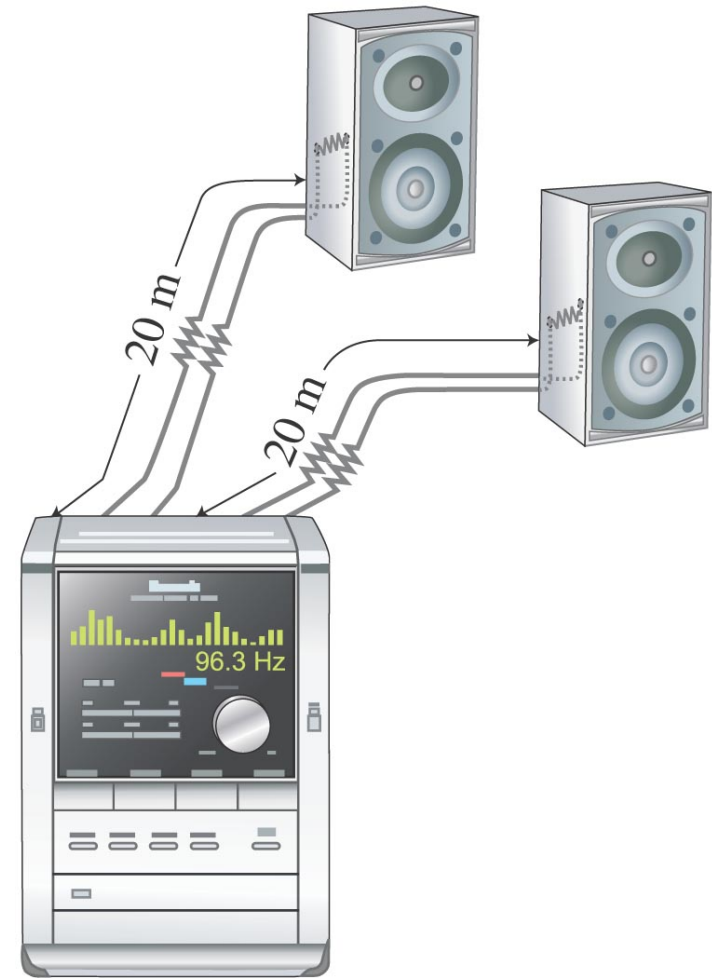
TABLE 25–1 Resistivity and Temperature Coefficients (at 20°C)

Material	Resistivity, ρ ($\Omega \cdot \text{m}$)	Temperature Coefficient, α ($^{\circ}\text{C}$) ⁻¹
<i>Conductors</i>		
Silver	1.59×10^{-8}	0.0061
Copper	1.68×10^{-8}	0.0068
Gold	2.44×10^{-8}	0.0034
Aluminum	2.65×10^{-8}	0.00429
Tungsten	5.60×10^{-8}	0.0045
Iron	9.71×10^{-8}	0.00651
Platinum	10.60×10^{-8}	0.003927
Mercury	98.00×10^{-8}	0.0009
Nichrome (Ni, Fe, Cr alloy)	100.00×10^{-8}	0.0004
<i>Semiconductors</i> [†]		
Carbon (graphite)	$(3 - 60) \times 10^{-5}$	-0.0005
Germanium	$(1 - 500) \times 10^{-3}$	-0.05
Silicon	0.1 – 60	-0.07
<i>Insulators</i>		
Glass	$10^9 - 10^{12}$	
Hard rubber	$10^{13} - 10^{15}$	

[†] Values depend strongly on the presence of even slight amounts of impurities.

25-4 Αντίσταση

Υποθέστε ότι θέλετε να συνδέσετε το στερεοφωνικό σας σε εξωτερικά ηχεία. (a) Εάν το μήκος του κάθε καλωδίου είναι 20 m πόση πρέπει να είναι η διατομή του καλωδίου ώστε η αντίσταση ανά καλώδιο να περιοριστεί στα $0.10\ \Omega$; (b) Εάν το ρεύμα κάθε ηχείου είναι 4.0 A, πόση είναι η πτώση τάσεως σε κάθε καλώδιο;



ΛΥΣΗ

$$\mathbf{A = 3.4 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2}$$

$$\mathbf{r = 1.04 \text{ mm}}$$

$$\mathbf{V = 0.40 \text{ V}}$$

25-4 Αντίσταση

Τι θα συμβεί εάν μπορούσαμε να «τεντώσουμε» ένα καλώδιο με αντίσταση R ώστε να διπλασιαστεί το μήκος του;

Απάντηση: Υποθέτοντας ότι ο όγκος παραμένει σταθερός, διπλάσιο μήκος σημαίνει μισή διατομή, άρα τετραπλασιασμό της αντίστασης

25-4 Αντίσταση

Για ένα υλικό η αντίστασή του μεταβάλλεται με τη θερμοκρασία:

$$\rho_T = \rho_0[1 + \alpha(T - T_0)].$$

Στην περίπτωση των ημιαγωγών είναι δυνατόν η αντίσταση να μειώνεται με τη θερμοκρασία.

25-5 Ηλεκτρική Ισχύς

Όπως και στη μηχανική, η ισχύς είναι ο ρυθμός μεταβολής της ενέργειας:

$$P = \frac{dU}{dt} = \frac{dq}{dt} V$$

ή

$$P = IV.$$

25-5 Ηλεκτρική Ισχύς

Μονάδα ισχύος είναι το watt, W.

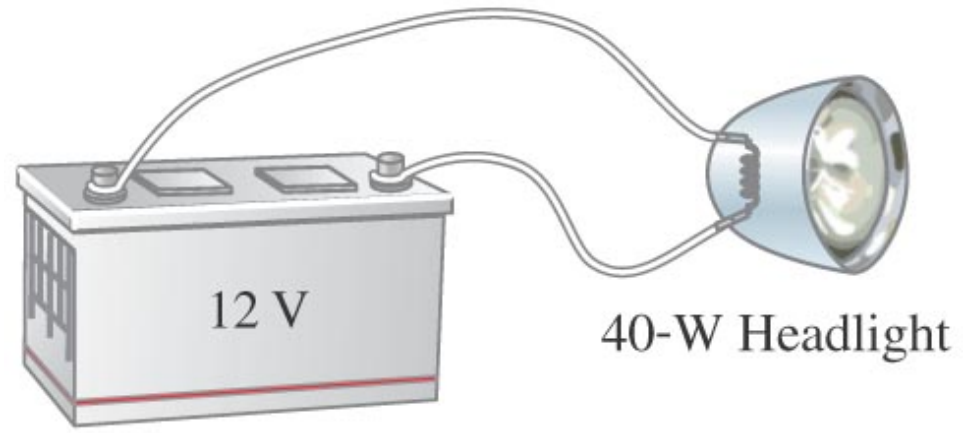
Για ωμικές αντιστάσεις:

$$P = IV = I(IR) = I^2R$$

$$P = IV = \left(\frac{V}{R}\right)V = \frac{V^2}{R}.$$

25-5 Ηλεκτρική Ισχύς

Πόση είναι η αντίσταση προβολέα 40-W που λειτουργεί με 12 V.



ΛΥΣΗ

$$R = 3.6 \, \Omega$$

25-5 Ηλεκτρική Ισχύς

Στο λογαριασμό της ΔΕΗ δεν πληρώνουμε ισχύ αλλά «βατώρες» (Watt x ώρα) επομένως πληρώνουμε ενέργεια.

Η ΔΕΗ μετράει την ενέργεια σε kilowatt-hours, kWh:

$$1 \text{ kWh} = (1000 \text{ W})(3600 \text{ s}) = 3.60 \times 10^6 \text{ J}.$$

Κεραυνός

Κατά τη διάρκεια του κεραυνού, έχουμε μεταφορά ενέργειας της τάξεως των 10^9 J σε μια διαφορά δυναμικού (μεταξύ των σύννεφων και της γης) 5×10^7 V. Η χρονική διάρκεια του κεραυνού είναι περίπου 0.2 s. Βρείτε (a) Το συνολικό φορτίο που μεταφέρει ένας κεραυνός (b) το ρεύμα (c) τη μέση ισχύ.

ΛΥΣΗ

$$Q = 20 \text{ C}, I = 100 \text{ A}, P = 5 \text{ GW}$$

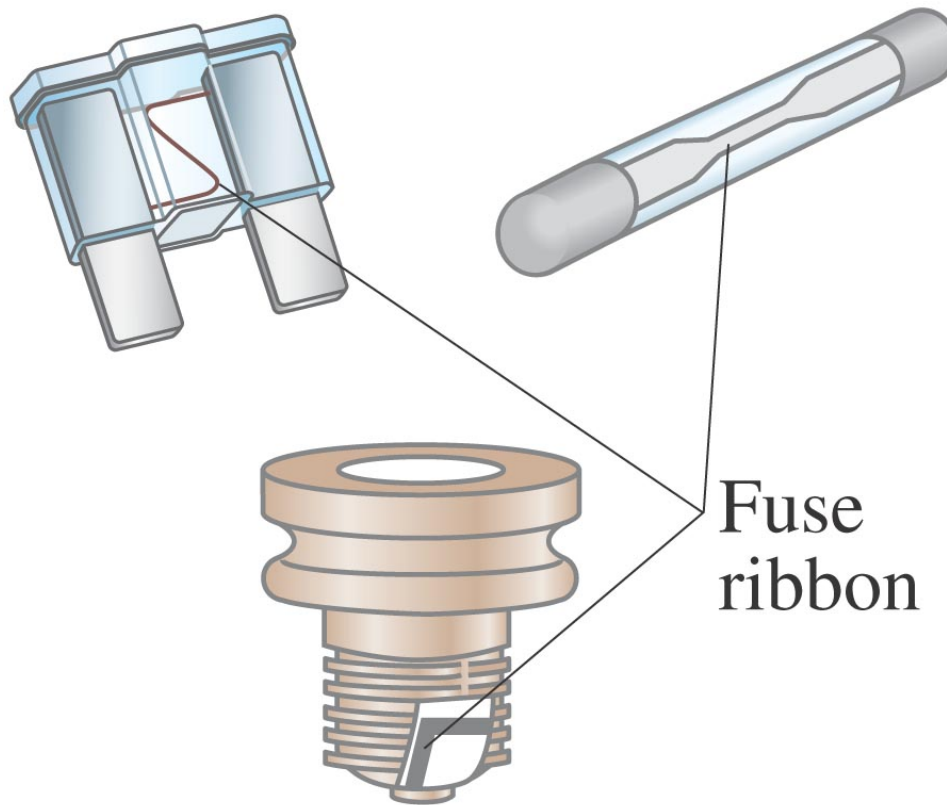
25-6 Ισχύς Οικιακών Κυκλωμάτων

Τα καλώδια στις εγκαταστάσεις ενός σπιτιού έχουν χαμηλές αντιστάσεις. Εάν όμως έχουμε μεγάλη διέλευση ρεύματος, τότε είναι δυνατόν λόγω της μεγάλης ισχύος να έχουμε σημαντική αύξηση της θερμοκρασίας και κίνδυνο πυρκαγιάς (να πάρουν φωτιά τα πλαστικά κομμάτια).

Αυτός είναι και ο λόγος που στις εγκαταστάσεις παρεμβάλλονται «ασφάλειες» που «πέφτουν» όταν το ρεύμα ξεπεράσει μια τιμή ασφάλειας για την καλωδίωση.

25-6 Ισχύς Οικιακών Κυκλωμάτων

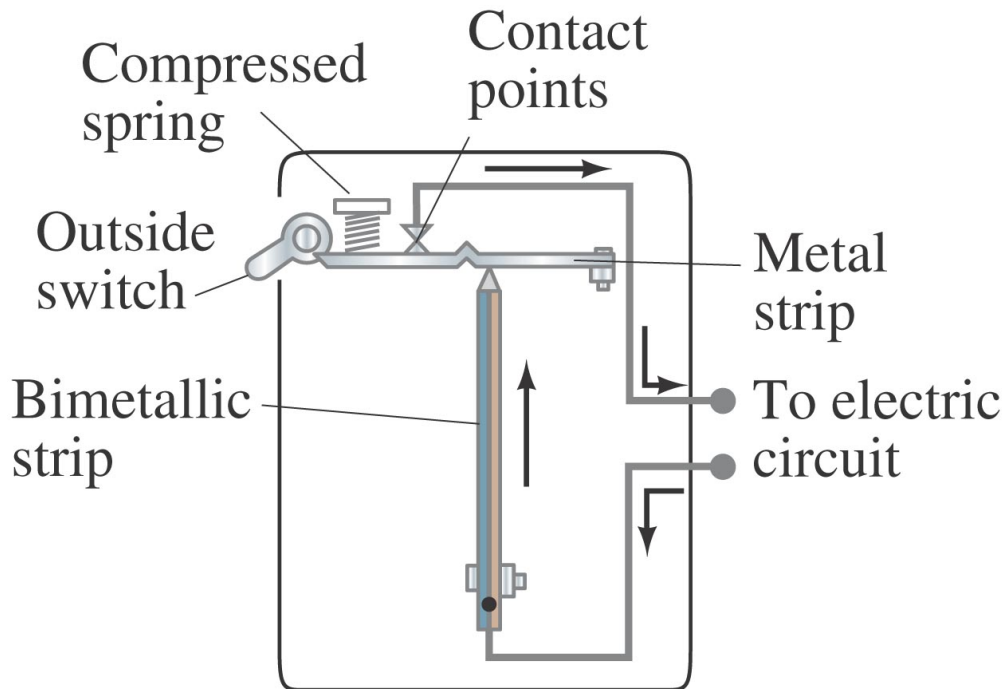
Υπάρχουν αντιστάσεις μιας χρήσεως



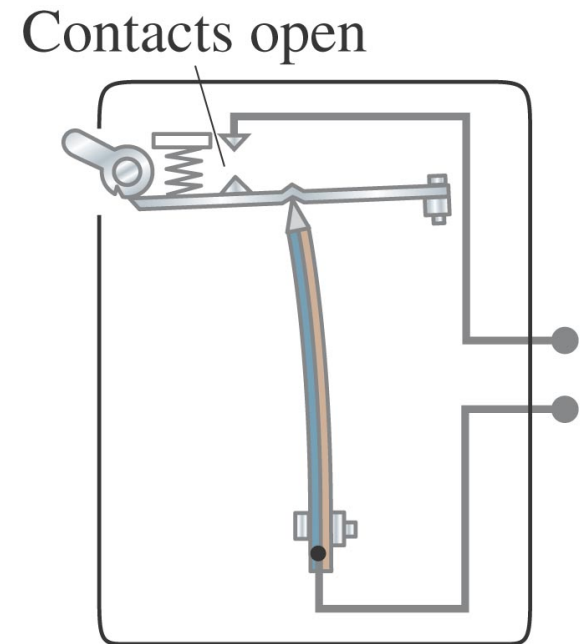
Types of fuses

25-6 Ισχύς Οικιακών Κυκλωμάτων

Και ασφάλειες που μπορεί να επανεκκινηθούν (reset)



Circuit breaker
(closed)



Circuit breaker
(open)

Μια θερμάστρα 1800-W έχει μικρό καλώδιο και δεν φτάνει στο γραφείο σας για να ζεσταθείτε. Χρησιμοποιείτε μια προέκταση (μπαλαντέζα) που έχει όριο 11 A. Διατρέχεται κίνδυνος και γιατί;

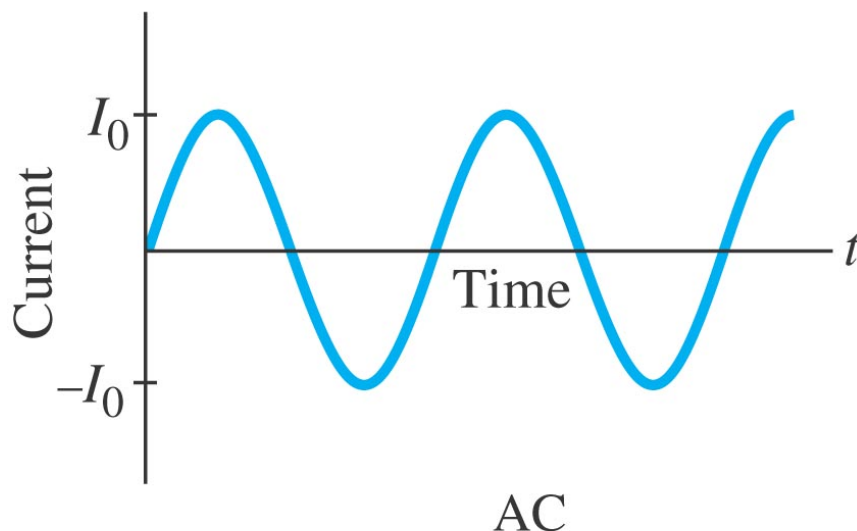
ΝΑΙ ΥΠΑΡΧΕΙ ΚΙΝΔΥΝΟΣ!!

25-7 Εναλλασσόμενη Τάση

Το ρεύμα μιας μπαταρίας έχει σταθερή φορά (συνεχές, direct current, DC).



Το ρεύμα από την ΔΕΗ εναλλάσσει τη φορά του (εναλλασσόμενο alternating current, AC).



25-7 Εναλλασσόμενη Τάση

Η τάση έχει ημιτονοειδή εξάρτηση από το χρόνο:

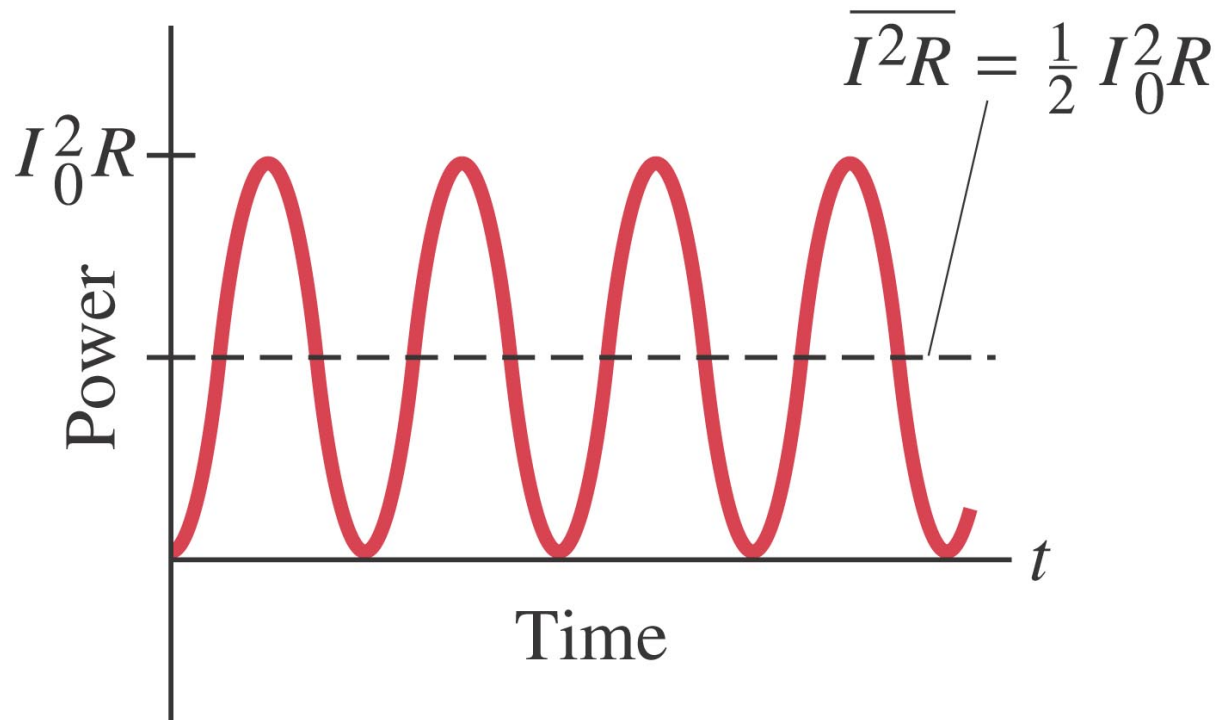
$$V = V_0 \sin 2\pi ft = V_0 \sin \omega t,$$

Καθώς και το ρεύμα:

$$I = \frac{V}{R} = \frac{V_0}{R} \sin \omega t = I_0 \sin \omega t.$$

Η ισχύς είναι:

$$P = I^2 R = I_0^2 R \sin^2 \omega t.$$



Η μέση ισχύς δίδεται από τη σχέση

$$\overline{P} = \frac{1}{2} I_0^2 R$$

$$\overline{P} = \frac{1}{2} \frac{V_0^2}{R}.$$

25-7 Εναλλασσόμενο Ρεύμα

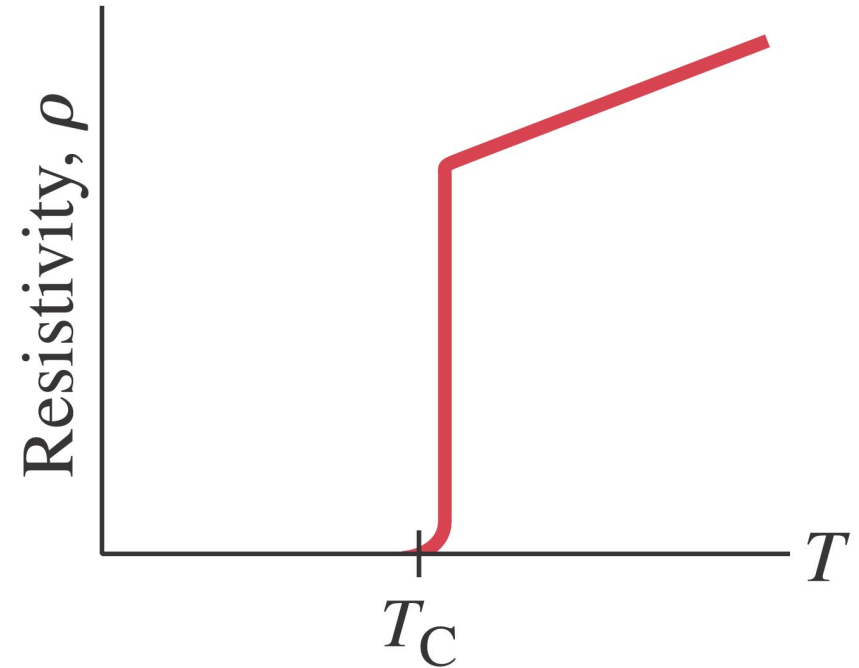
Η μέση τιμή του εναλλασσόμενου ρεύματος και της τάσης είναι μηδέν. Έτσι ορίζουμε root-mean-square (rms) ως εξής:

$$I_{\text{rms}} = \sqrt{\overline{I^2}} = \frac{I_0}{\sqrt{2}} = 0.707 I_0,$$

$$V_{\text{rms}} = \sqrt{\overline{V^2}} = \frac{V_0}{\sqrt{2}} = 0.707 V_0.$$

25-9 Υπεραγωγιμότητα

Υπάρχουν ορισμένα υλικά, υπεραγώγιμα, που κάτω από μια κρίσιμη θερμοκρασία, T_C , η αντίστασή του μειώνεται δραματικά.



25-9 Υπεραγωγιμότητα

Στα υπεραγώγιμα υλικά, η μηδενική τους αντίσταση επιτρέπει την παρουσία ρεύματος για χρόνια ακόμα και χωρίς την παρουσία διαφοράς δυναμικού.

Για πολλά χρόνια οι κρίσιμες θερμοκρασίες ήταν γύρω στα 23 K (-250 °C).

Από το 1987, έχουν βρεθεί νέα υλικά, που ονομάζονται υπεραγωγοί «υψηλής» θερμοκρασίας που λειτουργούν κοντά στους 90K (-183 °C) και η έρευνα για υπεραγωγούς σε ακόμα υψηλότερες θερμοκρασίες συνεχίζεται.