

Fizica Generala

Curs 8

Regimul stationar in electromagnetism

Regimul stationar in electromagnetism

- ▶ Reprezinta cazul deplasarilor de sarcini electrice in miscare uniforma.
- ▶ Deplasarea continua cu viteza constanta a sarcinilor determina un curent continuu.
- ▶ Toate marimile implicate in aceste fenomene sunt constante in timp – fenomenele fiind stationare.
- ▶ Prin deplasarea sarcinilor in urma interactiunii cu materia apare o disipare de energie sub forma de caldura.

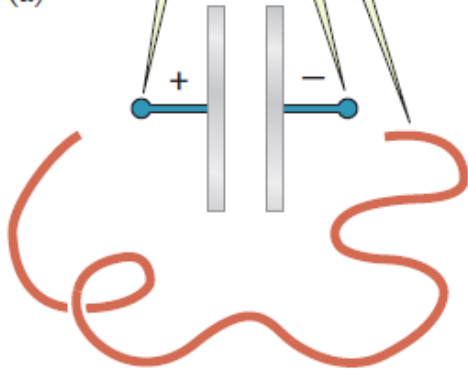
ELECTROCINETICA

- Deplasarea purtatorilor de sarcina sub actiunea unui factor extern reprezinta un curent electric.
- Clasificare:
 - curent de *conductie* – transport real de sarcini printre atomii/ionii substantei
 - curentul de *convecție* – miscarea sarcinilor odata cu corpul
 - curentul de *deplasare*
 - curentul de *vid*.
- in cele ce urmeaza vom considera numai curentul de conductie.

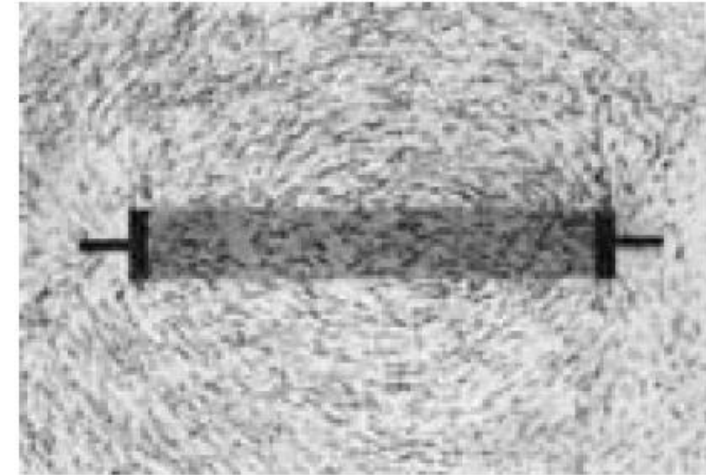
ELECTROCINETICA

Separate conductors are each in electrostatic equilibrium.

(a)



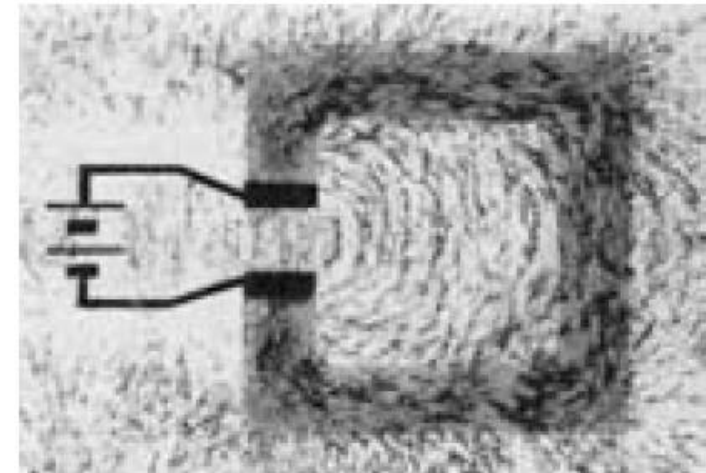
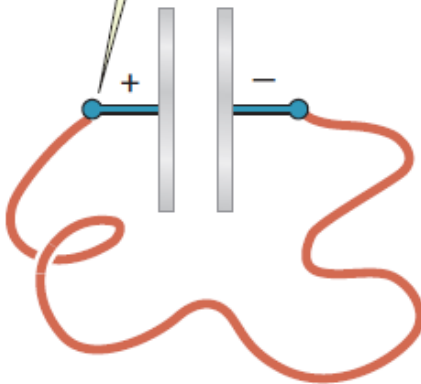
Liniile de camp in jurul unui conductor care nu este in echilibru



liniar

Joined conductor is momentarily not in electrostatic equilibrium.

(b)



patrat

$$E = \frac{\Delta V}{l}$$

Marimi si notiuni definitorii

- **Intensitatea curentului** se defineste drept cantitatea de electricitate ce trece in unitatea de timp printr-un conductor:

$$I = \frac{dQ}{dt} \quad [I]_{SI} = A$$

- Miscarea purtatorilor de sarcina q are loc sub actiunea combinata a agitatiei termice si a campului electric exterior, ceea ce determina o viteza numita de *drift*, notata cu vectorul \vec{u} .
- Sarcina transportata de purtatorii de sarcina din unitatea de volum intr-un timp dt va fi:

$$dQ = q \cdot n \cdot u dt \cdot S \cos \theta \quad (1)$$

unde: n – concentratia purtatorilor de sarcina, egala cu numarul purtatorilor de sarcina din unitatea de volum, S este aria bazei unui cilindru ce delimiteaza volumul respectiv, θ unghiul pe care il face normala la suprafata cu directia vitezei

- \Rightarrow intensitatea curentului electric este: $I = q n u S_n \quad (2)$

Marimi si notiuni definitorii

- **Densitatea curentului** – cantitatea de electricitate transportata in unitatea de timp prin unitatea de suprafata a conductorului:

$$\vec{j} = \frac{dQ}{dt dS} \vec{v} = \frac{dI}{dS} \vec{v} \quad [j]_{SI} = Am^{-2} \quad (3)$$

cu \vec{v} este versorul avand directia si sensul lui \vec{j} .

- Din (2) si (3) se obtine: $\vec{j} = nq\vec{u}$
- Sensul **conventional** al curentului se considera **sensul de deplasare al sarcinilor pozitive**.
Sensul **real** este opus acestuia fiind determinat de **sensul de miscare al electronilor**.
- Din def. densitatii de curent putem scrie:

$$j = \frac{dI}{dS} \Rightarrow dI = j dS$$

$$\int_S dI = \int_S j dS \Rightarrow I = \iint_S \vec{j} \cdot \vec{dS}$$

- $\Rightarrow I$ reprezinta fluxul densitatii de curent prin suprafata transversala a conductorului.

Marimi si notiuni definitorii

- *ecuatia de continuitate:*

$$-\frac{dQ}{dt} = I = \iint_S \vec{j} d\vec{S}$$

$$-\frac{d \iiint_V \rho dV}{dt} = \iint_S \vec{j} d\vec{S} \Rightarrow -\iiint_V \frac{d\rho}{dt} dV = \iiint_V \operatorname{div} \vec{j} dV$$

$$\iiint_V \left(\frac{d\rho}{dt} + \operatorname{div} \vec{j} \right) dV = 0$$

$$\boxed{\frac{d\rho}{dt} + \operatorname{div} \vec{j} = 0}$$

- In regim stationar $\Rightarrow \boxed{\operatorname{div} \vec{j} = \nabla \cdot \vec{j} = 0}$

- In forma integrala:

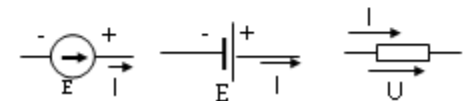
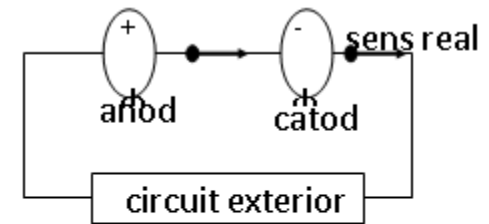
$$\iiint_V \operatorname{div} \vec{j} dV = \iint_S \vec{j} d\vec{S} = 0$$

- adica fluxul liniilor de curent printr-o suprafata inchisa este nul.

liniile de curent sunt curbe inchise; cu alte cuvinte, curentul electric continuu se stabileste numai in circuite inchise

Marimi si notiuni definitorii

- In orice circuit electric este nevoie de o sursa de tensiune care sa asigure transportul sarcinilor electrice
- Purtatorii de sarcina se misca sub actiunea unor “forte” imprimate, invingand atractia columbiana (purtator pozitiv-electrod negativ) precum si respingerea columbiana (purtator pozitiv – electrod pozitiv)
- “Fortelor” imprimate le corespunde un camp imprimat



$$\vec{E}^i = \frac{\vec{F}_{imp}}{q}$$

- Campul imprimat determina tensiunea electromotoare a sursei care produce campul imprimat:

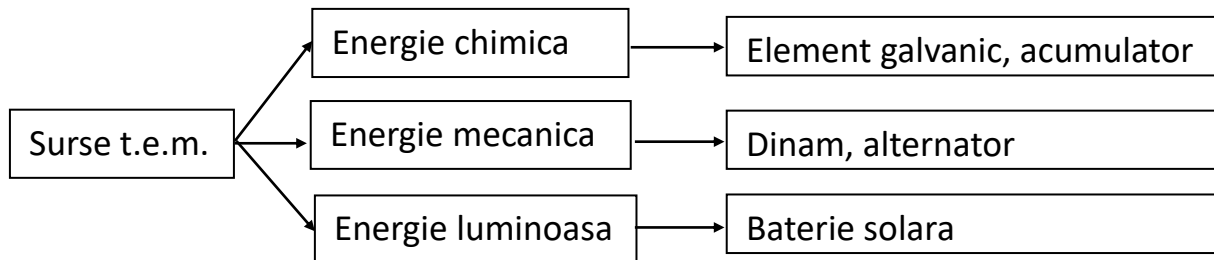
$$E = \oint_{\Gamma} \vec{E}^i d\vec{l}$$

Marimi si notiuni definitorii

- Lucru mecanic efectuat pentru deplasarea sarcinii intr-un circuit inchis este determinat de fortele imprimate si de fortele electrostatice

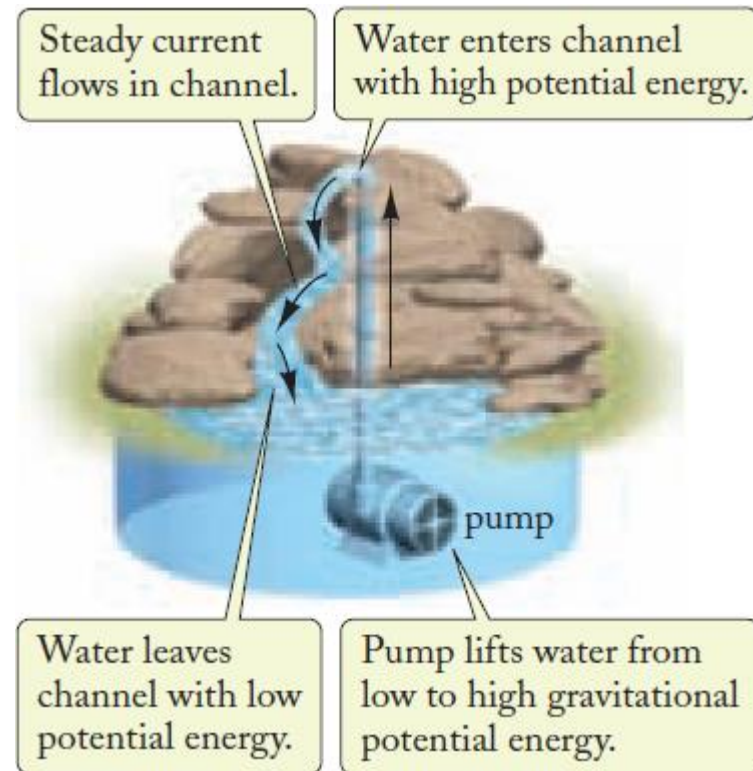
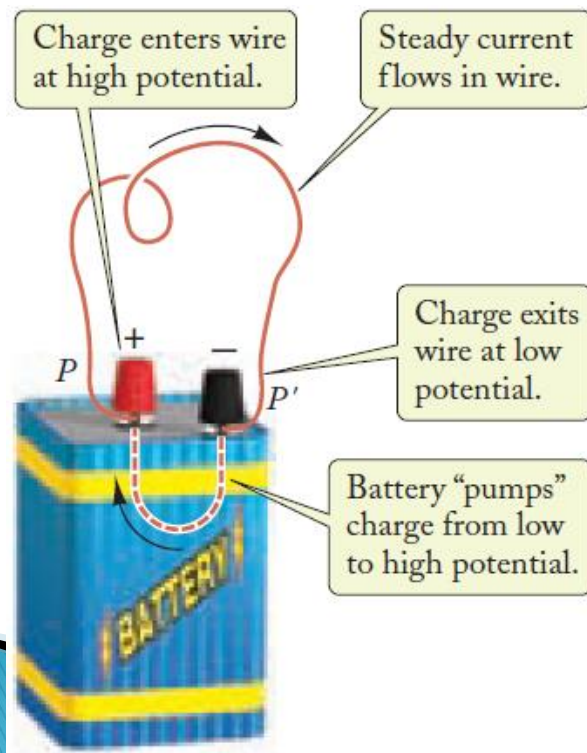
$$L = q \oint_{\Gamma} \vec{E}^i d\vec{l} + q \oint_{\Gamma} \vec{E}_0 d\vec{l}$$

- unde E_0 este campul electrostatic datorat fortelor coulombiene (complet diferite de fortele imprimate $\vec{F}^i = q\vec{E}^i$).
- in practica sursele de t.e.m. transforma un anumit fel de energie in energie electrica.
- in functie de energia folosita sursele se clasifica:



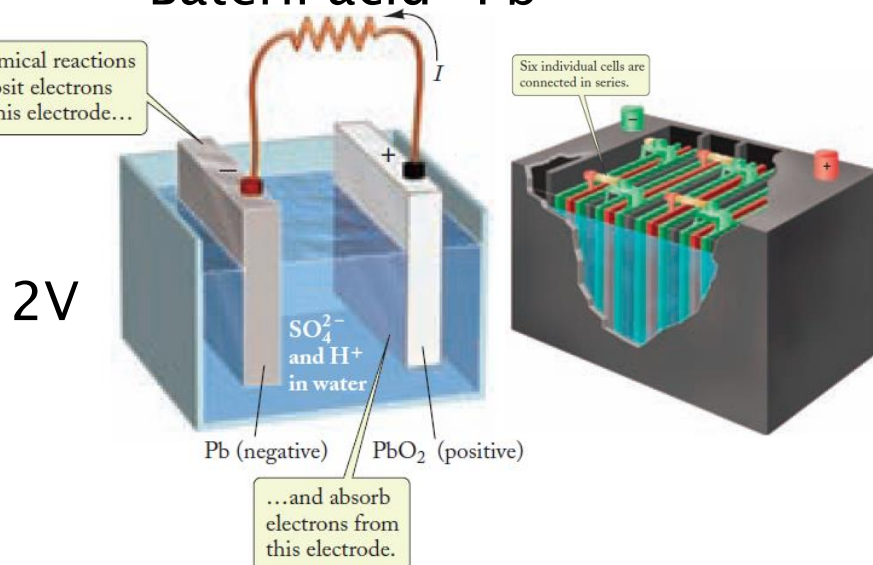
Marimi si notiuni definitorii

- Tensiunea (“Forta”) electromotoare reprezinta cantitatea de energie electrica consumata de sursa pe un coulomb de sarcina pozitiva ce trece prin sursa de la terminalul de potential mic la cel de potential mare

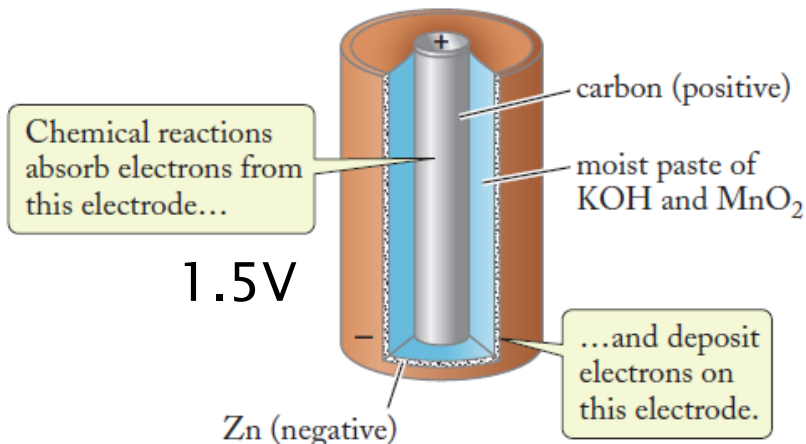


Marimi si notiuni definitorii

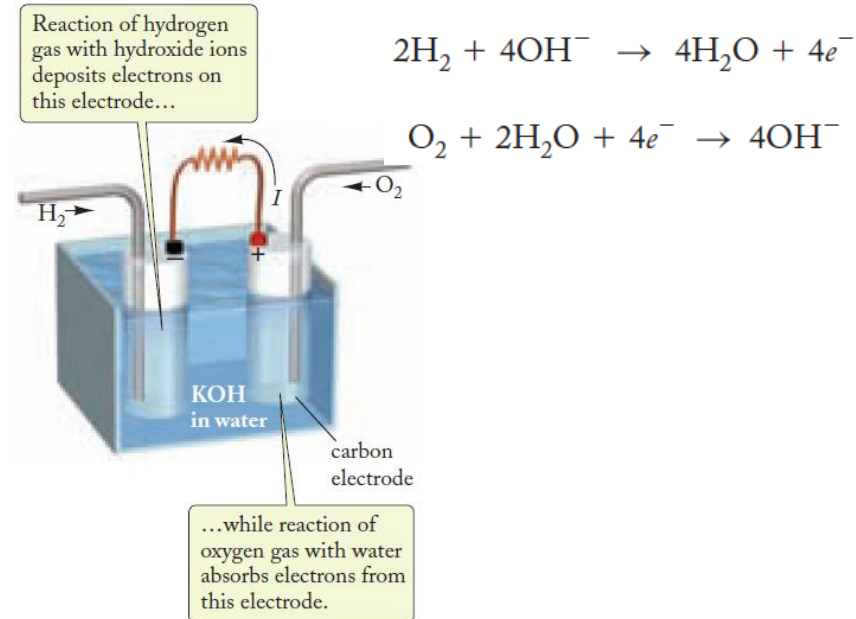
○ Baterii acid=Pb



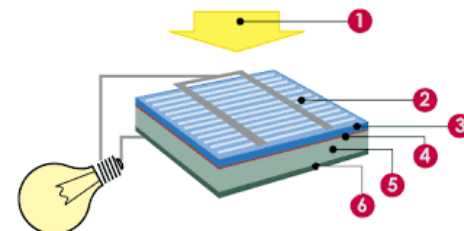
○ Baterii uscate



○ Fuell Cells (celule de comustibil)

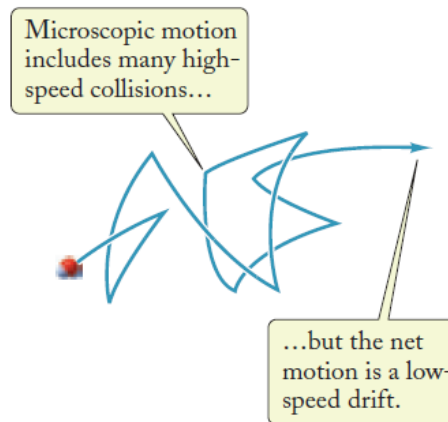


○ Celule solare



Rezistenta electrica

- ▶ Gaz electronic
 - Comparatie curgerea apei pe o panta mica (fara acceleratie-frecare)



Rezistenta electrica

- Rezistenta electrica reprezinta masura franarii purtatorilor de sarcina ce se deplaseaza fie printre ionii retelei cristaline in cazul metalelor, fie printre ionii solutiei electrolitice sau gazului, in cazul conductoarelor de clasa II-a.
- Unitatea de masura a R in SI: $[R]_{SI} = \Omega$
- Un ohm este rezistenta unui conductor prin care circula un curent de 1A daca la capetele sale se aplica o tensiune de 1V.
- Rezistenta electrica depinde de natura conductorului (prin rezistivitatea ρ a materialului) precum si de alti factori dintre care cel mai important este temperatura. Astfel un conductor de lungime l si sectiune S are o rezistenta:

$$R = \rho \frac{l}{S}$$

- unde $\rho = \rho_0[1 + \alpha(t - t_0)]$ $[\rho]_{SI} = \Omega m$

unde ρ_0 este rezistivitatea la $t_0 = 0^\circ\text{C}$ iar α – coeficientul termic al rezistivitatii.

Rezistenta electrica

- Inversul rezistentei se numeste *conductanta*

$$G = \frac{1}{R} \quad [G]_{SI} = \Omega^{-1} = S \quad (\text{siemens})$$

- iar inversul rezistivitatii este *conductivitatea*

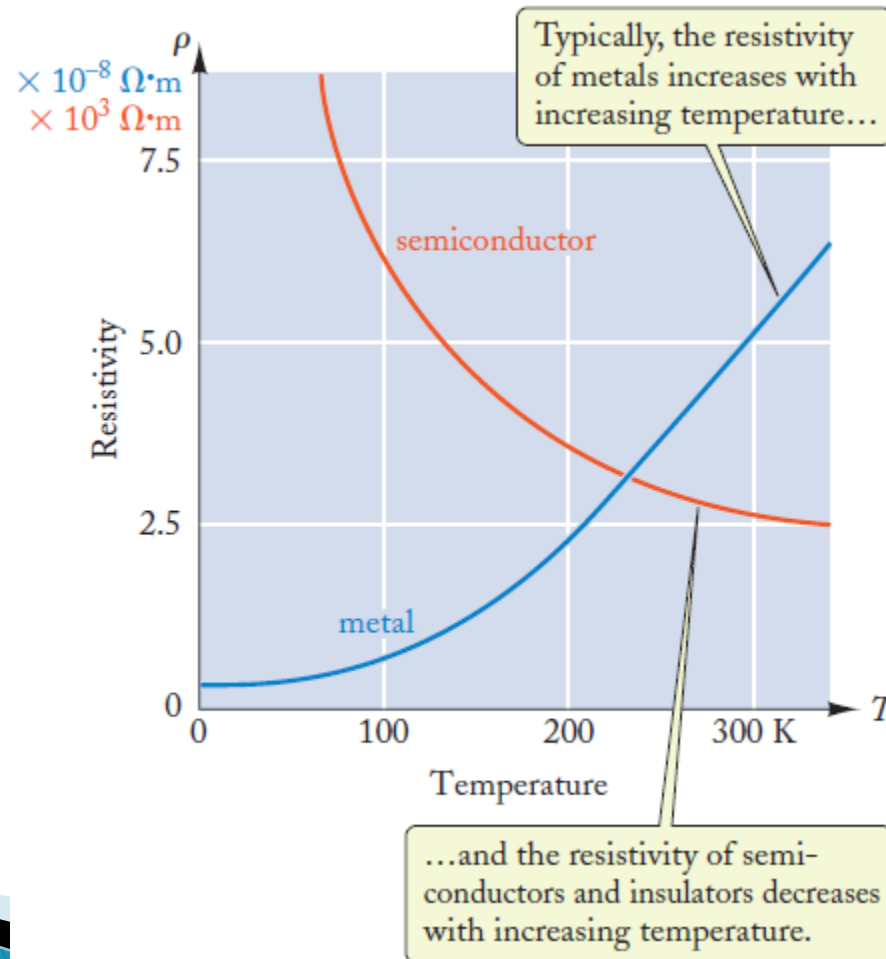
$$\sigma = \frac{1}{\rho} \quad [\sigma]_{SI} = \Omega^{-1}m^{-1}$$

MATERIAL	ρ	α
Silver	$1.6 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$	$3.8 \times 10^{-3}/^{\circ}C$
Copper	1.7×10^{-8}	3.9×10^{-3}
Aluminum	2.8×10^{-8}	3.9×10^{-3}
Brass	$\approx 7 \times 10^{-8}$	2×10^{-3}
Nickel	7.8×10^{-8}	6×10^{-3}
Iron	10×10^{-8}	5×10^{-3}
Steel	$\approx 11 \times 10^{-8}$	4×10^{-3}
Constantan	49×10^{-8}	1×10^{-5}
Nichrome	100×10^{-8}	4×10^{-4}

^a At a temperature of 20°C.

Rezistenta electrica

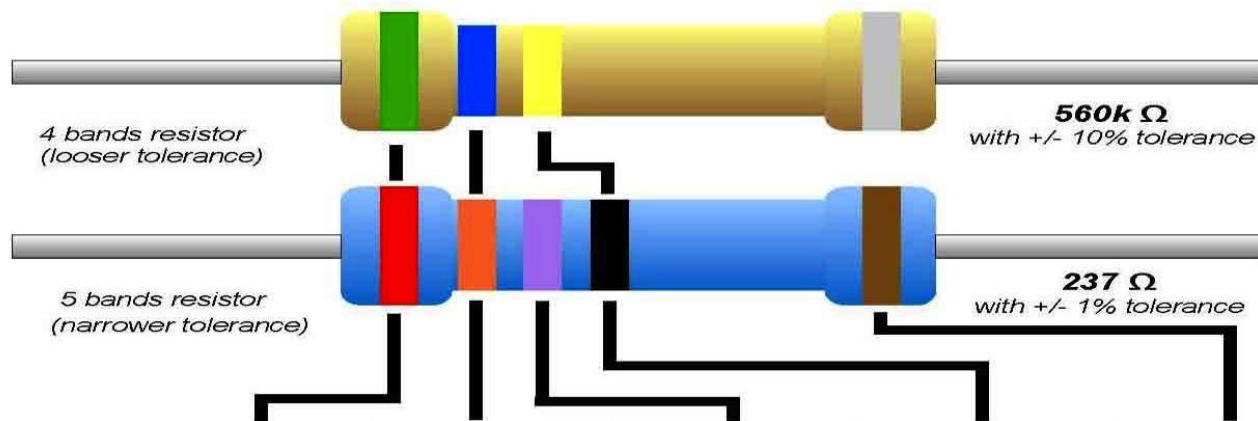
- Dependenta de temperatura



Rezistenta electrica

- Codul culorilor

Resistor Color Code



Color	1 st Band	2 nd Band	3 rd Band	Multiplier	Tolerance
Black	0	0	0	$\times 1 \Omega$	
Brown	1	1	1	$\times 10 \Omega$	+/- 1%
Red	2	2	2	$\times 100 \Omega$	+/- 2%
Orange	3	3	3	$\times 1K \Omega$	
Yellow	4	4	4	$\times 10K \Omega$	
Green	5	5	5	$\times 100K \Omega$	+/- 5%
Blue	6	6	6	$\times 1M \Omega$	+/- 25%
Violet	7	7	7	$\times 10M \Omega$	+/- .1%
Grey	8	8	8		+/- .05%
White	9	9	9		
Gold				$\times .1 \Omega$	+/- 5%
Silver				$\times .01 \Omega$	+/- 10%

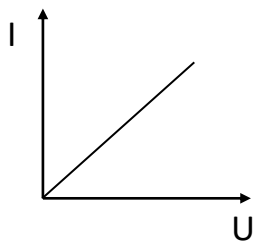
Rezistenta electrica

- Dispozitivele a caror caracteristica principala este rezistenta se numesc *rezistoare*. O clasificare sumara a rezistoarelor este prezentata mai jos:

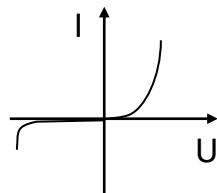
$$\text{Re zistoare} \left\{ \begin{array}{l} \text{fixe} \left\{ \begin{array}{l} \text{liniare } R = U / I \\ \text{neliniare} \left\{ \begin{array}{l} R = R(\text{tensiune}) \\ R = R(\theta) \left\{ \begin{array}{l} NTC \\ PTC \end{array} \right. \\ R = R(\text{flux luminos}) \end{array} \right. \end{array} \right. \\ \text{variabile} \left\{ \begin{array}{l} \text{liniare} \\ \text{log aritmice} \end{array} \right. \end{array} \right.$$

Legea lui Ohm

- ▶ Un circuit electric este un aranjament de dipoli macroscopici prin care poate trece un curent electric.
- ▶ Dipolii – sau elementele circuitului – se clasifica in:
 - Dipoli activi – sursele de tensiune (baterie electrica, acumulatori etc) caracterizate prin prezenta unei tensiuni la borne – masurabila cu un voltmetru.
 - Dipoli pasivi – consumatorii sau receptorii de energie care, in lipsa alimentarii, nu prezinta tensiune la borne (rezistoare, becuri, resouri etc).
- ▶ Descrierea dipolilor se face prin caracteristica de curent (caracteristica volt–ampermetrica) $I=I(U)$ sau caracteristica inversa $U=U(I)$.

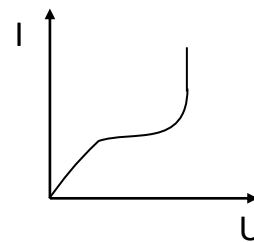


conductor metalic

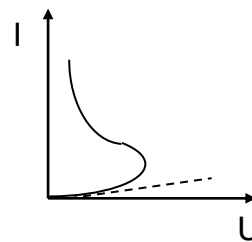


dioda

semiconductoare



descarcare in gaz



termistor

Legea lui Ohm

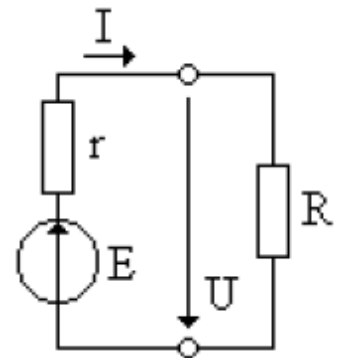
- **Legea lui Ohm microscopica**
- Daca intre doua puncte ale unui conductor se aplica o diferenta de potential $U = \varphi_1 - \varphi_2$, prin conductor va trece un curent a carui intensitate este proportionala cu tensiunea la borne:

$$I = \frac{U}{R} = GU$$

- Legea lui Ohm pentru o portiune de circuit

$$I = \frac{E}{R + r}$$

- Legea lui Ohm pentru un circuit intreg simplu



Legea lui Ohm

- **Legea lui Ohm microscopica**
- Din legea lui Ohm pentru o portiune de circuit si din

$$|E| = \text{grad} \varphi = U / l$$

- $\Rightarrow I = \frac{El}{\rho \frac{l}{S}} = \sigma E S \Rightarrow \boxed{\vec{j} = \sigma \vec{E}}$ legea lui Ohm in forma locala (intr-un punct)

$$\boxed{\vec{j} = -\sigma \nabla \varphi}$$

densitatea de curent este de sens contrar cu gradientul potentialului

- Este o lege de material care arata ca densitatea de curent in orice punct al unui conductor este proportionala cu intensitatea campului electric.

Legea lui Ohm

- Explicatia proceselor de conductie electrica este de natura microscopica.
- Teoria clasica elaborata de Drude si Lorentz are la baza modelul "gazului electronic" – conform caruia electronii liberi din metal se comporta similar atomilor unui gaz ideal. in absenta unui camp electric electronii sunt supusi miscarii de agitatie termica. In prezenta unui camp electric forta electrica va determina o miscare de drift in decursul careia electronii vor suferi ciocniri sistematice cu ionii din nodurile retelei cristaline. Dupa ciocnire electronii pornesc cu viteza initiala nula (! clasic) intr-o miscare accelerata:

$$\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m} = -\frac{e\vec{E}}{m}$$

$$\vec{u}_{mediu} = \vec{a}\tau = -\frac{e\tau}{m}\vec{E}$$

unde τ este timpul de relaxare – timpul mediu intre doua ciocniri consecutive

Legea lui Ohm

$$\vec{j} = n(-e)\left(-\frac{e\tau}{m}\vec{E}\right) = \frac{ne^2\tau}{m}\vec{E} \quad \text{unde } \sigma = \frac{ne^2\tau}{m} \text{ este conductivitatea materialului, dependenta de concentratia } n \text{ a purtatorilor de sarcina}$$

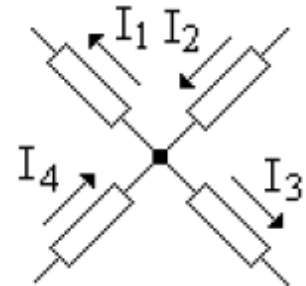
$$\mu = \frac{e\tau}{m} \quad \text{mobilitatea purtatorilor de sarcina, reprezinta viteza medie a purtatorilor de sarcina intr-un camp electric unitar } E = 1 \text{ V/m.}$$

Legile lui Kirchhoff

- ▶ Dacă n este numărul de noduri și b – numărul de ochiuri ale unui circuit electric, se pot scrie legile lui Kirchhoff:

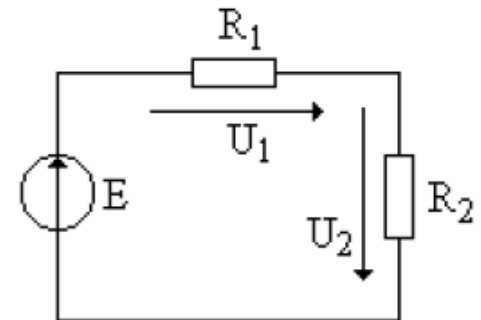
- Prima lege a lui Kirchhoff (legea nodurilor):

$$(*) \quad \sum_{i=1}^p I_i = 0 \quad \text{de } (n-1) \text{ ori}$$



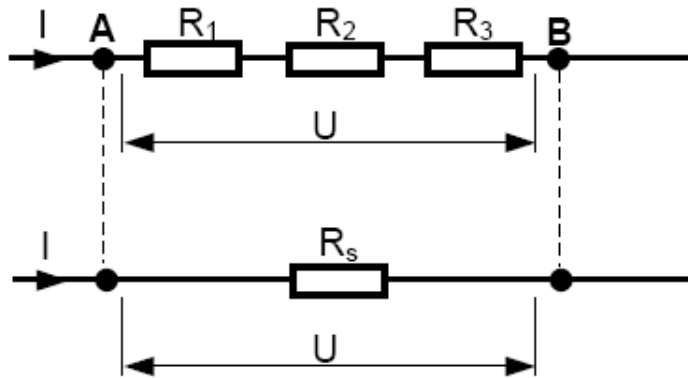
- A doua lege a lui Kirchhoff (legea ochiurilor de rețea)

$$(**) \quad \sum_{i=1}^p E_i = \sum_{j=1}^s I_j R_j \quad \text{de } b \text{ ori}$$



Gruparea rezistoarelor

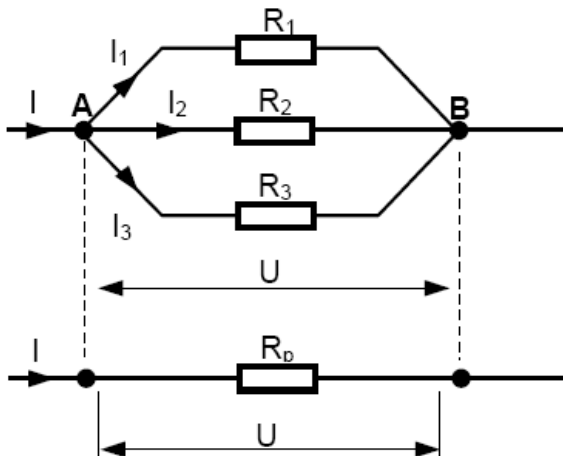
▶ Gruparea in serie



$$R_S = \sum_{i=1}^n R_i$$

$$R_S = R_1 + R_2 + R_3$$

▶ Gruparea in paralel



$$\frac{1}{R_P} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{R_i}$$

$$\frac{1}{R_P} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

Gruparea rezistoarelor

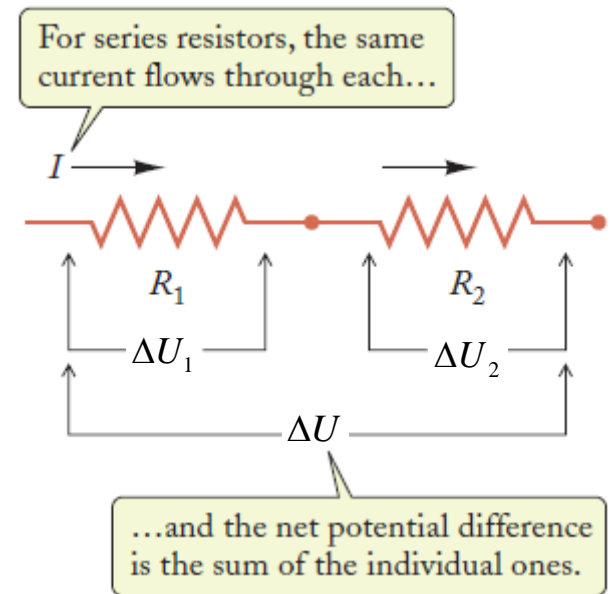
▶ Gruparea in serie

$$\Delta U = \Delta U_1 + \Delta U_2 = IR_1 + IR_2$$

$$R = \frac{\Delta U}{I} = \frac{IR_1 + IR_2}{I} = R_1 + R_2$$

▶ Forma generala

$$R_S = \sum_{i=1}^n R_i$$



Gruparea rezistoarelor

► Gruparea in paralel

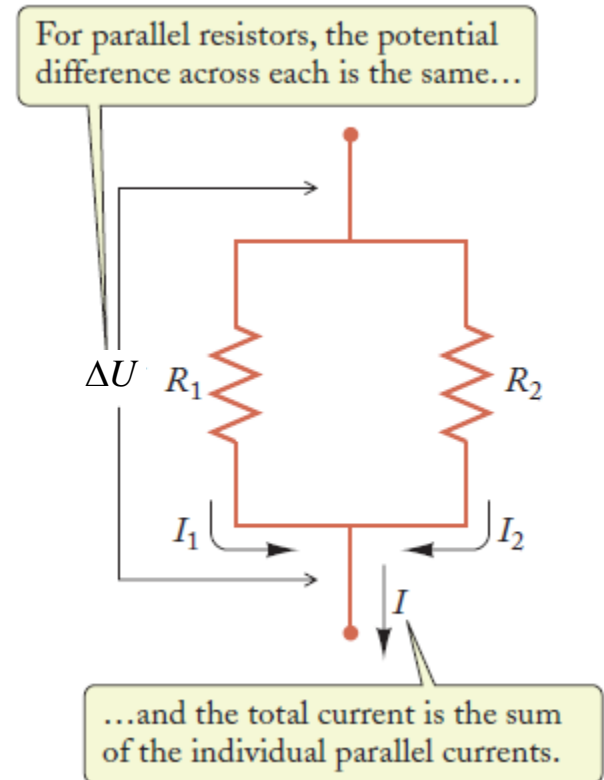
$$I_1 = \frac{\Delta U}{R_1} \text{ si } I_2 = \frac{\Delta U}{R_2}$$

$$I = I_1 + I_2 = \frac{\Delta U}{R_1} + \frac{\Delta U}{R_2}$$

$$\frac{I}{\Delta U} = \boxed{\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}}$$

► Forma generala

$$\boxed{\frac{1}{R_p} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{R_i}}$$



Legea lui Joule

- ▶ Puterea electrica

$$P = UI = I^2 R = \frac{U^2}{R}$$

$$[P]_{SI} = 1W$$

$$1W = \frac{1J}{1s}$$

- ▶ La trecere curentului electric print-un conductor acesta se incalzeste

$$W = UIt = I^2 R t = \frac{U^2}{R} t$$

$$[W]_{SI} = J$$



Masurarea rezistentelor

► Puntea Wheatstone

- R_x necunoscuta
- R_1 reziztenta reglabila de precizie
- R_2 si R_3 rezistente fixe
- Relatiile pentru puntea echilibrata ($V_P = V_Q$):

$$I_s R_1 = I_d R_x$$

$$I_s R_2 = I_d R_3$$

- Prin impartire $\Rightarrow \frac{R_1}{R_2} = \frac{R_x}{R_3}$
-

$$R_x = R_1 \frac{R_3}{R_2}$$

