

1. CURENTUL ELECTRIC. INTENSITATEA CURENTULUI ELECTRIC

Curentul electric este fenomenul fizic care constă în mișcarea dirijată a purtătorilor de sarcină electrică sub acțiunea unui câmp electric.

Purtătorii de sarcină electrică liberi sunt:

- în metale – electronii;
- în electroliți – ionii pozitivi și cei negativi;
- în semiconductoare – electronii și golurile;
- în gazele ionizate – electronii și ionii pozitivi ce apar în urma proceselor de ionizare.

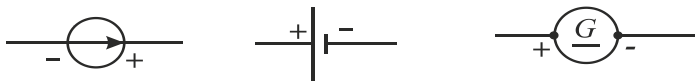
Curentul electric poate fi:

- *staționar*, când viteza mișcării ordonate a purtătorilor de sarcină (10^{-5} m/s) este constantă în timp;
- *continuu*, când viteza medie a purtătorilor de sarcină este constantă în timp;
- *alternativ*, în caz contrar.

Generatoarele electrice sunt dispozitive care produc curent electric într-un circuit.

Generatorul electric nu creează purtători de sarcină electrică liberi. El transformă o formă oarecare de energie în energie electrică.

Simbolul generatorului electric:



Generatorul electric se mai numește și *sursă de tensiune electromotoare*.

Circuitul electric este ansamblul format din generator electric, conductoare de legătură și unul sau mai mulți consumatori.

Circuitul electric este format din:

- circuitul interior sau interiorul sursei electrice;
- circuitul exterior care cuprinde conductoarele de legătură și consumatorii.

Sensul convențional al curentului electric este:

- în circuitul exterior, curentul circulă de la borna pozitivă a generatorului electric la cea negativă;
- prin generator, curentul circulă de la borna negativă la cea pozitivă (sensul real al purtătorilor de sarcină negativă).

Intensitatea curentului electric este mărimea fizică scalară numeric egală cu raportul dintre sarcina electrică ce străbate o secțiune transversală oarecare a conductorului și intervalul de timp.

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

$$[I]_{SI} = \frac{[Q]_{SI}}{[\Delta t]_{SI}} = \frac{C}{s} = A \text{ (Amper)}$$

Amperul este unitate de măsură fundamentală.

Intensitatea curentului electric este mărime fizică fundamentală.

Instrumentul cu care se măsoară intensitatea curentului electric se numește *ampermetru*. Acesta se montează în serie cu elementul de circuit pentru care trebuie măsurată intensitatea curentului electric:

2. TENSIUNEA ELECTRICĂ. TENSIUNEA ELECTROMOTOARE

Tensiunea electrică între două puncte A și B ale unui circuit este mărimea fizică scalară numeric egală cu raportul dintre lucrul mecanic efectuat de forțele câmpului electric pentru a deplasa purtătorii de sarcină liberi între acele puncte și sarcina electrică a acestora.

$$U_{AB} = \frac{L_{AB}}{q}$$

Unitatea de măsură în Sistemul Internațional este:

$$[U]_{SI} = \frac{[L]_{SI}}{[q]_{SI}} = \frac{J}{C} = V \text{ (Volt)}$$

Tensiunea electromotoare (t.e.m.) a unui generator este mărimea fizică scalară, specifică acestuia, numeric egală cu raportul dintre lucrul mecanic efectuat pentru deplasarea purtătorilor de sarcină electrică de-a lungul întregului circuit și sarcina electrică a acestuia:

$$E = \frac{L_{tot}}{q}$$

$$L_{tot} = L_{ext} + L_{int}$$

L_{ext} = lucrul mecanic efectuat de sursă pentru a deplasa sarcina q în circuitul exterior.

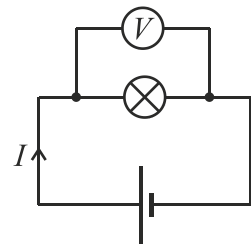
L_{int} = lucrul mecanic efectuat de sursă pentru a deplasa sarcina q în interiorul sursei.

$U = \frac{L_{ext}}{q}$ - căderea de tensiune pe circuitul exterior sursei electrice.

$u = \frac{L_{int}}{q}$ - căderea de tensiune în interiorul sursei electrice.

$E = U + u$ - bilanțul tensiunilor

Tensiunea electromotoare și tensiunea electrică se măsoară cu *voltmetrul*. Acesta se montează în paralel cu elementul de circuit la bornele cărui vrem să determinăm tensiunea.



3. REZISTENȚA ELECTRICĂ. REZISTIVITATEA ELECTRICĂ

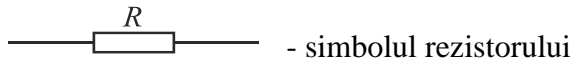
Sarcinile electrice, aflate în mișcare printr-un circuit, întâmpină o rezistență datorită faptului că unele sunt transportate de particule electrice (de exemplu, electronii în conductorii metalici, ionii în electroliți) care se ciocnesc de alte particule componente ale conductorului pierzând energie. Mărimea fizică care caracterizează pierderea de energie este rezistența electrică.

Rezistența electrică a unui conductor este mărimea fizică, specifică lui, numeric egală cu raportul dintre tensiunea electrică aplicată la capetele conductorului și intensitatea curentului electric care îl străbate.

$R = \frac{U}{I}$ - formula de definiție

$$[R]_{SI} = \frac{[U]_{SI}}{[I]_{SI}} = \frac{V}{A} = \Omega \text{ (Ohm)}$$

Elementul fizic caracterizat în principal de rezistența electrică se numește *rezistor*.



La conductorii metalici, rezistența electrică depinde de structura internă și dimensiunile conductorului:

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

ρ =rezistivitatea electrică

l = lungimea

S =aria secțiunii transversale

$$[\rho]_{SI} = \frac{[R]_{SI} [S]_{SI}}{[l]_{SI}} = \Omega \cdot m$$

Rezistivitatea ρ nu depinde de dimensiunile firului conductor, ci numai de natura materialului din care este confecționat acesta.

Dependența rezistivității electrice de temperatură este liniară:

$$\rho = \rho_0 (1 + \alpha t)$$

ρ =rezistivitatea electrică la temperatura t ;

ρ_0 =rezistivitatea electrică la temperatura de 0°C ;

α =coeficientul de temperatură al rezistivității; acesta are valori specifice fiecărei substanțe și unitatea de măsură: $[\alpha]_{SI} = \text{grad}^{-1}$

Rezistența electrică a conductorului depinde liniar de temperatură:

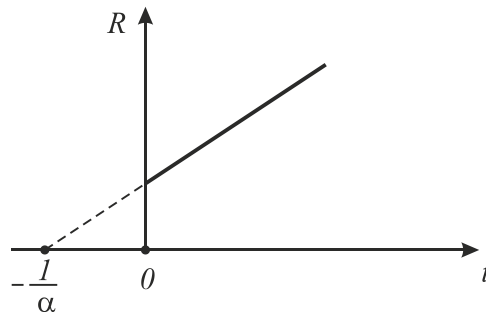
$$R = R_0 (1 + \alpha t)$$

R_0 =rezistența la 0°C

R =rezistența la

α =coeficientul termic

$$[\alpha]_{SI} = \text{grad}^{-1}$$



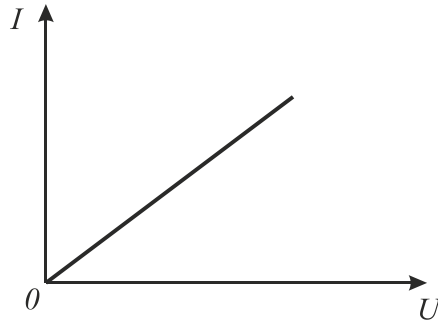
temperatura t
al rezistenței

4. LEGEA LUI OHM

Legea lui Ohm pentru o porțiune de circuit

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

Enunț: Intensitatea curentului electric care trece printr-un rezistor este direct proporțională cu tensiunea electrică aplicată la capetele acestuia și invers proporțională cu rezistența sa electrică.



⇒ intensitatea curentului electric ce străbate un rezistor este funcție liniară de tensiunea electrică aplicată la capetele lui

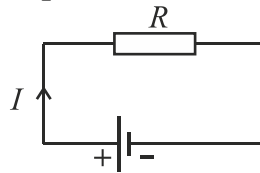
Graficul $I=f(U)$ se numește *caracteristica curent-tensiune* a rezistorului:

Legea lui Ohm pentru un circuit simplu

R = rezistența rezistorului

r = rezistența internă a sursei

$$\begin{array}{l} E = U + u \\ U = IR \\ u = Ir \end{array} \quad \Rightarrow \quad I = \frac{E}{R+r}$$



Enunț: Intensitatea curentului electric dintr-un circuit simplu este egală cu raportul dintre tensiunea electromotoare a sursei și rezistența totală a circuitului.

Observații:

- dacă sursa *nu este în sarcină* (nu este legată la circuitul exterior), tensiunea la bornele ei este:

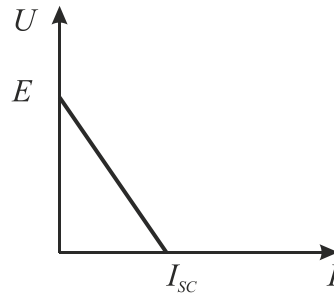
$$u = E$$

- dacă sursa *este în sarcină*,

$$U = E - Ir$$

- dacă sursa *este în scurtcircuit*

$$U = 0 \Rightarrow I_{sc} = \frac{E}{r}$$



tensiunea la bornele ei este:

($R=0$), atunci:

5. LEGILE LUI KIRCHHOFF

Circuitele electrice cu mai multe ramificații se numesc *rețele electrice*.

Elementele unei rețele electrice sunt:

- *nodul*: punctul în care se întâlnesc cel puțin trei conductoare;
- *latura* sau *ramura*: porțiunea de circuit cuprinsă între două noduri succesive;
- *ochiul de rețea*: conturul poligonal închis format din succesiunea mai multor laturi.

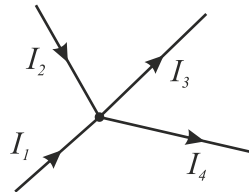
Legea I a lui Kirchhoff se referă la nodurile de rețea și este o consecință a legii conservării sarcinii electrice.

$$q_{\text{intră în nod}} = q_{\text{iese din nod}}$$

$$q_1 + q_2 = q_3 + q_4 \quad /: \Delta t$$

$$\frac{q_1}{\Delta t} + \frac{q_2}{\Delta t} = \frac{q_3}{\Delta t} + \frac{q_4}{\Delta t}$$

$$I_1 + I_2 = I_3 + I_4$$



$$\sum_{i=1}^n I_{i,\text{intr}} = \sum_{k=1}^m I_{k,\text{ies}}$$

Enunț: suma intensităților curenților electrice care intră într-un nod este egală cu suma intensităților curenților electrice care ies din acel nod.

$$\sum_{i=1}^n I_i = 0$$

sau

Suma algebrică a intensităților curenților electrice care se întâlnesc într-un nod de rețea este zero.

Convenție

$I > 0$ dacă sensul curențului electric intră în nod.

$I < 0$ dacă sensul curențului electric iese din nod.

Legea a II-a a lui Kirchhoff se referă la ochiurile de rețea și este o consecință a legii conservării energiei.

$$\sum_{k=1}^m E_k = \sum_{i=1}^n I_i R_i$$

Enunț: De-a lungul conturului unui ochi de rețea, suma algebrică a tensiunilor electromotoare este egală cu suma algebrică a produselor dintre intensitatea curențului electric și rezistența totală pentru fiecare latură (căderile de tensiune).

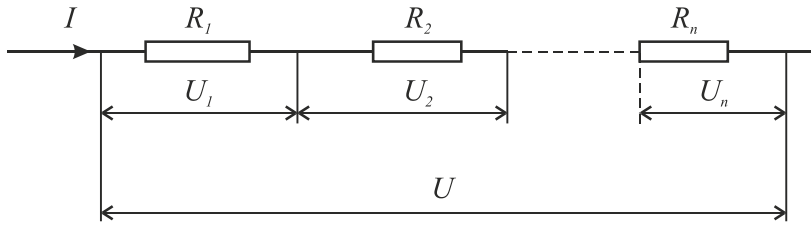
Pentru aplicarea acestei legi este necesar să se aleagă mai întâi un sens arbitrar de parcurs pentru fiecare ochi de rețea. La scrierea ecuațiilor se folosesc următoarele *convenții de semn*:

1. t.e.m. se consideră pozitivă ($E > 0$) dacă sensul de parcurs ales pentru ochi străbate sursa în sens direct (de la borna negativă la cea pozitivă); în caz contrar t.e.m. se ia cu semnul minus ($E < 0$).
2. Produsul IR se consideră pozitiv ($IR > 0$) atunci când sensul de parcurs pentru ochi coincide cu sensul ales pentru curențului electric din latura respectivă; în caz contrar $IR < 0$.

6. GRUPAREA REZISTOARELOR

a) Gruparea în serie

Într-o grupare serie, intensitatea curentului care trece prin rezistoare este aceeași.



$$U = U_1 + U_2 + \dots + U_n$$

Înlocuind tensiunile din legea lui Ohm

$$\Rightarrow IR_s = IR_1 + IR_2 + \dots + IR_n \quad /:I$$

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

Dacă rezistențele sunt identice: $R_1 = R_2 = \dots = R_n = R$

$$R_s = nR$$

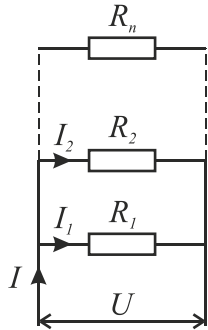
Observație:

Gruparea în serie se practică atunci când dorim obținerea unei rezistențe echivalente mai mare decât cele pe care le avem la dispoziție.

b) Gruparea în paralel

Într-o grupare în paralel, tensiunea la bornele tuturor rezistențelor este aceeași.

Aplicăm legea I a lui Kirchhoff:



$$I = I_1 + I_2 + \dots + I_n$$

Înlocuind intensitățile din legea lui Ohm

$$\Rightarrow \frac{U}{R_p} = \frac{U}{R_1} + \frac{U}{R_2} + \dots + \frac{U}{R_n} \quad /:U$$

$$\frac{1}{R_p} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n}$$

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

Dacă rezistențele sunt identice: $R_1 = R_2 = \dots = R_n = R$

$$R_p = \frac{R}{n}$$

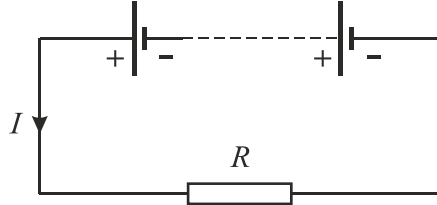
Observație:

Gruparea în paralel se practică atunci când dorim obținerea unei rezistențe echivalente mai mică decât cele pe care le avem la dispoziție.

7. GRUPAREA GENERATOARELOR ELECTRICE

a) Gruparea în serie

Se realizează legând borna pozitivă a unui generator cu borna negativă a generatorului următor și, în final, grupul de generatoare are ca pol pozitiv borna pozitivă a primului generator, iar ca pol negativ – borna negativă a ultimului generator:



Pentru o grupare serie de n generatoare identice (aceeași E și r), conform legii a II-a a lui Kirchhoff și legii lui Ohm putem scrie:

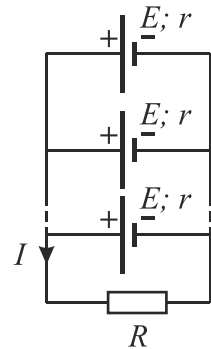
$$\left. \begin{array}{l} nE = nIr + IR \\ E_{echiv} = Ir_{echiv} + IR \end{array} \right\} \Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} E_e = nE \\ r_e = nr \\ I_s = \frac{nE}{R + nr} \end{array} \right.$$

b) Gruparea în paralel

Se realizează legând bornele pozitive ale acestora împreună, respectiv cele negative împreună.

Pentru o grupare în paralel de n generatoare identice, conform legilor lui Kirchhoff și legii lui Ohm pentru circuitul echivalent putem scrie:

$$\left. \begin{array}{l} I = nI' \\ E = I'r + IR \\ E_{echiv} = Ir_{echiv} + R \end{array} \right\} \Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} E_e = E \\ r_e = \frac{r}{n} \\ I_p = \frac{E}{R + \frac{r}{n}} \end{array} \right.$$



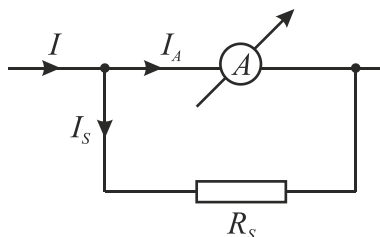
8. ȘUNTUL AMPERMETRULUI ȘI REZISTENȚA ADIȚIONALĂ A VOLTMETRULUI

a) Șuntul ampermetrului

Ampermetrul montat în serie măsoară intensitatea curentului ce trece prin el, deci rezistența internă a lui trebuie să fie foarte mică, pentru ca eroarea de măsurare să fie mică.

Dacă $R_A > R$, se montează în paralel cu ampermetrul o rezistență numită **rezistență șunt**, care are rolul de a micșora rezistența internă echivalentă a aparatului și deci, de a-i mări domeniul de măsurare.

Aplicând legile lui Kirchhoff, putem scrie:

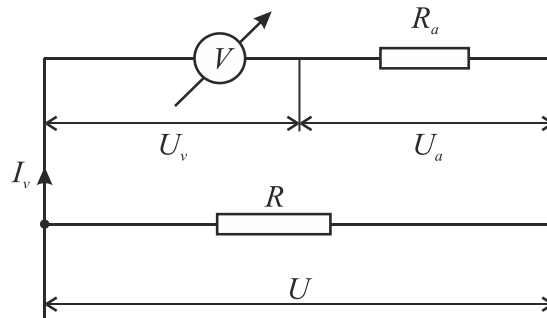


$$\left. \begin{array}{l} I = I_A + I_S \\ I_A R_A = I_S R_S \\ I = nI_A \end{array} \right\} \Rightarrow R_S = \frac{R_A}{n-1} \quad \text{unde} \quad n = \frac{I}{I_A}$$

b) Rezistența adițională a voltmetrului

Voltmetrul montat în *paralel* între două puncte din circuit, măsoară tensiunea electrică sau diferența de potențial dintre aceste două puncte. Rezistența lui internă trebuie să fie foarte mare, astfel încât curentul ce trece prin voltmetru să fie neglijabil comparativ cu intensitatea curentului care trece prin circuit între cele două puncte.

Dacă tensiunea de măsurat U este mai mare decât tensiunea maximă U_v pe care o poate măsura voltmetrul, adică $U = nU_v$ se leagă în serie cu acesta o rezistență adițională R_a care are rolul de a crește rezistența și deci, de a-i mări domeniul de măsurare.



$$\begin{aligned} U &= nU_v \\ U &= U_v + U_a \end{aligned} \left| \Rightarrow U_a = (n-1)U_v \right.$$
$$\begin{aligned} U_a &= I_v R_a \\ U_v &= I_v R_v \end{aligned} \left| \Rightarrow R_a = R_v (n-1) \right.$$

unde $u = \frac{U}{U_v}$

9. EFECTUL TERMIC AL CURENTULUI ELECTRIC. LEGEA LUI JOULE

Efectul termic al curentului electric sau **efectul Joule** constă în încălzirea conductoarelor prin care trece curent electric.

Acest efect se explică astfel: electronii de conducție se ciocnesc de ionii rețelei cărora le cedează o parte din energia lor cinetică. Drept urmare, ionii își intensifică agitația termică, fapt care conduce la ridicarea temperaturii conductorului. Acesta va ceda căldură mediului înconjurător și în felul acesta energia internă a conductorului se păstrează constantă.

Legea lui Joule:

$$\begin{aligned} W &= UIAt \\ W &= Q \\ U &= RI \end{aligned} \left| \Rightarrow Q = UIAt = \frac{U^2}{R} At = RI^2 At \right.$$

Enunț: Căldura degajată la trecerea curentului electric printr-un conductor este direct proporțională cu rezistența conductorului, cu pătratul intensității curentului care trece prin conductor și cu timpul cât trece curentul electric prin conductor.

Observație:

$$W_{tot} = W_{ext} + W_{int} - \text{energia furnizată de generatorul electric}$$

$$W_{ext} = UI\Delta t = \frac{U^2}{R} \Delta t = RI^2 \Delta t \text{ - energia furnizată circuitului exterior}$$

$$W_{int} = uI\Delta t = \frac{u^2}{r} \Delta t = rI^2 \Delta t \text{ - energia furnizată circuitului interior}$$

$$[W]_{SI} = J \text{ (Joule)} \quad 1KWh = 3,6 \cdot 10^6 J$$

10. PUTEREA ELECTRICĂ. RANDAMENTUL CIRCUITULUI ELECTRIC

Puterea electrică este mărimea fizică scalară egală cu energia electrică dezvoltată în unitatea de timp.

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

$$[P]_{SI} = \frac{J}{s} = W \text{ (Watt)}$$

$$P = UI = RI^2 = \frac{U^2}{R} \text{ - puterea electrică disipată pe un rezistor}$$

$$P_{tot} = EI \text{ - puterea furnizată de generatorul electric}$$

$$P_{ext} = UI = RI^2 = \frac{U^2}{R} \text{ - puterea disipată în circuitul exterior}$$

$$P_{int} = uI = rI^2 = \frac{u^2}{R} \text{ - puterea disipată în circuitul interior}$$

$$P_{tot} = P_{ext} + P_{int} \text{ - bilanțul puterilor}$$

Randamentul circuitului electric (η) reprezintă raportul dintre puterea debitată pe circuitul exterior și puterea pe întreg circuitul.

$$\eta = \frac{P_{ext}}{P_{tot}} \quad \eta = \frac{U}{E} \quad \eta = \frac{R}{R+r}$$

P_{ext} este cea care conduce la încălzirea corpurilor. De aceea se mai numește **putere utilă**.

Cazuri:

- pentru rezistența circuitului exterior foarte mare ($R \rightarrow \infty$) $\Rightarrow \eta \square 1$ - cea mai mare valoare

- pentru $R=r$ generatorul va transmite circuitului exterior **puterea maximă**:

$$\left. \begin{aligned} P_{ext} &= RI^2 = R \frac{E^2}{(R+r)^2} = \frac{rE^2}{4r^2} = \frac{E^2}{4r} \\ P_{tot} &= EI = \frac{E^2}{R+r} = \frac{E^2}{2r} \end{aligned} \right| \Rightarrow \eta = 50\%$$

- pentru $R=0 \Rightarrow$ generator în scurtcircuit

$$P_{tot} = \frac{E^2}{r}$$