

Materiale didactice suport  
pentru pregătirea pentru examenul de bacalaureat  
la disciplina

# *Producerea și utilizarea curentului continuu*

Elaborat de  
*drd. Diana Dumitrele*

*Material elaborat în cadrul proiectului CNFIS-FDI-2021-0471 „UVT – Acces și  
echitate în învățământul superior”*

## Capitolul I – Curentul electric

### I.1 Intensitatea curentului electric

Substanțele în interiorul cărora există particule cu sarcină electrică, libere să se deplaseze, se numesc conductoare. Aceste particule se numesc purtători liberi de sarcină. Metalele sunt conductoare. În metale, purtătorii de sarcina sunt electronii liberi, care au sarcină electrică negativă. Substanțele în interiorul cărora nu există purtători de sarcină electrică se numesc izolatoare (dielectrice).

Prin noțiunea de curent electric se înțelege deplasarea ordonată și dirijată a purtătorilor de sarcină electrică (transportul de electroni liberi).

**Intensitatea curentului electric** reprezintă o mărime fizică fundamentală egală cu sarcina electrica ce străbate secțiunea transversală a unui conductor în unitate de timp.

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

$Q$  – cantitate de sarcină electrică

$$[Q]_{S.I.} = C \text{ (Coulomb)}$$

$\Delta t$  – interval de timp

$$[t]_{S.I.} = s \text{ (secundă)}$$

Unitatea de măsură a intensității curentului electric în sistemul internațional de unități (S.I.) se numește Amper (A).

$$[I]_{S.I.} = 1A$$

$$1A = 1C \cdot 1s$$

Orice cantitate de sarcină electrică este un multiplu întreg de sarcini electrice elementare.

$$Q = N \cdot e$$

$N$  – număr de electroni liberi

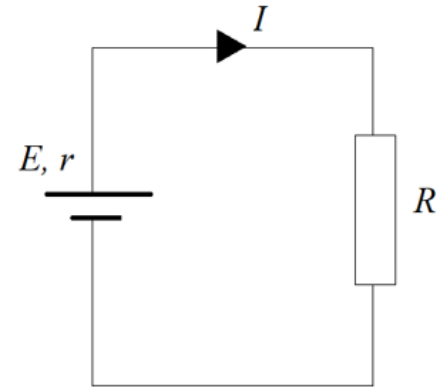
$e$  – sarcina electronului

$$e = -1.6 \cdot 10^{-19} C$$

$$I = \frac{N \cdot e}{\Delta t}$$








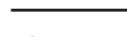



## I.2 Circuitul electric simplu

**Circuitul electric simplu** este un ansamblu format dintr-o sursă de tensiune (baterie sau generator), un rezistor  $R$ , și fire conductoare (fig. 1)



Simboluri pentru diferite elemente de circuit:

Fig. 1 Circuit electric simplu

Generator electric	Consumatori	Înterupător deschis și închis	Fire de legătură conectate și neconectate	Aparate de măsură
  	bec electric  rezistor 	 	 	ampermetru  voltmetru 

**Sursa de tensiune** efectuează lucrul mecanic necesar deplasării purtătorilor de sarcină prin acel circuit.

**Observație:** Sensul convențional al curentului prin circuit este opus sensului de deplasare al electronilor liberi.

**Tensiunea electromotoare** este numeric egală cu lucrul mecanic total efectuat de generator pentru deplasarea unității de sarcină electrică prin întreg circuitul.

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

O parte din acest lucru mecanic este cel efectuat de generator pentru transportul sarcinii electrice în exteriorul circuitului (în circuitul exterior). Astfel, putem defini **tensiunea la bornele generatorului**:

$$U = \frac{L_{ext}}{q}$$

În general, tensiunea electromotoare a generatorului este mai mare decât tensiunea de la bornele acestuia.

Cealaltă parte din lucrul mecanic total este cel efectuat de generator pentru transportul sarcinii electrice în interiorul generatorului. Acesta se numește **căderea de tensiune internă**:

$$u = \frac{L_{int}}{q}$$

Relația dintre tensiuni este:

$$E = U + u$$

Unitatea de măsură pentru tensiune în S.I. este Voltul (V).

$$[E]_{S.I.} = [U]_{S.I.} = [u]_{S.I.} = 1V$$

$$1V = \frac{1J}{1C}$$

## Capitolul II - Legea lui Ohm

### II.1 Rezistența electrică

**Rezistența electrică** este o mărime fizică scalară prin care se exprimă proprietatea unui conductor electric de a se opune trecerii curentului electric. Unitatea de măsură pentru rezistența electrică este Ohmul ( $\Omega$ ).

Rezistența electrică depinde de natura și dimensiunile conductorului. Pentru un conductor metalic, filiform, omogen și cu secțiune constantă, rezistența electrică se determină cu ajutorul relației:

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

$l$  – lungimea firului

$S$  – aria secțiunii transversale

$\rho$  – rezistivitatea materialului din care este confecționat firul conductor

$$[\rho]_{S.I.} = \Omega \cdot m$$

Rezistivitatea variază cu temperatura:

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

$\rho_0$  – rezistivitatea electrică la temperatura  $t_0$  ( $^{\circ}C$ )

$\rho(t)$  – rezistivitatea electrică la temperatura  $t$  ( $^{\circ}C$ )

$\alpha$  – coeficient de variație al rezistivității cu temperatura;  $[\alpha]_{S.I.} = grad^{-1}$

$\Delta t = t - t_0$  – interval de temperatură

Dacă se neglijează dilatarea dimensiunilor conductorului prin încălzire, atunci vom avea:

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

### II.2 Legea lui Ohm (pentru o porțiune de circuit)

Intensitatea curentului electric printr-o porțiune de circuit este direct proporțională cu tensiunea aplicată porțiunii de circuit și invers proporțională cu rezistența electrică a porțiunii respective.

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

$$[I]_{S.I.} = \frac{[U]_{S.I.}}{[R]_{S.I.}} \rightarrow 1A = \frac{1V}{1\Omega}$$

În fig. 2 este reprezentată, pentru un rezistor dat, dependența intensității curentului electric prin rezistor de tensiunea la bornele acestuia (*caracteristica curent-tensiune a rezistorului*)

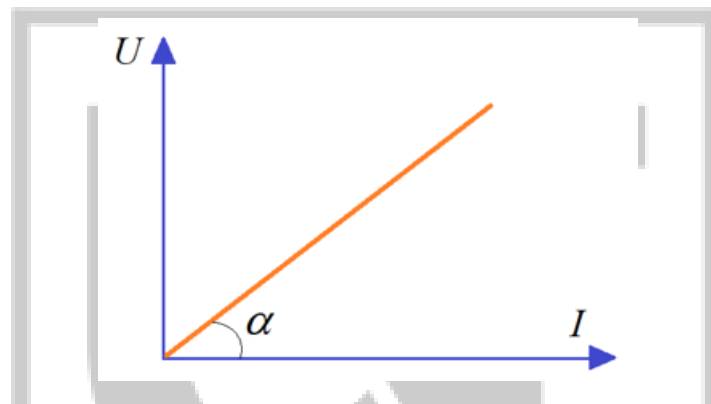


Fig. 2 Caracteristica curent-tensiune a unui rezistor

$\tan \alpha = \frac{U}{I} = R$  – rezistența este egală cu tangent unghiului de înclinare a dreptei față de axa orizontală

**Reostatul** este un rezistor cu rezistența electrică variabilă, care se introduce într-un circuit electric pentru a modifica rezistența totală din circuitul exterior.

*Ex: Reostatul prevăzut cu un cursor*

Cursorul este un contact electric mobil. Prin deplasarea acestuia, rezistența reostatului poate fi modificată de la o valoare 0 la o valoare maximă, datorită variației lungimii din relația de definiție a rezistenței electrice.

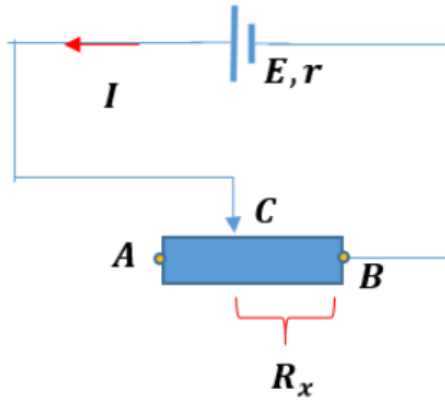


Fig. 3 Reostat prevăzut cu un cursor C

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

### II.3 Legea lui Ohm (pentru întreg circuitul)

Intensitatea curentului electric ce străbate circuitul electric simplu este direct proporțională cu tensiunea electromotoare din circuit, și invers proporțională cu rezistența totală a circuitului.

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

$R$  – rezistența externă a circuitului

$r$  – rezistența internă a sursei (din circuitul interior)

**Tensiunea la bornele sursei:**

$$U = I \cdot R$$

**Căderea de tensiune pe circuitul interior:**

$$u = I \cdot r$$

$$E = I \cdot R + I \cdot r = U + u$$

**Tensiunea la bornele sursei:**

$$U = E - u = E - I \cdot r$$

**Cazuri limită de funcționare a unui circuit:**

- **Scurtcircuit** - are loc când rezistența totală din circuit este nulă.

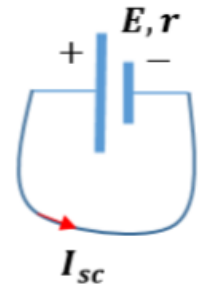


Fig. 4 Scurtcircuit

Curentul prin circuit în acest caz este maxim, și tensiunea la bornele generatorului este nulă. Acest regim de funcționare trebuie evitat.

$$R = 0 \rightarrow I_{sc} = \frac{E}{r} \rightarrow r = \frac{E}{I_{sc}}$$

$$U = R \cdot I_{sc} = 0 \text{ V}$$

- **Mersul în gol** - are loc când rezistența electrică totală din circuitul exterior tinde către infinit.

$$R \rightarrow \infty ; I_g = 0$$

$$U = R \cdot I_g = \infty \cdot 0 \text{ (nedeterminare)}$$

**Tensiunea la bornele sursei este:**

$$U = E - I_g \cdot r = E$$

**Observație:** Când  $R \rightarrow \infty$ , tensiunea la bornele sursei este  $U = E$ .



Caracteristica  $U - I$  a generatorului (*dreapta de sarcină*):

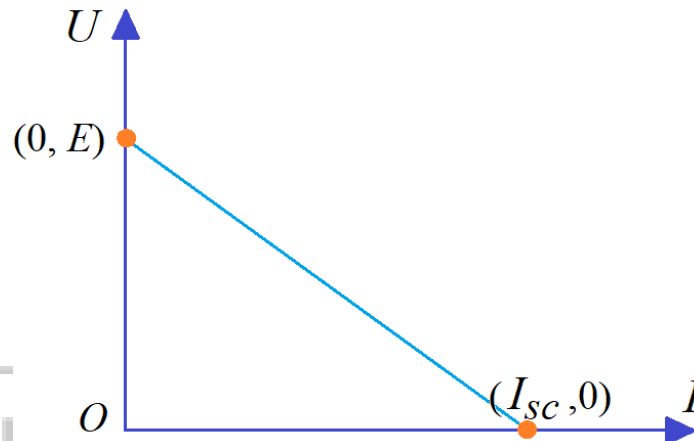


Fig. 5 Dreapta de sarcină a unui generator

## II.4 Ampermetrul și voltmetrul

Intensitatea curentului electric printr-un element de circuit se măsoară cu **ampermetrul**, un instrument de măsură care se montează **în serie** cu acel element. Ampermetrul trebuie să aibă rezistența cât mai mică. Ampermetru ideal are rezistența internă zero:

$$R_A \rightarrow 0$$

Tensiunea electrică la bornele unui element de circuit se măsoară cu **voltmetrul**, un instrument de măsură care se montează **în paralel** cu elementul de circuit. Voltmetrul trebuie să aibă rezistența electrică cât mai mare. Voltmetru ideal are rezistența internă infinită:

$$R_V \rightarrow \infty$$

**Observație:** Dacă la bornele generatorului se conectează un voltmetru ideal, acesta măsoară tensiunea electromotoare  $E$ .

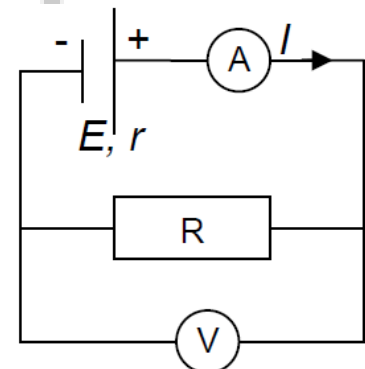


Fig. 6 Circuit simplu cu un ampermetru și un voltmetru conectate

## Capitolul III – Legile lui Kirchhoff

### III.1 Elemente de rețea electrică

Un circuit cu cel puțin două ramificații se numește **rețea electrică**. O rețea electrică cuprinde următoarele elemente de structură: nod, latură sau ramură, ochi sau buclă. (fig. 7)

**Nodul electric** reprezintă punctul unui circuit în care se întâlnesc cel puțin trei ramuri. (Ex în fig 7: A, B, C, D)

**Ramura** reprezintă porțiunea cuprinsă între două noduri, care nu cuprinde niciun nod în interior, și care este cuprinsă de același curent. (Ex în fig 7: AB, BC, BD, CD, AC, DA)

**Ochiul de rețea** reprezintă o porțiune de circuit formată dintr-o succesiune de ramuri (Cel puțin două) care formează un contur poligonal închis, la parcurgerea căreia se trece prin fiecare nod o singură dată. (Ex în fig 7: I, II, III)

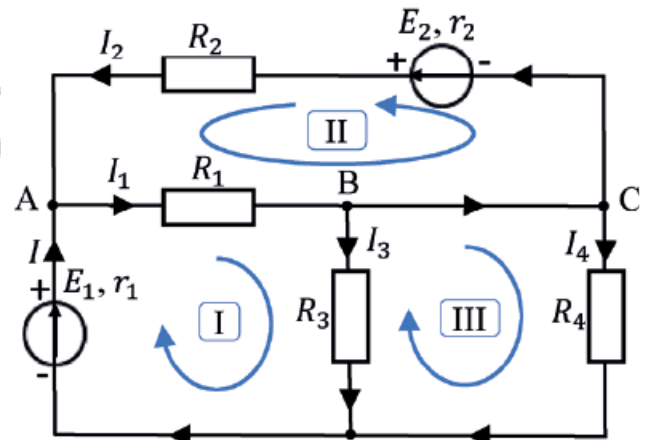


Fig. 7 Rețea electrică

### III.2 Legea I a lui Kirchhoff (a curenților)

Suma intensităților curenților care intră într-un nod de rețea este egală cu suma intensităților care ies din nodul respectiv.

$$I = I_1 + I_2$$

Suma algebrică a intensităților curenților dintr-un nod de rețea este egală cu zero. Se consideră pozitive intensitățile curenților electrice care intră în nodul respectiv, și negative cele care ies.

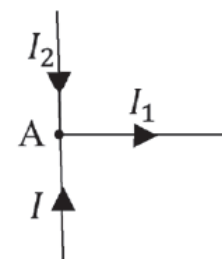


Fig. 8 Nod de rețea

*Convenție: Se consideră pozitive intensitățile care intră în nodul de rețea, și negative cele care ies din nod*

$$I + I_1 + I_2 = 0$$

Legea I a lui Kirchhoff exprimă legea conservării electrice într-un nod.

### III.3 Legea a II-a a lui Kirchhoff (a tensiunilor)

Suma algebrică a tensiunilor electromotoare într-un nod de rețea este egală cu suma algebrică a tensiunilor electrice de pe laturile ochiului. Se alege, **în mod arbitrar**, pentru fiecare ochi de rețea un sens de parcurgere a ochiului, astfel încât să coincidă cu sensul cât mai multor curenți din laturile ochiului.

**Convenții de semn pentru ochiul de rețea:**

- Tensiunea la bornele unui consumator este pozitivă dacă sensul curentului prin consumator coincide cu sensul de parcurgere ales. În caz contrar, semnul tensiunii este negativ.
- Semnul tensiunii electromotoare a unei surse este pozitiv dacă sensul de parcurgere ales străbate sursa de la “-” la “+”. În caz contrar, semnul tensiunii electromotoare este negativ.

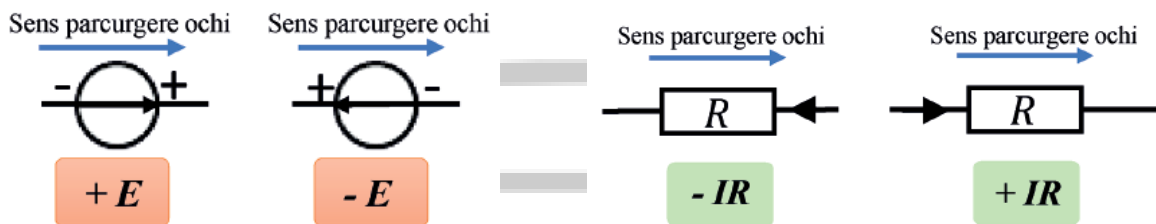


Fig. 9 Semnul tensiunii electromotoare

Fig. 10 Semnul tensiunii la bornele consumatorului

Legile lui Kirchhoff se folosesc pentru aflarea intensităților curenților prin laturile unui circuit. Dacă într-o rețea numărul de noduri este  $n$ , atunci aplicând legea I a lui Kirchhoff vom avea  $n - 1$  ecuații. Notăm cu  $l$  numărul de laturi a unei rețele, numărul total de ecuații care se

scriu prin aplicarea legilor lui Kirchhoff este  $l$ . Numărul de ecuații care se scriu prin aplicarea legii a doua a lui Kirchhoff este:

$$l - (n - 1)$$

Legea a II-a a lui Kirchhoff exprimă legea generală a naturii: *legea conservării energiei*.

Numărul surselor de tensiune electromotoare nu trebuie să fie egal cu numărul consumatorilor. Într-un ochi de rețea, sursele de tensiune electromotoare pot lipsi, caz în care suma lor va fi zero. Cu ajutorul legii a II-a a lui Kirchhoff se pot obține ecuații independente **doar pentru ochiuri independente** - contururi poligonale formate din laturi în care cel puțin una nu aparține și altor ochiuri. Dacă rețeaua are  $n$  ochiuri, legea a II-a a lui Kirchhoff se poate scrie de  $n$  ori, pentru fiecare ochi.



## Capitolul IV – Gruparea rezistoarelor și generatoarelor electrice

### IV.1 Gruparea rezistoarelor

**În serie** – Două sau mai multe rezistoare sunt grupate în serie dacă prin ele trece același curent electric. Două sau mai multe rezistoare sunt grupate în serie dacă sunt plasate pe aceeași ramură, iar între ele nu sunt noduri de rețea.

$$\begin{aligned}
 U &= U_1 + U_2 + U_3 \\
 U &= I \cdot R_1 + I \cdot R_2 + I \cdot R_3 \\
 R_s &= R_1 + R_2 + R_3
 \end{aligned}$$

La gruparea în serie a mai multor rezistoare, rezistența echivalentă este egală cu suma tuturor rezistențelor.

$$R_{serie} = \sum_{i=1}^n R_i = R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n$$

Pentru  $n$  rezistențe egale:

$$R_s = n \cdot R$$

**În paralel** – Două sau mai multe rezistoare sunt legate în paralel dacă au aceeași tensiune la borne.

$$\begin{aligned}
 I &= I_1 + I_2 + I_3 \\
 I &= \frac{U}{R_1} + \frac{U}{R_2} + \frac{U}{R_3} \\
 I &= \frac{U}{R_p} \\
 \frac{1}{R_p} &= \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}
 \end{aligned}$$

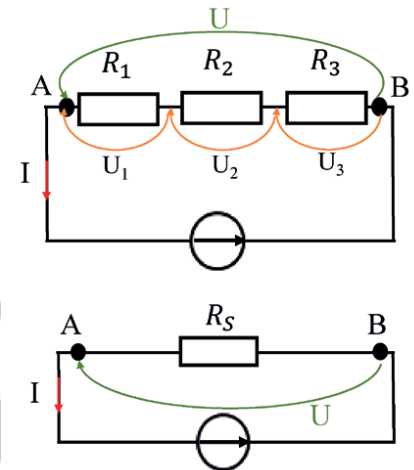


Fig. 11 Rezistoare în serie

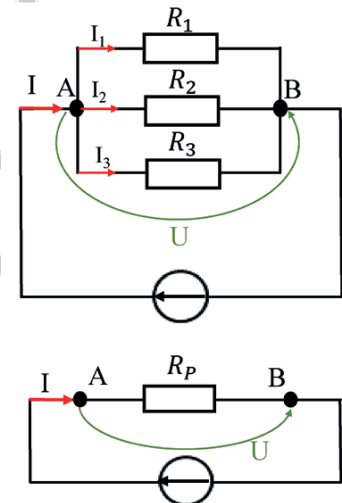


Fig. 12 Rezistoare în paralel

Inversul rezistenței rezistorului echivalent este egal cu suma inverselor rezistențelor rezistorilor legați în paralel:

$$\frac{1}{R_{paralel}} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{R_i} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n}$$

Pentru  $n$  rezistențe egale:

$$R_{paralel} = \frac{R}{n}$$

Pentru două rezistoare conectate în paralel se mai folosește relația:

$$R_p = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$$

**Observații:** Rezistența echivalentă a grupării în serie este întotdeauna **mai mare** decât oricare dintre rezistențele grupării. Rezistența echivalentă a grupării în paralel este întotdeauna **mai mică** decât oricare dintre rezistențele grupării.

## IV.2 Grupări de generatoare

Considerăm  $n$  generatoare cu parametrii  $(E_1, r_1), (E_2, r_2), (E_3, r_3) \dots (E_n, r_n)$ . Se pune problema înlocuirii grupării de surse cu o singură sursă echivalentă care are următoarea proprietate: la conectarea pe un consumator să asigure aceeași intensitate a curentului electric  $I$  ca și gruparea de surse pe care o înlocuiește.

**Gruparea în serie** – borna negativă a unui generator se leaga la borna pozitivă a următorului, ș.a.m.d.

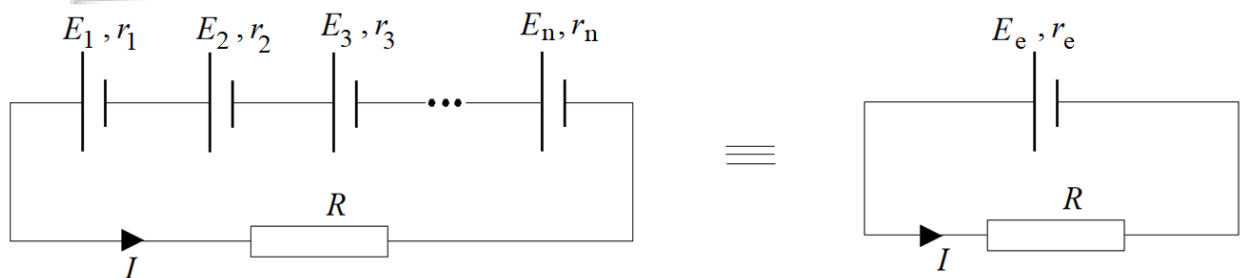


Fig. 13 Generatoare legate în serie

Aplicând legea a II-a a lui Kirchhoff se obține:

$$E_1 + E_2 + E_3 + \dots + E_n = I \cdot R + I \cdot (r_1 + r_2 + r_3 + \dots + r_n)$$

Curentul prin circuit va fi:

$$I = \frac{E_1 + E_2 + E_3 + \dots + E_n}{R + r_1 + r_2 + r_3 + \dots + r_n}$$

Curentul prin circuit cu generatorul echivalent este:

$$I = \frac{E_e}{R + r_e}$$

Astfel obținem *tensiunea electromotoare echivalentă* și *rezistența internă echivalentă*:

$$E_e = E_1 + E_2 + E_3 + \dots + E_n$$

$$r_e = r_1 + r_2 + r_3 + \dots + r_n$$

Pentru  $n$  generatoare în serie avem:

$$E_e = \sum_{i=1}^n E_i \qquad r_e = \sum_{i=1}^n r_i$$

Pentru  $n$  generatoare identice avem:

$$E_e = n \cdot E \qquad r_e = n \cdot r$$

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

**Gruparea în paralel** – Se realizează legând bornele pozitive ale generatoarelor împreună, respectiv cele negative împreună.

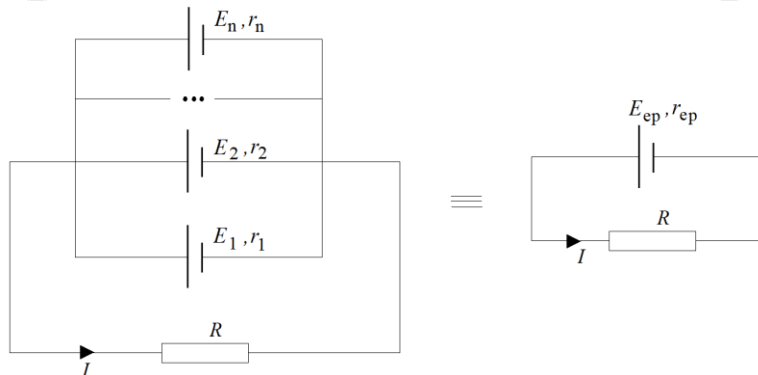


Fig. 14 Generatoare legate în paralel

Aplicând legea I avem:

$$I = I_1 + I_2 + I_3 + \dots + I_n$$

Aplicând legea a II-a avem:

$$I \cdot R + I_1 \cdot r_1 = E_1$$

$$I \cdot R + I_2 \cdot r_2 = E_2$$

$$I \cdot R + I_n \cdot r_n = E_n$$

Din sistemul de ecuații rezultă:

$$I_1 = \frac{E_1}{r_1} - I \cdot \frac{R}{r_1}$$

$$I_2 = \frac{E_2}{r_2} - I \cdot \frac{R}{r_2}$$

$$I_n = \frac{E_n}{r_n} - I \cdot \frac{R}{r_n}$$

Înlocuind curenții obținem:

$$I \cdot \left( 1 + \frac{R}{r_1} + \frac{R}{r_2} + \dots + \frac{R}{r_n} \right) = \frac{E_1}{r_1} + \frac{E_2}{r_2} + \dots + \frac{E_n}{r_n}$$

Curentul prin circuit cu *generatorul echivalent* este:

$$I = \frac{E_{ep}}{R + r_{ep}}$$

Mai putem obține relațiile:

$$E_{ep} = \left( \frac{E_1}{r_1} + \frac{E_2}{r_2} + \dots + \frac{E_n}{r_n} \right) \cdot r_{ep}$$

$$r_{ep} = \frac{1}{\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} + \dots + \frac{1}{r_n}}$$

Pentru  $n$  generatoare identice avem:

$$r_{ep} = \frac{r}{n}$$

$$E_{ep} = E$$

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



## Capitolul V – Energia și puterea electrică

### V.1 Energia electrică

Pentru deplasarea sarcinii electrice în circuit se efectuează un lucru mecanic care este transferat consumatorului sub formă de energie electrică.

$$L_t = W_t$$

$$W_t = E \cdot I \cdot \Delta t$$

$$W_t = (U + u) \cdot I \cdot \Delta t = (R + r) \cdot I^2 \cdot \Delta t = \frac{E^2}{(R + r)} \cdot \Delta t$$

$$W_t = (U + u) \cdot I \cdot \Delta t = U \cdot I \cdot \Delta t + u \cdot I \cdot \Delta t = W_{ext} + W_{int}$$

$W_{ext}$  – energia disipată în exteriorul circuitului

$W_{int}$  – energia disipată în interiorul circuitului

Aplicând legea lui Ohm pentru o porțiune de circuit obținem:

$$W_{ext} = R \cdot I^2 \cdot \Delta t = \frac{U^2}{R} \cdot \Delta t$$

$$W_{int} = r \cdot I^2 \cdot \Delta t = \frac{u^2}{r} \cdot \Delta t$$

Într-un circuit în care consumatorul este rezistorul de rezistență  $R$ , energia electrică primită de acesta se disipă sub formă de căldură. Conform legii de conservare a energiei, căldura  $Q$  disipată de consumator este egală cu energia  $W_{ext}$ .

**Legea lui Joule** – Căldura degajată la trecerea curentului electric printr-un consumator este direct proporțională cu pătratul intensității curentului care străbate conductorul, cu rezistența conductorului, și intervalul de timp cât curentul electric străbate conductorul.

### V.2 Puterea electrică

Energia dezvoltată la bornele unui anumit consumator din circuitul electric în unitate de timp se numește **putere electrică**.

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

$$[P]_{S.I.} = \frac{J}{s} = W$$

Puterea electrică a generatorului este dată de relația:

$$P = E \cdot I = (R + r) \cdot I^2 = \frac{E^2}{R + r}$$

Puterea consumată în circuitul exterior este:

$$P_{ext} = U \cdot I = R \cdot I^2 = \frac{U^2}{R}$$

Puterea disipată în circuitul interior este:

$$P_{int} = u \cdot I = r \cdot I^2 = \frac{u^2}{r}$$

Bilanțul puterilor este dat de:

$$P = P_{ext} + P_{int}$$

### V.3 Randamentul circuitului

**Randamentul** unui circuit electric simplu este mărimea fizică egală cu raportul dintre energia utilă din circuit (energia furnizată consumatorului) și energia electrică totală (energia dată de generator întregului circuit).

$$\eta = \frac{W_{ext}}{W_t}$$

$$\eta = \frac{U}{E} = \frac{R}{R + r}$$

Randamentul este, în general, o mărime subunitară. Pentru un generator dat, randamentul crește odată cu creșterea rezistenței consumatorului. Pentru un consumator dat, randamentul crește la micșorarea rezistenței interne a generatorului.

O unitate de măsură pentru energie utilizată în practică este Kilowatt-ul-oră.

Generatorul trebuie să transfere în circuitul exterior o parte cât mai mare din puterea sa totală. Astfel, deoarece ne interesează în ce caz puterea electrică transferată consumatorului extern este maximă, vom impune condiția:

$$\frac{dP_{ext}(R)}{dR} = 0$$

Puterea exterioară are o valoare extremă pentru  $R = r$ .

Valoarea maximă a puterii exterioare este:

$$P_{max} = \frac{E^2}{4r}$$

Transferul maxim de putere de la generatorul de tensiune continuă spre circuitul exterior se realizează când *valoarea rezistenței externe este egală cu rezistența internă a generatorului*.

Atunci când un generator transferă unui circuit maxim de putere, **randamentul circuitului este 50%.**

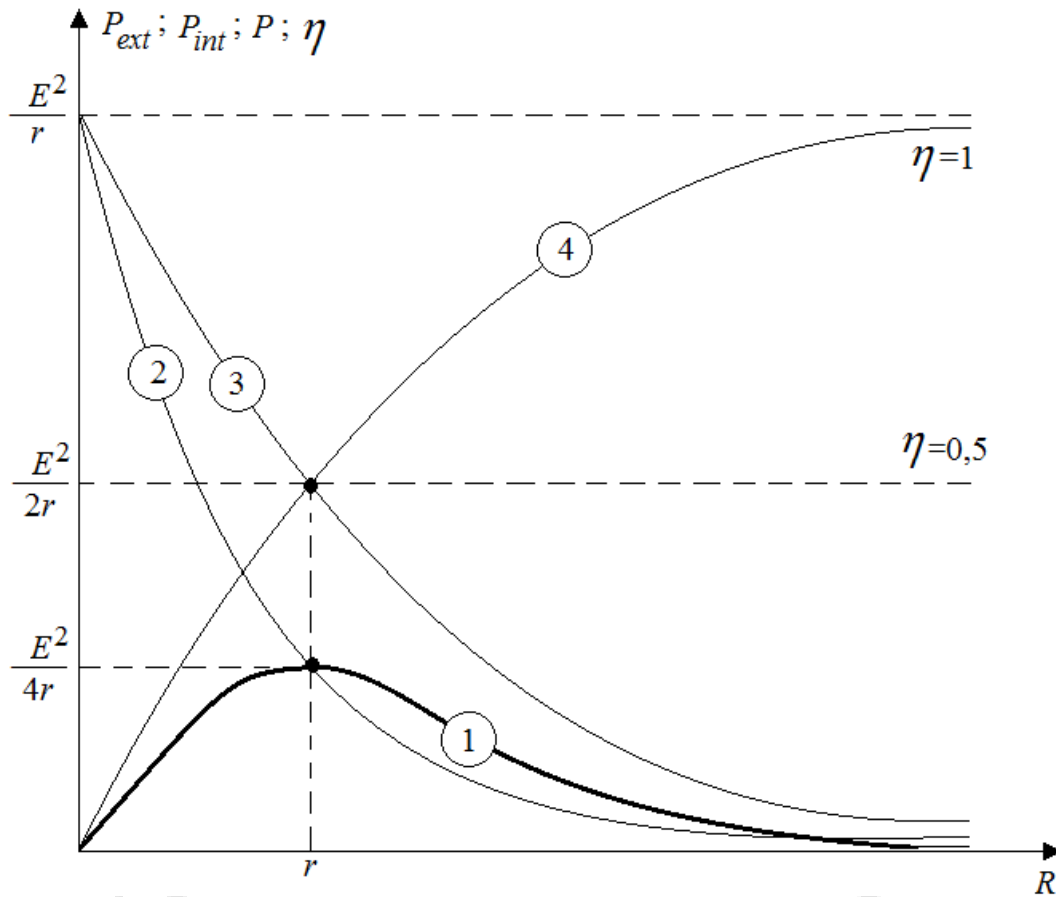


Fig. 15 Reprezentarea grafică a puterilor și a randamentului în funcție de  $R$

## Bibliografie

- **Stănescu N., Negulescu A., Hangea N., (1958), *Fizică Electricitate, Manual pentru clasa a X-a*, Ed. de Stat Didactică și Pedagogică, București.**
- **Cristea Gh., Ardelean I., (1985), *Elemente Fundamentale de Fizică vol. II*, Ed. Dacia, Cluj-Napoca.**
- **Purcell E. M., (1982), *Berkeley Physics Course vol. 2 Electricity and Magnetism*, Ed. Didactică și Pedagogică, București.**
- **Sadiku M.N.O., *Elements of Electromagnetics. 3rd. Ed.***
- **Zhao S., You J., Zhu J., (1993), *Problems and Solutions on Electromagnetism*, World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd.**