

FENOMENE ELECTRICE

A. CURENTUL ELECTRIC STAȚIONAR

1. Intensitatea curentului electric

Curentul electric reprezintă o mișcare ordonată a purtătorilor de sarcină electrică liberi, sub acțiunea unui câmp electric.

Purtătorii de sarcină electrică liberi sunt:

1. electronii, în cazul conductorilor metalici;
2. electronii și golurile, în cazul semiconductorilor;
3. ionii pozitivi și negativi în cazul electroliților.

Mișcarea ordonată a purtătorilor de sarcină electrică liberi, într-un conductor, sub acțiunea unui câmp electric nu este o simplă mișcare rectilinie, pe direcția câmpului. Această mișcare este mult mai complexă deoarece purtătorii de sarcină liberi sunt antrenați de agitația termică, a cărei intensitate depinde de temperatură. De asemenea purtătorii de sarcină vor suferii ciocniri elastice, absolut întâmplătoare, atât între ei, cât și cu purtătorii immobili de sarcină, ionii rețelei cristaline, suferind accelerări, frânări și devieri de la traiectoria imprimată de câmpul electric.

Numărul electronilor liberi este foarte mare, iar prin comportarea lor, în absența unui câmp electric, se aseamănă cu moleculele unui gaz. Din acest motiv ansamblul de electroni reprezintă, din punct de vedere matematic, un ansamblu statistic și este numit **gaz electronic**.

Așa cum știm, mărimile fizice care caracterizează ansamblurile statistice sunt [mărimi statistice](#) și sunt guvernate de legi statistice. Din acest motiv nu vom mai putea vorbi despre viteza unui anumit electron, ci despre viteza medie a mișcării ordonate a tuturor purtătorilor de sarcină din conductor.

Această viteză medie se numește **viteză de drift, sau viteză de antrenare, notată v_d** .

Viteza de drift are o valoare foarte mică. De exemplu: pentru un curent $I = 10A$, printr-un conductor de cupru cu secțiunea $S = 10mm^2$ viteza de drift este $v_d = 0,06mm/s$. Totuși, curentul electric se transmite cu viteză foarte mare, viteza luminii, deoarece prin conductor se propagă câmpul electric.

Din acest motiv, conductorii se mai numesc și **ghiduri de câmp electric**.

Mișcarea ordonată a purtătorilor de sarcină electrică liberi, sub acțiunea unui câmp electric este caracterizată de o mărime fizică scalară numită **intensitatea curentului electric, notată I** :

$$I = \frac{\Delta Q}{\Delta t} \quad (1)$$

Prin definiție, intensitatea curentului I este numeric egală cu raportul dintre sarcina electrică ΔQ care străbate secțiunea transversală a unui conductor și intervalul de timp Δt .

În cazul curentului continuu (sau staționar):

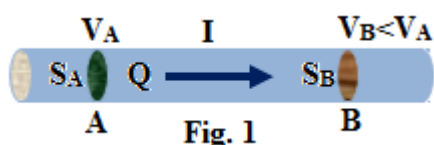
$$I = \frac{Q}{\Delta t} \text{ sau } I = \frac{Q}{t} \quad (1')$$

Unitatea de măsură pentru intensitatea curentului este: $[I]_{S.I} = 1A$, **amperul**.

Atențiune: din rel. (1) nu se deduce definiția amperului!

Amperul este unitate de măsură fundamentală în Sistemul Internațional.

OBSERVAȚIE. Deplasarea sarcinii electrice între două puncte ale unui conductor se face numai dacă



între cele două puncte ale conductorului există o diferență de potențial și anume între punctul cu potențial mai mare și punctul cu potențial mai mic, Fig. 1. (Tot așa cum moleculele de apă curg între o regiune în care energia lor potențială este mare către o regiune în care energia lor potențială este mică, sau curentul de aer se deplasează între o zonă în care presiunea este mare spre o zonă în care presiunea este mică.)

2. Efectele curentului electric.

Când curentul electric, când trece printr-un conductor, produce un efect.

Efectele curentului electric sunt:

1. Efectul termic – constă în încălzirea conductorului atunci când acesta este străbătut de curent.
2. Efectul chimic – constă în depunerea la catod a unei cantități de substanță.
3. Efectul magnetic – constă în apariția unui câmp magnetic în jurul unui conductor străbătut de curent.

Dar curgerea de sarcină electrică se produce până când potențialele celor două puncte, **A** și **B** se egalează, $V_A = V_B$. Din acest moment prin conductor nu mai trece curent și nici efecte nu se mai produc.

3. Circuit electric.

Circuitul electric este un ansamblu format din unul sau mai mulți consumatori, surse de energie electrică și conductori electrici de legătură, Fig. 2.

Circuitul electric este alcătuit din două părți:

1. Circuitul exterior, de la borna + la borna – prin consumatorul R.
2. Circuitul interior, sau circuitul prin baterie, de la borna – a bateriei, la borna +.

Din aceste afirmații deducem **sensul convențional al curentului**:

- de la borna + la borna – prin circuitul exterior și
- de la borna – la borna + prin baterie.

Elementele circuitului sunt prezentate în Fig. 3:

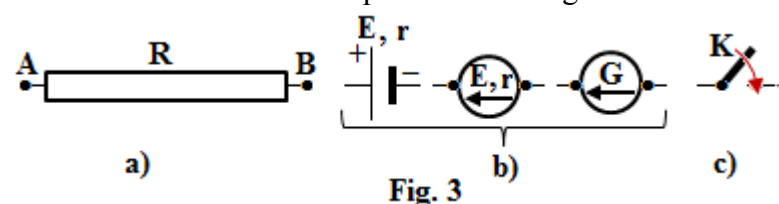


Fig. 3

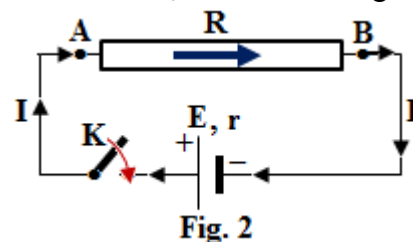


Fig. 2

- a) un consumator oarecare, un aparat care pentru a funcționa folosește energie electrică.
- b) diferite surse de energie electrică. Observați că sensul săgeții indică sensul curentului prin sursă, de la + la –.
- c) un întrerupător.

Conductorii electrici sunt reprezentați prin linii, de obicei linii drepte.

4. Surse de energie electrică.

Sursele de energie electrică sunt sisteme de corpuri proiectate și construite pentru a converti anumite forme de energie în energie electrică. Această conversie energetică se produce ca urmare a unor procese fizico-chimice care au loc în interiorul sursei și în conformitate cu principiul al II-lea al termodinamicii. Adică transformarea unei forme de energie în alta se face cu anumite pierderi, deci cu un anumit randament, $\eta < 1$.

După felul energiei transformată în energie electrică sursele de energie electrică pot fi:

- elemente galvanice – transformă energia chimică în energie electrică;
- dinamurile – transformă energia mecanică în energie electrică;
- termoelementele – transformă energia termică în energie electrică;
- fotoelementele – transformă energia luminoasă în energie electrică;

Rolul unei surse de energie electrică, într-un circuit electric, este de a menține o diferență de potențial la capetele A și B ale consumatorului, astfel încât prin consumator să treacă, în mod continuu, un curent electric.

5. Legile circuitului electric.

5.1. Tensiunea electrică. Tensiunea electromotoare, t.e.m.

Pentru a menține permanent o diferență de potențial la capetele A și B ale consumatorului, adică pentru a menține permanent un curent prin consumator, sursa efectuează un lucru mecanic asupra sarcinii transportate prin circuit, Fig. 2.

Fie L_1 lucrul mecanic necesar transportului sarcinii prin circuitul exterior.

Fie L_2 lucrul mecanic necesar transportului sarcinii prin baterie.

Și L lucrul mecanic total, necesar transportului sarcinii prin întreg circuitul.

Dar lucrul mecanic are proprietatea de aditivitate și deci:

$$L = L_1 + L_2 \quad (2)$$

Împărțim această relație la Q :

$$\frac{L}{Q} = \frac{L_1}{Q} + \frac{L_2}{Q} \quad (3)$$

În continuare vom face notațiile:

$$U = \frac{L_1}{Q} \quad \text{- căderea de tensiune pe circuitul exterior sau, tensiunea electrică,}$$

$$u = \frac{L_2}{Q} \quad \text{- căderea de tensiune pe baterie, iar} \quad E = \frac{L}{Q} \quad \text{- tensiunea electromotoare.}$$

cu aceste notații, rel. (3) se va scrie:

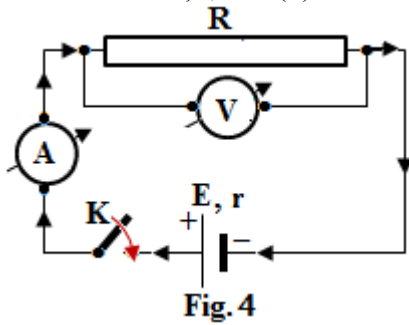


Fig. 4

$$E = U + u \quad (4)$$

Unitatea de măsură în S.I. pentru tensiunea electrică sau căderea de tensiune și tensiunea electromotoare este voltul: $[E, U, u]_{S.I.} = 1V$.

Tensiunea electrică sau căderea de tensiune și tensiunea electromotoare se măsoară cu aparatul numit **voltmetru**.

Intensitatea curentului se măsoară cu aparatul numit **ampermetru**.
Voltmetrul se montează, totdeauna în paralel cu consumatorul, iar ampermetrul se montează în serie cu consumatorul, Fig. 4.

Tensiunea electrică sau căderea de tensiune, tensiunea

electromotoare și intensitatea curentului electric sunt mărimi scalare.

5.2. Legile lui Ohm.

Să considerăm circuitul din Fig. 4. Măsurând căderea de tensiune pe consumator și intensitatea curentului prin circuit, pentru valori diferite ale tensiunii electromotoare, G. S. Ohm a descoperit că între căderea de tensiune pe consumator, U și intensitatea curentului, I , care-l străbate există o relație de proporționalitate. Constanta de proporționalitate a fost notată cu R și a fost numită **rezistență electrică**. Relația:

$$U = I \cdot R \quad (5)$$

reprezintă **legea lui Ohm pentru o porțiune de circuit**, circuitul exterior:

Tensiunea electrică pe un consumator este egală cu produsul dintre intensitatea curentului care străbate consumatorul și rezistența electrică a consumatorului.

O relație asemănătoare se poate scrie și pentru a doua porțiune de circuit, circuitul interior:

$$u = I \cdot r \quad (5')$$

Dacă înlocuim rel. (5) și (5') în rel. (4) obținem **legea lui Ohm pentru întreg circuitul**:

$$E = I \cdot (R + r) \quad (6)$$

Tensiunea electromotoare aplicată unui circuit de curent continuu este egală cu produsul dintre intensitatea curentului care străbate circuitul și rezistența electrică totală a circuitului.

Rezistența electrică. Rezistivitatea.

Din rel. (5) putem deduce unitatea de măsură pentru rezistența electrică:

$$[R]_{S.I.} = \frac{1V}{1A} = 1\Omega; (ohm) \quad (7)$$

Pentru conductorii metalici, rezistența electrică depinde de geometria consumatorului conform relației:

$$R = \rho \frac{l}{S} \quad (8)$$

Unde l este lungimea conductorului, S este secțiunea lui, iar ρ se numește rezistivitate electrică și este o constantă de material. Rezistivitatea electrică depinde de temperatură conform relației:

$$\rho = \rho_0(1 + \alpha \cdot t) \quad (9)$$

Unde ρ_0 reprezintă rezistivitatea conductorului la $t_0 = 0^\circ C$, iar α se numește **coeficientul termic al rezistivității** și este o constantă de material. Unitatea de măsură pentru ρ este: $[\rho]_{S.I.} = 1\Omega \cdot m$

Inversul rezistivității se notează cu σ și se numește conductivitate:

$$\sigma = \frac{1}{\rho} \quad (9')$$

evident: $[\sigma]_{S.I.} = 1\Omega^{-1} \cdot m^{-1}$

5.2.1. Regimuri de funcționare.

Să considerăm circuitul electric din Fig. 2, unde tensiunea electromotoare a sursei este E , iar rezistența internă r , iar rezistența circuitului exterior, $R \in [0, \infty)$.

a) Funcționare în sarcină, $R \neq 0$.

Conform legii lui Ohm:
$$I = \frac{E}{R + r} \quad (10)$$

iar căderea de tensiune pe consumatorul R , este $U = I \cdot R$, sau
$$U = \frac{E}{R + r} \cdot R \quad (11)$$

$$\text{Pentru } R \in [0, \infty), U \in [0, E), \text{ iar } I \in \left[\frac{E}{r}, 0\right] \quad (12)$$

În cazul circuitului electric din Fig. 2, tensiunea electrică între punctele A și B, U_{AB} se numește **tensiune la borne**.

De asemenea, modificarea valorii rezistenței R determină modificări ale valorilor atât ale curentului cât și ale tensiunii.

b) Funcționarea în scurtcircuit.

Dacă rezistența circuitului exterior devine nulă, $R = 0$, intensitatea curentului prin circuit devine maximă:

$$I_{sc.} = I_{max.} = \frac{E}{r} \quad (13)$$

Practic, scurtcircuitul se realizează unind bornele generatorului cu un conductor electric a cărei rezistență este neglijabilă, comparativ cu rezistența internă a generatorului.

c) Funcționarea în gol.

Dacă circuitul se întrerupe (circuit deschis), rezistența se consideră infinită: $R \rightarrow \infty$, iar intensitatea curentului devine zero, $I = 0$. Din legea lui Ohm pentru întreg circuitul, rel. (6):

$$U = E - I \cdot r \quad (14)$$

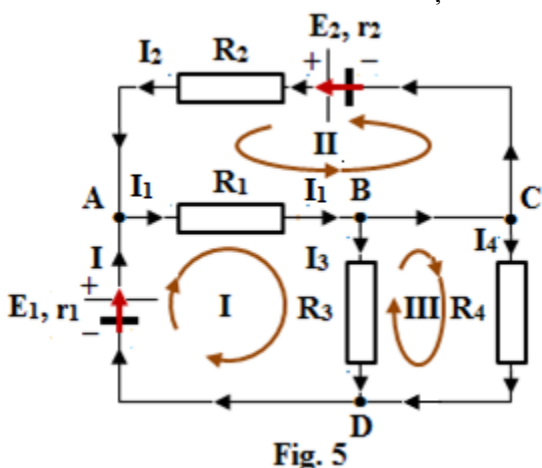
și rezultă $U_{AB} = U = E$.

5.3. Legile lui Kirchhoff.

În cele mai multe cazuri, circuitele electrice conțin un număr mare de elemente, ceea ce implică un număr mare de ramificații.

Un circuit cu cel puțin două ramificații se numește **rețea electrică**, Fig. 5. În Tabelul 1, am prezentat elementele caracteristice unei rețele electrice.

Tabelul 1.



Element	Definiție	Exemple
Nod	Locul unde se întâlnesc cel puțin trei curenți. Se notează cu litere mari.	A, B, C, D
Latură, sau ramură	Porțiunea cuprinsă între două noduri. Se notează cu un grup de litere mari. Este parcursă de același curent.	AB, BC, BD
Ochi, sau buclă	Conturul poligonal închis, mărginit de laturile rețelei. Într-un ochi, fiecare latură este parcursă o singură dată. Se notează cu cifre romane.	I, II, III

OBSERVAȚIE. Dacă între două noduri nu sunt conectate elemente de circuit, cele două noduri pot fi considerate unul singur. De exemplu, nodurile B și C se vor considera un singur nod, pentru ochiul III.

Înainte de a scrie legile lui Kirchhoff trebuie să stabilim:

1. Polaritatea surselor de tensiune electromotoare.
2. Sensul curenților prin fiecare latură, având în vedere și sensul convențional al curentului.
3. Un sens de parcurgere a circuitului. Acest sens este ales arbitrar și în consecință îl vom alege astfel încât să coincidă cu sensul cât mai multor curenți din laturile ochiului, Fig. 5.

Legea I a lui Kirchhoff, se referă la un nod de rețea:

Suma algebrică a intensității curenților electrici care se întâlnesc într-un nod de rețea este egală cu zero.

$$\sum_{i=1}^n I_i \quad (15)$$

CONVENȚIE PENTRU NODUL DE REȚEA: Curenții care intră în nodul de rețea sunt pozitivi, iar cei care ies din nodul de rețea sunt negativi.

De exemplu, pentru nodul B și având în vedere această convenția pentru nodul de rețea, legea I a lui Kirchhoff, se scrie: $I_1 - I_3 - I_4 = 0$, ceea ce, din punct de vedere matematic se mai poate scrie și: $I_1 = I_3 + I_4$, Fig. 5.

Observați că legea I a lui Kirchhoff se mai poate enunța și: suma curenților care intră într-un nod de rețea trebuie să fie egală cu suma curenților care ies din nod.

OBSERVAȚIE:

1. Legea I a lui Kirchhoff exprimă legea mai generală a naturii: legea conservării sarcinii.
2. Dacă rețeaua are n noduri, legea I a lui Kirchhoff se poate scrie de $n - 1$ ori.

Legea a II-a a lui Kirchhoff, se referă la un ochi de rețea:

Suma algebrică a tensiunilor electromotoare dintr-un ochi de rețea este egală cu suma algebrică căderilor de tensiune pe laturile ochiului.

$$\sum_{i=1}^n E_i = \sum_{j=1}^m I_j R_j \quad (16)$$

CONVENȚII PENTRU OCHIUL DE REȚEA:

1. Valoarea intensității curentului printr-o latură este pozitivă, dacă sensul curentului prin acea latură coincide cu sensul arbitrar ales. În caz contrar valoarea intensității curentului este negativă.
2. Valoarea tensiunii electromotoare a unei surse este pozitivă dacă sensul ei direct de parcurgere a curentului coincide cu sensul arbitrar ales. În caz contrar valoarea tensiunii electromotoare este negativă.

De exemplu, pentru ochiul I și având în vedere convențiile pentru ochiul de rețea, legea a II-a a lui Kirchhoff se scrie: $E_1 = I \cdot r + I_1 \cdot R_1 + I_3 \cdot R_3$, sau, pentru ochiul III, $0 = -I_3 \cdot R_3 + I_4 \cdot R_4$, Fig. 5.

OBSERVAȚIE:

1. Legea a II-a a lui Kirchhoff exprimă legea mai generală a naturii: legea conservării energiei.
2. Numărul surselor de tensiune electromotoare nu trebuie să fie egal cu numărul consumatorilor. Intru-un ochi de rețea, sursele de tensiune electromotoare pot lipsi...în acest caz, evident, suma lor va fi egală cu zero.
3. Cu ajutorul legii a II-a a lui Kirchhoff se pot obține ecuații independente numai pentru **ochiurile independente** – contururi poligonale formate din laturi în care cel puțin una nu aparține și altor ochiuri.
4. Dacă rețeaua are n ochiuri, legea a II-a a lui Kirchhoff se poate scrie de n ori, pentru fiecare ochi.

6. Aplicații ale legilor lui Kirchhoff.

6.1. Gruparea rezistorilor.

6.1.a) Gruparea serie, Fig. 6. Un circuit serie nu conține nici o ramificație, iar intensitatea curentului

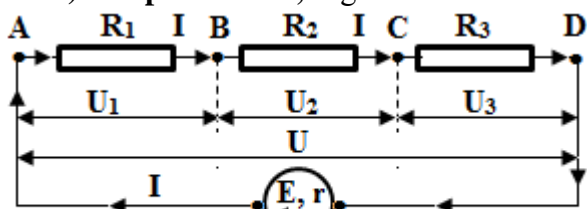


Fig. 6

care străbate fiecare rezistor are aceeași valoare, I. Tensiunea U debitată de sursă se distribuie pe cei trei rezistori, corespunzător valorii fiecărui rezistor, U_1, U_2, U_3 , în conformitate cu legea a II-a a lui Kirchhoff:

$$U_{AD} = U = U_1 + U_2 + U_3. \quad (17)$$

Dar, în conformitate cu legea lui Ohm pentru o porțiune de circuit:

$$U = I \cdot R_S, U_1 = I \cdot R_1, U_2 = I \cdot R_2 \text{ și } U_3 = I \cdot R_3. \quad (18)$$

unde am notat cu R_S rezistența echivalentă grupării serie. Dacă înlocuim rel. (18) în rel. (17) și efectuăm calculele matematice, obținem:

$$R_S = R_1 + R_2 + R_3 \text{ sau } R_S = \sum_{i=1}^n R_i \quad (19)$$

unde i reprezintă numărul rezistorilor din grupare. În cazul nostru $i = 3$.

6.1.b) Gruparea paralel, Fig. 7. Circuitul are mai multe ramificații. În acest caz căderea de tensiune pe fiecare ramură este aceeași: $U_{AD} = U$. Pentru nodul A, legea I a lui Kirchhoff se scrie:

$$I = I_1 + I_2 + I_3 \quad (20)$$

Dar, în conformitate cu legea lui Ohm pentru o porțiune de circuit:

$$I = \frac{U}{R_P}, \quad I_1 = \frac{U}{R_1}, \quad I_2 = \frac{U}{R_2} \text{ și } I_3 = \frac{U}{R_3} \quad (21)$$

unde am notat cu R_P rezistența echivalentă a grupării paralel.

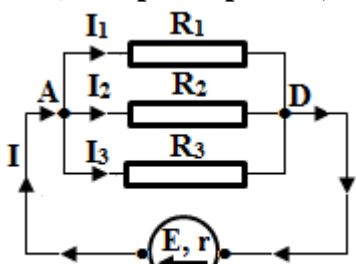


Fig. 7

Dacă înlocuim rel. (21) în rel. (20) și efectuăm calculele matematice, obținem:

$$\frac{1}{R_p} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \quad \text{sau} \quad \frac{1}{R_p} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{R_i} \quad (22)$$

unde i reprezintă numărul rezistorilor din grupare. În cazul nostru $i = 3$.

OBSERVAȚIE:

1. O grupare serie de rezistori reprezintă un divizor de tensiune.
2. O grupare serie de rezistori reprezintă un divizor de curent.

6.2. Gruparea surselor de tensiune electromotoare.

În practică se folosesc grupări de surse, numite baterii. Aceste grupări sunt folosite pentru a obține în diferite circuite valori mai mari ale t.e.m. sau ale curentului.

6.2.a) Gruparea serie, Fig. 8, este folosită pentru a obține valori mari ale t.e.m.

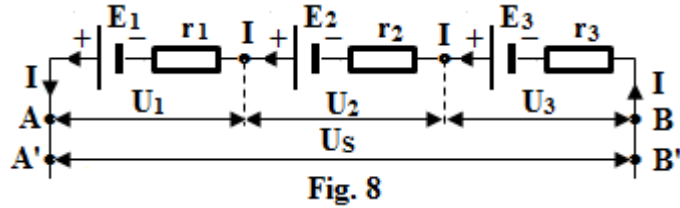


Fig. 8

(24)

Conform legii a II-a a lui Kirchhoff avem:

$$U_S = U_1 + U_2 + U_3$$

Scriind legea lui Ohm pentru fiecare sursă în parte, Fig. 8, avem:

$$\left. \begin{aligned} U_1 &= E_1 - I \cdot r_1 \\ U_2 &= E_2 - I \cdot r_2 \\ U_3 &= E_3 - I \cdot r_3 \\ U_S &= E_S - I \cdot r_S \end{aligned} \right\}$$

Înlocuind rel. (24) în rel. (23) obținem:

$$E_S - I \cdot r_S = \sum_{i=1}^n E_i - I \sum_{i=1}^n r_i \quad (25)$$

unde i reprezintă numărul surselor din grupare. În cazul nostru $i = 3$.

Identificând termenii din membrul stâng cu termenii din membrul drept obținem:

$$E_S = \sum_{i=1}^n E_i \quad \text{și} \quad r_S = \sum_{i=1}^n r_i \quad (26)$$

De exemplu, dacă în Fig. 2 sursa de alimentare este o baterie formată din n surse de t.e.m., grupate în serie, intensitatea curentului prin circuit, conform legii lui Ohm, este dată de relația:

$$I = \frac{E_S}{R + r_S} = \frac{\sum_{i=1}^n E_i}{R + \sum_{i=1}^n r_i} \quad (27)$$

Dacă sursele sunt identice rel. (27) devine:

$$I = \frac{n \cdot E}{R + n \cdot r} \quad (27')$$

6.2.b) Gruparea paralel, Fig. 9, este folosită pentru a obține valori mari ale curentului.

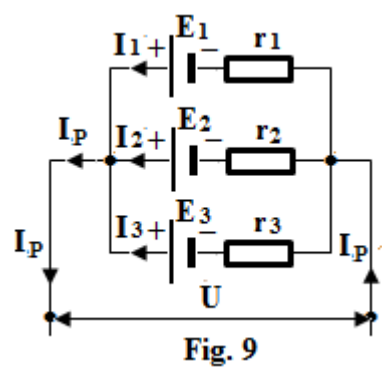


Fig. 9

Conform legii I a lui Kirchhoff avem: $I_P = I_1 + I_2 + I_3$ (28)

Scriind legea lui Ohm pentru fiecare ramură în parte avem:

$$\left. \begin{aligned} I_1 &= \frac{E_1 - U}{r_1} \\ I_2 &= \frac{E_2 - U}{r_2} \\ I_3 &= \frac{E_3 - U}{r_3} \\ I_P &= \frac{E_P - U}{r_P} \end{aligned} \right\} \quad (29)$$

Înlocuind rel. (29) în rel. (28) obținem:

$$\frac{E_P - U}{r_P} = \frac{E_1 - U}{r_1} + \frac{E_2 - U}{r_2} + \frac{E_3 - U}{r_3} \quad (30)$$

sau:

$$\frac{E_P}{r_P} - \frac{U}{r_P} = \frac{E_1}{r_1} + \frac{E_2}{r_2} + \frac{E_3}{r_3} - U \left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} + \frac{1}{r_3} \right) \quad (30')$$

Pentru o grupare paralel de n surse rel. (30') se scrie:

$$\frac{E_P}{r_P} - \frac{U}{r_P} = \sum_{i=1}^n \frac{E_i}{r_i} - U \sum_{i=1}^n \frac{1}{r_i} \quad (30'')$$

Identificând membrul stâng cu membrul drept în rel. (30'') găsim:

$$E_P = r_P \sum_{i=1}^n \frac{E_i}{r_i} \quad \text{și, evident} \quad \frac{1}{r_P} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{r_i} \quad (31)$$

De asemenea, de exemplu, dacă în Fig. 2 sursa de alimentare este o baterie formată din n surse de t.e.m., grupate în paralel, intensitatea curentului prin circuit, conform legii lui Ohm, este dată de relația:

$$I = \frac{E_P}{R + r_P} = \frac{r_P \sum_{i=1}^n \frac{E_i}{r_i}}{R + \sum_{i=1}^n \frac{1}{r_i}} \quad (32)$$

Dacă sursele sunt identice rel. (27) devine:

$$I = \frac{E}{R + \frac{r}{n}} \quad (33)$$

6.3. Aparate de măsură.

Ampermetrele și voltmetrele sunt aparate electrice de măsură, care funcționează în baza unor fenomene fizice.

Aparatele electrice de măsură se împart în două categorii: a) analogice și b) digitale.

a) Principiul de funcționare a unui aparat de măsură analogic constă în devierea într-un câmp magnetic a unei piese mobile (numită și echipaj mobil) legată solidar de un ac indicator, care se poate mișca în fața unei scale gradate.

b) Principiul de funcționare al unui aparat de măsură digital constă în transformarea mărimii de măsurat a cărei variație este continuă în timp, în semnale digitale, prelucrarea specifică a acestora și afișarea sub o formă numerică.

Construcția ampermetrelor și a voltmetrelor este aproape identică, deosebirea constând în valoarea proprie a rezistenței interne.

Introducerea unui aparat de măsură în circuit perturbă funcționarea circuitului prin rezistența sa internă.

6.3.a) Ampermetrul.

Se conectează în serie cu consumatorul, Fig. 10.

În absența aparatului de măsură intensitatea curentului prin circuit este I_0 :

$$I_0 = \frac{E}{R + r} \quad (34)$$

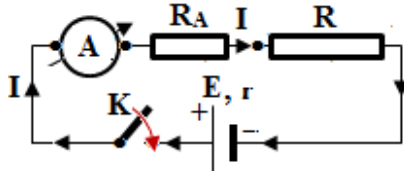


Fig. 10

Prin conectarea ampermetrului în circuit introducem și rezistența internă a acestuia, R_A . Intensitatea curentului prin circuit devine I :

$$I = \frac{E}{R_A + R + r} \quad (34)$$

În concluzie, $I \approx I_0$ doar dacă $R_A \ll R + r$. Ampermetrele trebuie să aibă rezistență internă cât mai mică, pentru a nu compromite valoarea curentului prin circuit. Un ampermetru este considerat ideal dacă are rezistența internă zero, $R_A = 0$.

6.3.b) Voltmetrul.

Se conectează în paralel cu consumatorul, Fig. 11.

În absența aparatului de măsură tensiune electrică pe rezistorul R este U_0 :

$$U_0 = I_0 \cdot R = \frac{E \cdot R}{R + r} \quad (35)$$

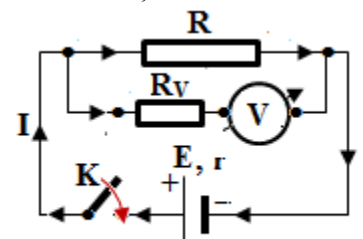


Fig. 11

Prin conectarea voltmetrului, se introduce în circuit, în paralel cu rezistorul R și rezistența internă a voltmetrului R_V . În acest caz intensitatea curentului prin circuit devine:

$$I = \frac{E}{\frac{R \cdot R_V}{R + R_V} + r} \quad (36)$$

Iar căderea de tensiune pe rezistorul R va fi U:

$$U = I \cdot R = \frac{R \cdot E}{\frac{R \cdot R_V}{R + R_V} + r} = \frac{R \cdot E}{\frac{R}{\frac{R_V}{R} + 1} + r} \quad (37)$$

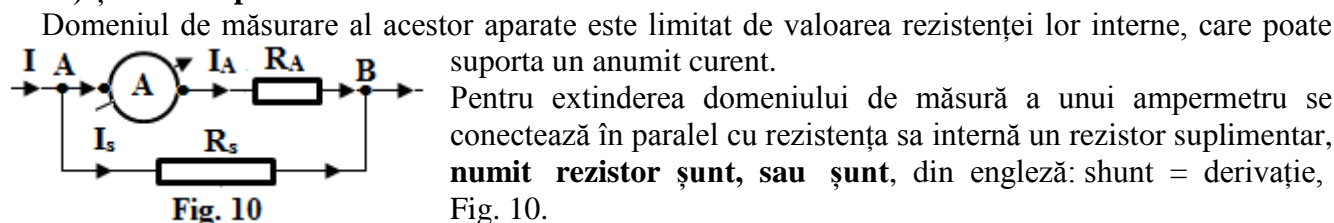
Observați că la numitorul rel. (37) am simplificat forțat primul termen cu R_V .

Analizând rel. (35) și (37) se observă că $U \approx U_0$ doar dacă $\frac{R}{R_V} \rightarrow 0$ condiție care se realizează doar

dacă R_V este mult mai mare decât R, $R_V \gg R$. Un voltmetru este considerat ideal dacă are rezistența internă infinită, $R_V = \infty$.

6.4. Adaptarea aparatelor de măsură.

6.4.a) Șuntul ampermetrelor.



Curentul de măsurat, I, este de n ori mai mare decât curentul suportat de aparat, I_A :

$$I = n \cdot I_A \quad (38)$$

Aplicând legea I a lui Kirchhoff pentru nodul A obținem:

$$I = I_A + I_s \quad (39)$$

și legea a II-a a lui Kirchhoff, pentru ochiul de circuit:

$$I_A \cdot R_A = I_s \cdot R_s \quad (40)$$

Din rel. (38) și (39) rezultă:

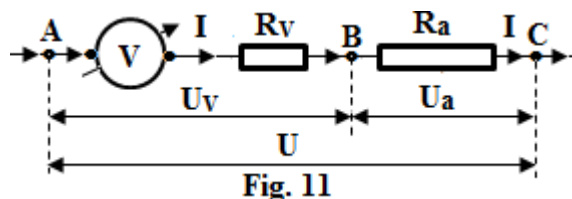
$$(n - 1) \cdot I_A = I_s \quad (41)$$

Înlocuind rel. (41) în rel. (40) obținem valoarea rezistenței șuntului:

$$R_s = \frac{R_A}{n - 1} \quad (42)$$

6.4.b) Rezistența adițională.

Pentru extinderea domeniului de măsură a unui voltmetru se conectează în serie cu rezistența sa internă un rezistor suplimentar, Fig. 11. Valoarea acestei rezistențe se numește rezistență adițională.



$$U = n \cdot U_V \quad (43)$$

Din legea a II-a a lui Kirchhoff:

$$U = U_a + U_V \quad (44)$$

De asemenea, conform legii lui Ohm:

$$U_V = I \cdot R_V \text{ și } U_a = I \cdot R_a \quad (45)$$

Înlocuind rel. (43) și (45) în rel. (44) rezultă valoarea rezistenței adiționale:

$$R_a = (n - 1) R_V \quad (46)$$



7. Energia și puterea curentului electric.

7.1. Energia curentului electric.

Efectele curentului au aceeași cauză: câmpul electric, care prin intermediul ghidajelor de câmp transmite energia generatoarelor către consumatori. Ajunsă la consumatori, energia electrică se transformă în :

- a) lucru mecanic – în cazul motoarelor electrice;
- b) energie termică – în cazul radiatoarelor;
- c) energie chimică – încărcarea bateriilor.

Să reconsiderăm montajul din Fig. 2. Lucrul mecanic necesar deplasării sarcinii q prin consumatorul R este:

$$L = q \cdot U_{AB} \quad (47)$$

unde $U_{AB} = U$ este căderea de tensiune pe consumatorul R .

Variația energiei se măsoară prin lucrul mecanic consumat. Deci energia consumată de consumator în intervalul de timp $\Delta t = t$ este:

$$W_1 = U_{AB} \cdot q = U \cdot I \cdot t \quad (48)$$

Ținând cont de legile lui Ohm, rel. 5:

$$W_1 = I^2 \cdot R \cdot t = \frac{U^2}{R} \cdot t \quad (49)$$

Dacă notăm cu W_2 energia consumată în baterie în același interval de timp t :

$$W_2 = u \cdot I \cdot t \quad (50)$$

sau,

$$W_2 = I^2 \cdot r \cdot t = \frac{u^2}{r} \cdot t \quad (51)$$

Energia consumată în întreg circuitul este: $W = W_1 + W_2$ (52)

Dacă în rel. (51) introducem rel. 48 și 50, și ținem cont de rel. 4, obținem:

$$W = (U + u) \cdot I \cdot t = E \cdot I \cdot t \quad (53)$$

Aplicând în continuare legile lui Ohm pentru întreg circuitul obținem:

$$W = I^2 \cdot (R + r) \cdot t = \frac{E^2}{R + r} \cdot t \quad (54)$$

7.2. Puterea curentului electric.

Prin definiție puterea reprezintă raportul dintre energie și timp:

$$P = \frac{W}{t} \quad (55)$$

Deci, pentru o porție respectivă de circuit:

$$P_1 = U \cdot I = I^2 \cdot R = \frac{U^2}{R} \quad (56)$$

și

$$P_2 = u \cdot I = I^2 \cdot r = \frac{u^2}{r} \quad (57)$$

Analog, pentru întreg circuitul:

$$P = P_1 + P_2 = E \cdot I = I^2 \cdot (R + r) = \frac{E^2}{R + r} \quad (58)$$

Din cele discutate mai sus se poate defini **randamentul circuitului electric**, conform definiției randamentului, raportul dintre energia utilă și energia consumată:

$$\eta = \frac{W_1}{W} = \frac{R}{R + r} \quad (59)$$

Din rel. 59 observăm că randamentul unui circuit crește dacă:

1. crește rezistența R a consumatorului;
2. scade rezistența internă r a sursei.

OBSERVAȚIE: Unitatea de măsură pentru energie, deci și pentru energia electrică este joule, J.

Din rel. 55 se observă că $1J = 1 W \cdot s$, unitate de măsură care este acceptată (tolerată) pentru energia electrică. **Astfel: $1 kW \cdot h = 3,6 \cdot 10^6 J$.**

Atențiune! Când vă citiți facturile de gaze sau de lumină aveți grijă cum faceți conversia din $kW \cdot h$ în J și invers.



8. Efectul termic al curentului. Legea lui Joule.

La trecerea curentului electric printr-un conductor acesta se încălzește.

Legea lui Joule: Cantitatea de căldură degajată este proporțională cu pătratul intensității curentului care străbate conductorul, cu rezistența conductorului și timpul cât curentul electric străbate conductorul:

$$Q = I^2 \cdot R \cdot t \quad (59)$$

9. Teorema transferului optim de putere.

Puterea transmisă de sursă consumatorului (circuitului exterior) este:

$$P_1 = I^2 \cdot R = \frac{E^2 \cdot R}{(R + r)^2} \quad (60)$$

sau, dacă facem calculele matematice:

$$P_1 \cdot R^2 + (2 \cdot P_1 \cdot r - E^2) \cdot R + P_1 \cdot r^2 = 0 \quad (61)$$

Se observă că am obținut o ecuație de gradul doi în R. Soluțiile ecuației sunt:

$$R_{1,2} = \frac{(E^2 - 2 \cdot P_1 \cdot r) \pm \sqrt{E^2 - 4 \cdot P_1 \cdot r}}{2 \cdot P_1} \quad (62)$$

R nu poate avea decât valori reale și pozitive. Aceste condiții impun ca:

$$E^2 - 4 \cdot P_1 \cdot r \geq 0 \quad (63)$$

sau:

$$P_1 \leq \frac{E^2}{4 \cdot r} \quad (64)$$

De unde rezultă teorema transferului maxim de putere:

$$P_{max.} = \frac{E^2}{4 \cdot r} \quad (65)$$

Dacă admitem că $P_1 = P_{max.}$, atunci:

$$\frac{E^2 \cdot R}{(R + r)^2} = \frac{E^2}{4 \cdot r} \quad (66)$$

Din rezolvarea ecuației (66) rezultă că transferul maxim de putere se realizează atunci când:

$$R = r \quad (67)$$

Dacă avem în vedere formula randamentului unui circuit electric, rel. (59), observăm că randamentul circuitului electric este maxim atunci când se realizează transferul optim de putere, $R = r$:

$$\eta_{max.} = 0,5 \quad (68)$$

Atențiune! Puterea debitată de sursă este:

$$P = E \cdot I = \frac{E^2}{2 \cdot r} \quad (69)$$

10. Efectul chimic al curentului. Electroliți. Disocierea electrolitică. Electroliza.

10.1 Electroliții sunt substanțe care conțin ioni pozitivi și negativi liberi, mobili. Aceștia există sub două forme: a) în soluții sau în stare lichidă (topituri);

b) în stare solidă, de exemplu sarea de bucătărie.

Electroliții au ca principală și definitivă caracteristică, proprietatea că la aplicarea unei tensiuni electrice asupra sa, ca urmare a câmpului electric ce acționează, în electroliți iau naștere curenți electrici între punctele (electrozi) de aplicare a tensiunii.

Proprietatea soluțiilor de electrolit de a conduce curentul electric poate fi caracterizată și evaluată cantitativ prin conductivitatea lor electrică.

Soluțiile de electrolit sunt conductori ionici (de ordin II) și la fel ca în cazul conductorilor metalici (de ordin I) li se aplica legea lui Ohm : $E = I \cdot R$

unde, E - tensiunea exprimată în volți, R - rezistența electrică exprimată în ohmi, iar I - intensitatea curentului exprimată în amperi.

Rezistența conductorilor de ordin I (conductorii metalici sau electronici) este dată de rel. (8).

În cazul conductorilor de ordinul II, mărimile caracteristice sunt inversul rezistivității ρ , conductivitatea σ , rel. (9') și inversul rezistenței R , conductanța, G :

$$G = \frac{1}{R} \quad (70)$$

Evident: $[G]_{S.I.} = 1\Omega^{-1}$.

Conductivitatea soluțiilor de electroliți variază cu concentrația c , $\sigma = \sigma(c)$, crescând odată cu creșterea concentrației, atingând un maxim și apoi scăzând cu creșterea în continuare a concentrației.

Maximul conductivității depinde de natura electrolitului și de temperatură. Variația este mai mare pentru electroliții tari (mai concentrați) decât pentru cei slabi (mai diluați). În general, în soluții diluate, σ crește cu concentrația, deoarece crește numărul unităților conductoare (numărul purtătorilor de sarcină liberi: ionii + și -), iar în soluții concentrate, σ scade cu concentrația, deoarece intervine procesul de asociere a ionilor de sarcini opuse în compuși neconductori.

10. 2 Disociația electrolică este fenomenul de separare a unei substanțe ionice în ioni pozitivi și negativi. Efectul disociației constă în obținerea unui amestec de ioni pozitivi și negativi, care se mișcă haotic în absența unui câmp electric.

În stare de echilibru dinamic electroliții sunt sediul unor disocieri și recombinații simultane, concentrația ionică rămânând constantă.

Deoarece purtătorii de sarcină sunt fragmente de molecule, conductibilitatea electrolică este legată și de un transport de substanță.

10. 3 Electroliza este fenomenul de dirijare a celor două tipuri de ioni către cei doi electrozi și transformarea lor în atomi, sau radicali, prin neutralizare.

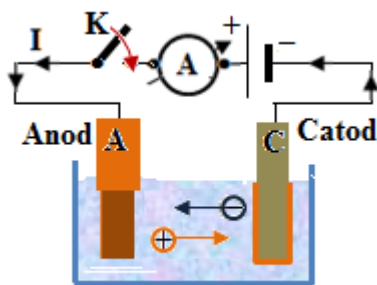


Fig. 12

Reacția chimică produsă în electroliți la trecerea curentului electric se numește electroliză.

În orice electrolit, sub acțiunea câmpului electric dintre electrozi, ionii pozitivi se deplasează în sensul curentului electric, în sensul câmpului electric, iar ionii negativi în sens invers.

Vasul în care se realizează fenomenul de electroliză a fost numit de M. Faraday voltmetru, în amintirea fizicianului italian [A. Volta](#), Fig. 12.

Cei doi electrozi care se introduc în vasul (sau cuva) de electroliză se numesc **anod** – electrodul de intrare a curentului, electrodul pozitiv și

catod – electrodul de ieșire a curentului, electrodul negativ.

Ionii negativi, care se deplasează la anod se numesc **anioni**, iar ionii pozitivi, care se deplasează la catod se numesc **cationi**. Ajunși la cei doi electrozi, dacă acesta este confecționat din materiale care nu interacționează cu soluția electrolică, anionii și cationii suferă reacții chimice și devin neutri din punct de vedere electric.

- **La catod**, cationii suferă o reacție chimică de reducere, de primire de electroni de la catod devin neutri din punct de vedere electric și se depun pe catod.
- **La anod**, anionii suferă o reacție chimică de oxidare, de cedare de electroni către anod, devenind, de asemenea neutri din punct de vedere electric.

10. 4 Legile electrolizei.

Legea I. Cantitatea de substanță depusă la catod, într-un interval de timp, este direct proporțională cu sarcina electrică care trece prin cuva de electroliză în intervalul de timp considerat:

$$m = K \cdot Q = K \cdot I \cdot t \quad (71)$$

unde **K** este o constantă numită echivalent electrochimic.

Legea a II-a. Echivalentul electrochimic este direct proporțional cu numărul de masă al substanței, **A** și invers proporțional cu valența substanței, **n**:

$$K = \frac{1}{F} \cdot \frac{A}{n} \quad (70)$$

F este o constantă de proporționalitate, numită **numărul lui Faraday**, $F = 96\,500 \text{ C/echivalent-gram}$.

10. 5 Aplicațiile electrolizei

Electrochimia. Aplicarea electrochimiei permite obținerea pe o cale relativ simplă și ieftină a unor cantități mari de produse importante, cum sunt hidrogenul, oxigenul, clorul, hidroxizii alcalini, peroxizii, oxiclourile etc.

Prin electroliza substanțelor topite se obțin: sodiu, calciu, magneziu, aluminiu și alte metale. Datorită metodelor electrochimice s-a reușit obținerea pe scara industrială a unor metale ca: bariu, cesiu, litiu etc.

Electrometalurgia, metalele din grupele I, a II-a și a III-a principală se obțin industrial prin electroliza topiturilor. Cu toate că prin aceste procese electrochimice se consumă mari cantități de energie electrică, ele sunt utilizate pe scară largă întrucât permit obținerea metalelor pure necesare în tehnică. Procedeele electrochimice sunt singurele care fac posibilă obținerea metalelor cu potențial de oxidare mare.

Electrorafinarea este o aplicație a electrolizei cu **anodi activi**, electrozi care se consumă în decursul electrolizei. Această metodă este utilizată în procesul de obținere a cuprului de mare puritate a aluminiului precum și pentru recuperarea metalelor prețioase. De fapt, rafinarea electrolitică reprezintă ultima etapă în procesul de electrometalurgie.

Electroplacarea, sau galvanostegia, constă în aplicarea unui strat fin, ornamental și protector al unui metal pe altul. Este o tehnică comună utilizată pentru a îmbunătăți aparența și durabilitatea unor obiecte metalice. De exemplu aurul și platina sunt aplicate pe bijuterii fabricate din materiale ieftine. Grosimea acestor straturi variază între 0.03 și 0.05 mm.

11. ACTIVITĂȚI DE FIXARE A CUNOȘTINȚELOR ȘI EVALUARE.

a) Răspundeți la următorii itemi:

1. Ce este curentul electric?
2. Ce este gazul electronic și de ce se numește așa?
3. Definiți mărimea fizică intensitatea curentului electric și precizați unitatea de măsură.
4. Ce este un circuit electric?
5. Ce este o sursă de energie electrică?
6. Dați exemple de surse de energie electrică.
7. Enunțați legea lui Ohm pentru întreg circuitul, precizând semnificația și unitățile de măsură ale mărimilor fizice respective.
8. Descrieți funcționarea în regim sarcină a unui circuit electric.
9. Descrieți funcționarea în regim de scurtcircuit a unui circuit electric.
10. Descrieți funcționarea în gol a unui circuit electric.
11. Ce este un nod de rețea?
12. Ce este o latură (ramură) a unei rețele electrice?
13. Ce este un ochi (o buclă) de rețea?
14. Enunțați legea I a lui Kirchhoff.
15. Precizați ce lege generală a naturii exprimă legea I a lui Kirchhoff.
16. Enunțați legea a II-a a lui Kirchhoff.
17. Precizați ce lege generală a naturii exprimă legea a II-a a lui Kirchhoff.
18. Desenați o grupare serie de rezistori și precizați care este relația de calcul rezistenței echivalente.
19. Desenați o grupare paralel de rezistori și precizați care este relația de calcul rezistenței echivalente.
20. Cum se conectează într-un circuit electric aparatele de măsură voltmetrul și ampermetrul?

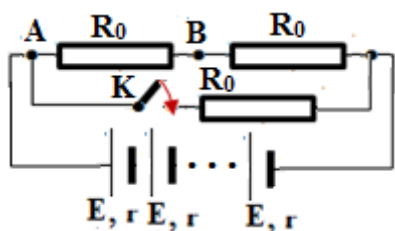
b) Rezolvați următoarele probleme:

1. Două conductoare electrice confecționate din același material au raportul lungimilor $l_1/l_2=4$ și raportul diametrelor $d_1/d_2=2$. Să se calculeze raportul rezistențelor electrice: R_1/R_2 .
2. Dacă simbolurile mărimilor fizice și ale unităților de măsură sunt cele utilizate în manualele de fizică, precizați care este unitatea de măsură a mărimii $\mathbf{I \cdot \Delta t}$.
3. Un bec are la temperatura $t_0 = 0^{\circ} \text{C}$ rezistența electrică $R_0 = 37,5 \Omega$. Dacă la bornele lui se aplică tensiunea $U = 60 \text{ V}$ atunci puterea consumată de bec este $P = 30 \text{ W}$. considerând coeficientul de temperatură al rezistivității filamentului $\alpha = 10^{-3} \text{ grad}^{-1}$ și neglijând modificarea dimensiunilor filamentului cu temperatura, calculați temperatura filamentului.
R: $T = 2200 \text{ K}$
4. Trei generatoare electrice identice sunt grupate în paralel. Tensiunea electromotoare a unui generator are valoarea $E = 12 \text{ V}$, iar rezistența internă a acestuia $r = 3\Omega$. Calculați tensiunea electromotoare echivalentă și rezistența internă echivalentă a grupării
R: $E_e = 12 \text{ V}$, $r_e = 1\Omega$

5. Un aparat electric consumă puterea $P = 76 \text{ W}$ atunci când este conectat la bornele unui generator prin intermediul unui conductor având rezistența electrică totală R_1 . Tensiunea la bornele generatorului este egală cu $U = 80 \text{ V}$. Dacă 5% din tensiunea U se pierde pe conductoarele de legătură, determinați:
- intensitatea curentului electric prin consumator;
 - rezistența electrică R_1 a conductoarelor de legătură;
 - rezistența R a consumatorului;
 - t.e.m. a generatorului, știind că puterea disipată în interiorul generatorului este de 19 ori mai mică decât puterea disipată de consumator.

R: a) $I = 1 \text{ A}$; b) $R_1 = 4 \ \Omega$; c) $R = 76 \ \Omega$ d) $E = 84 \text{ V}$

6. Un număr de $n=10$ generatoare electrice identice, cu tensiunea electromotoare $E = 2,4 \text{ V}$ și $r = 0,4 \ \Omega$ se leagă în serie la bornele circuitului din figură. Rezistorul are rezistența $R_0 = 6 \ \Omega$, este confecționat



dintr-un fir metalic cu lungimea $l = 50 \text{ cm}$ și aria secțiunii $S = 0,1 \text{ mm}^2$. Calculați:

- rezistivitatea electrică a materialului din care este confecționat rezistorul;
- rezistența echivalentă a grupării de rezistoare când comutatorul K este închis;
- intensitatea electrică a curentului prin circuit când comutatorul K este deschis;

- tensiunea electrică între punctele A și B când comutatorul K este închis.

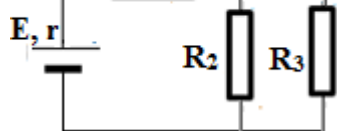
R: a) $\rho = 12 \cdot 10^{-7} \ \Omega \cdot \text{m}$; b) $R_e = 4 \ \Omega$; c) $I = 1,5 \text{ A}$; $U_{AB} = 6 \text{ V}$

7. Două becuri cu puterile nominale $P_1 = 100 \text{ W}$ și $P_2 = 60 \text{ W}$ sunt legate în serie și sunt conectate la bornele unei surse de t.e.m. $E = 100 \text{ V}$. Puterea electrică furnizată de sursă are valoarea $P = 200 \text{ W}$. Ambele becuri funcționează la parametri normali. Calculați:

- valoarea rezistenței interne a sursei;
- valoarea tensiunii la bornele sursei;
- valorile rezistențelor electrice ale filamentelor celor două becuri;
- randamentul circuitului.

R: a) $r = 10 \ \Omega$; b) $U = 80 \text{ V}$; c) $R_1 = 25 \ \Omega$, $R_2 = 15 \ \Omega$; d) $\eta = 80\%$.

8. În rețeaua electrică din figura alăturată $R_1 = 7 \ \Omega$, $R_2 = 6 \ \Omega$, $R_3 = 3 \ \Omega$. Valoarea tensiunii electromotoare a generatorului este $E = 12 \text{ V}$, iar intensitatea curentului prin ramura principală este $I = 1,2 \text{ A}$. Determinați:



- rezistența echivalentă a grupării rezistorilor R_1 , R_2 , R_3 ;
- intensitatea curentului prin rezistorul R_2 ;
- rezistența internă a generatorului;
- tensiunea electrică la bornele rezistorului R_2 .

Rezolvările integrale ale problemelor, dar și alte probleme le găsiți la adresele:

- <http://www.manualdefizica.ro/category/bacalaureatul-la-fizica/subiecte-bac/electricitate> și
- <http://www.manualdefizica.ro/category/bacalaureatul-la-fizica/subiecte-bac/electricitate/raspunsuri-electricitate>

BIBLIOGRAFIE:

- D. Borșan, A. Costescu, M. Petrescu-Prahova, M. Sandu – Fizică, manual pentru clasa a X-a, EDITURA DIDACTICĂ ȘI PEDAGOGICĂ, R.A. BUCUREȘTI, 1966.
- N. Gherbanovschi – FIZICĂ, manual pentru clasa a X-a, F1, editura NICULESCU, 2004
- M. von Laue – Istoria fizicii, Editura științifică, București, 1965
- <http://www.britannica.com/EBchecked/topic/182915/electricity/71564/Conductors-insulators-and-semiconductors>
- <http://www.aplusphysics.com/courses/honors/circuits/circuits.html>
- <http://ro.wikipedia.org/wiki/Electroliz%C4%83>