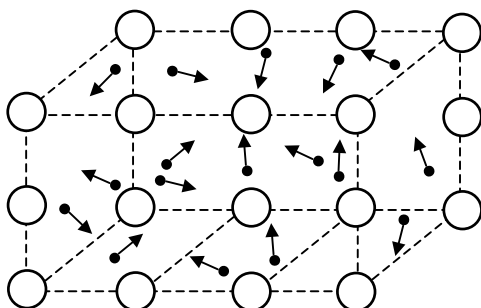


# 1. CURENTUL ELECTRIC STATIONAR

## 1.1 Curentul electric în conductori metalici

În interiorul oricărui conductor metalic se găsește un număr foarte mare de electroni liberi. Aceștia nu sunt legați de atomii care formează structura cristalină a metalului (energia de legătură a electronilor de pe ultimele straturi la metale este foarte mică). În structura cristalină atomii sunt plasați în nodurile rețelei, la distanțe atât de mici încât electronii de pe straturile exterioare ale atomilor interacționează simultan cu toți ioni vecini. În acest fel, electronii nu sunt legați de un singur atom, putând trece cu ușurință de la un atom la altul. Mișcarea electronilor printre ioni rețelei cristaline este dezordonată și se aseamănă cu mișcarea moleculelor dintr-un gaz închis într-o incintă. (Aceasta a servit drept model pentru "teoria gazului electronic").



**Fig. 1.1** Rețeaua cristalină a unui metal.  
*Electronii liberi*

Din punct de vedere electric, conductorul metalic este neutru deoarece sarcina însumată a tuturor electronilor liberi (negativă) este egală cu sarcina însumată a tuturor ionilor care formează rețeaua cristalină (pozitivă).

O imagine simplificată a acestor procese este prezentată în fig. 1.1.

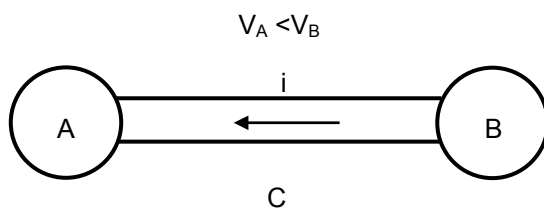
O imagine simplificată a acestor procese este prezentată în fig. 1.1.

### 1.1.1 Circuit electric

Considerăm că avem la dispoziție doi conductori: conductorul  $A$ , cu potențialul electric  $V_A$  și conductorul  $B$ , cu potențialul electric  $V_B$ , astfel încât se respectă condiția  $V_A < V_B$  (fig. 1.2). Dacă îi punem în legătură printr-un fir conductor

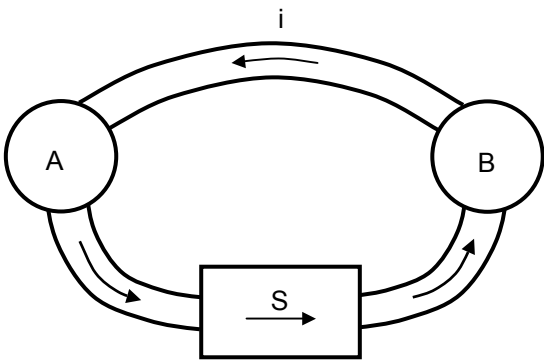
## SURSE ȘI CIRCUITE DE ALIMENTARE

metalic  $C$ , electronii liberi din rețeaua conductorului sunt puși în mișcare dirijată, între corpurile  $A$  și  $B$ , de către forțele electrostatice ale câmpului electric. În acest fel, o parte din electronii liberi de pe corpul  $A$  vor trece pe conductorul  $B$ . Procesul are loc până când se realizează egalizarea potențialelor electrice ale celor două corpuri  $A$  și  $B$ .



**Fig. 1.2** Producerea curentului electric între două corpuri de potențiale diferite

revină de pe corpul  $B$  pe corpul  $A$ . Între cei doi conductori trebuie intercalat un dispozitiv special, numit *generator electric* sau *sursă electrică*. Generatorul se intercalează între corpurile  $A$  și  $B$  cu ajutorul a două fire ce formează un contur închis (fig. 1.3).



**Fig. 1.3** Obținerea curentului electric cu ajutorul unei surse

curentul se transmite practic instantaneu. Fenomenul se explică prin viteza foarte mare de  $3 \cdot 10^8$  m/s cu care se propagă câmpul electric prin firele de legătură conductoare (ghidaje de câmp). În momentul în care câmpul electric apare într-un punct al conductorului, electronii din jurul respectivului punct sunt antrenați într-o

Așa cum este imaginat experimentul, procesul are o durată foarte scurtă (până la egalizarea potențialelor). Pentru ca acest curent electric să dureze trebuie găsite procedee prin care să se mențină constantă diferența de potențial dintre cele două corpuri,  $A$  și  $B$ . Aceasta presupune crearea unor condiții ca electronii liberi să

Sursa electrică asigură diferența de potențial constantă între corpurile  $A$  și  $B$ . Astfel, apare un câmp electric capabil să antreneze electronii într-o mișcare de ansamblu, caracterizată printr-o viteză medie constantă de antrenare. Aceasta determină existența curentului electric în conturul închis din fig. 1.3.

Viteza de deplasare a purtătorilor de sarcină (electroni) este de ordinul  $10^{-5}$  m/s. Totuși, la distanțe de sute de kilometri,

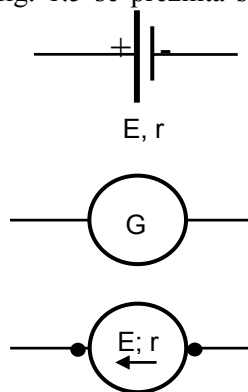
mișcare ordonată suplimentară, care produce *curentul electric staționar*. Acesta se caracterizează prin faptul că viteza mișcării de ansamblu a electronilor este constantă, independentă de timp, în orice secțiune a conductorului.

Generatorul electric este deci cel care furnizează circuitului energie, în acest caz energie electrică. La nivelul generatorului electric, energia electrică se obține ca urmare a unui proces de transformare a unei alte forme de energie. După felul de energie transformată în energie electrică, generatoarele electrice se clasifică astfel:

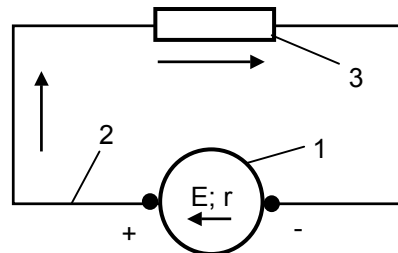
- elemente galvanice și acumulatori electrice, care transformă energia chimică în energie electrică;
- dinamurile și alternatoarele, care transformă energia mecanică în energie electrică;
- termoelementele, care transformă energia termică în energie electrică;
- fotoelementele, care transformă energia luminoasă în energie electrică.

Reprezentarea convențională a surselor electromotoare este dată în fig. 1.4.

În fig. 1.5 se prezintă schematic un circuit electric. Acesta este un ansamblu format din generatorul electric (sursa electrică, 1); ghidajele de câmp (conductorii de legătură, 2) și din unul sau mai mulți consumatori (3).



**Fig. 1.4** Reprezentarea convențională a surselor electromotoare



**Fig. 1.5** Circuit electric

Prezența curentului electric într-un circuit determină apariția a trei efecte principale:

- efectul termic; curentul electric încălzește conductorii prin care circulă;
- efectul chimic; atunci când curentul electric trece printr-o soluție de electrolit, la electrodul negativ (catod) se depune o anumită cantitate de substanță;
- efectul magnetic; în jurul unui conductor străbătut de curent apare un câmp magnetic;

Deoarece curentul electric în sine nu este accesibil simțurilor noastre, măsurarea parametrilor săi se face cu aparate de măsurare ce valorifică efectele.

### 1.1.2 Intensitatea curentului electric

Pornind de la observația anterioară, experiența arată că efectele produse de curentul electric pot fi gradate, mai mari sau mai mici, după cum curentul electric care le produce este mai intens sau mai slab. Aprecierea se face pe baza sarcinii transportate de electroni printr-o secțiune transversală într-un interval de timp.

**Definiție.** Intensitatea curentului electric este o mărime care exprimă sarcina electrică ce străbate secțiunea transversală a circuitului în unitatea de timp.

$$I = \frac{Q}{t} \quad (1.1)$$

unde:  $Q$  - sarcina electrică;  $t$  - timpul în care sarcina electrică  $Q$  străbate suprafața transversală a circuitului;  $I$  - intensitatea curentului electric.

Intensitatea curentului electric este o mărime scalară, fundamentală în S.I. Unitatea de măsură a intensității este amperul, notat  $A$ . Intensitatea curentului electric se măsoară cu ampermetrul, reprezentat simbolic ca în fig. 1.6.

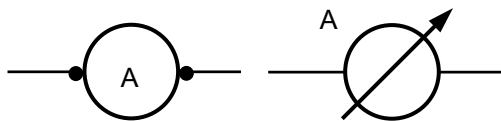


Fig. 1.6 Simbolizarea ampermetrului

Ampermetrul se montează în orice punct al circuitului (în serie) și ca urmare, indiferent de locul de amplasare, va indica aceeași valoare a intensității.

Anumite efecte ale curentului electric depind de sensul în care se deplasează purtătorii de sarcină. Din acest motiv, este necesar să se aleagă (în mod convențional) un sens al curentului electric. Sensul convențional a fost ales sensul de deplasare al purtătorilor de sarcină pozitivă, deși într-un conductor metalic s-a văzut că transportul sarcinii electrice se face de către electroni.

## 1.2 Legile circuitului electric

### 1.2.1 Tensiune electrică. Tensiune electromotoare.

Pentru a menține constantă intensitatea curentului electric într-o anumită porțiune a circuitului, trebuie ca tensiunea electrică pe respectiva porțiune, să rămână constantă. Această condiție se poate realiza atunci când circuitul dispune de

o sursă de energie care să efectueze lucrul mecanic necesar deplasării cu viteză constantă a purtătorilor de sarcină electrică. Sursa de energie respectivă este de fapt generatorul electric sau sursa electrică. Acestea sunt caracterizate de tensiunea electromotoare  $E$ .

Câmpul electric generat de sursă efectuează un lucru mecanic asupra purtătorilor de sarcină pentru a-i deplasa de-a lungul întregului circuit. Efectuarea respectivului lucru mecanic se face pe baza consumului de energie din sursă. Acoperirea acestui consum se face de către sursă prin transformarea de energie care se produce în interiorul său.

Tensiunea electromotoare este egală cu lucrul mecanic efectuat pentru a transporta unitatea de sarcină electrică pozitivă de-a lungul întregului circuit.

Fie  $W$  energia disponibilă în sursă. Presupunem că această energie se împarte astfel:

- $W_1$  - energia necesară transportului purtătorilor de sarcină în circuitul exterior;
- $W_2$  - energia necesară transportului purtătorilor de sarcină prin sursă.

$$W = W_1 + W_2 \quad (1.2)$$

Fie  $Q$  sarcina electrică totală a purtătorilor de sarcină.

$$\frac{W}{Q} = \frac{W_1}{Q} + \frac{W_2}{Q} \quad (1.3)$$

Termenii expresiei (1.3) au semnificația unei tensiuni.

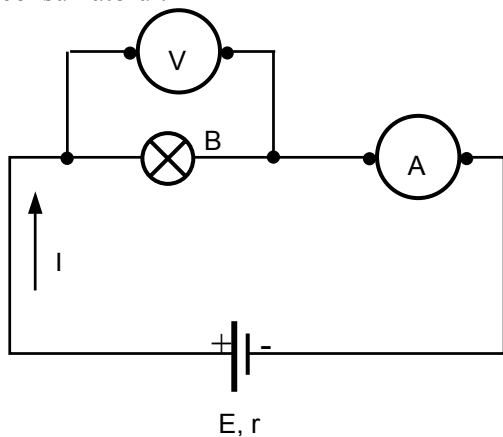
Conform definiției tensiunii electromotoare, termenul  $W/Q$  este tocmai tensiunea electromotoare a sursei, pe care o notăm  $E$ . Termenul  $W_1/Q$  reprezintă energia necesară unității de sarcină pentru a fi transportată în circuitul exterior. Dar, cunoaștem că  $W_1 = L_1 = Q \cdot U$ , unde  $U$  este tensiunea la borne. Ca urmare,  $W_1/Q$  reprezintă căderea de tensiune pe circuitul exterior sursei.

Folosind același raționament,  $W_2/Q = L_2/Q = Q \cdot u/Q = u$ ,  $u$  fiind căderea de tensiune pe sursă (pe rezistența sa interioară). Ca urmare, putem scrie:

$$E = U + u \quad (1.4)$$

## SURSE ȘI CIRCUITE DE ALIMENTARE

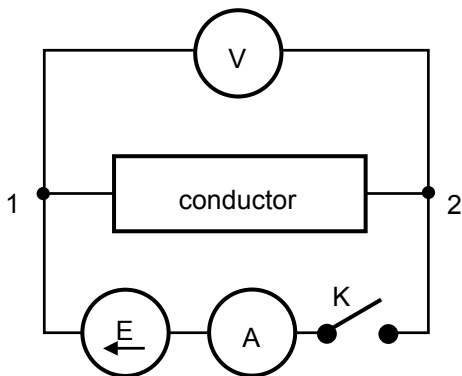
Căderea de tensiune pe consumator se măsoară cu voltmetrul, care se montează paralel pe consumator. Reamintim că ampermetrul se montează în serie cu consumatorul.



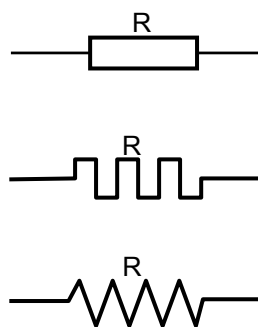
**Fig. 1.7** Conectarea aparatelor de măsurare în circuit

În fig. 1.7 se prezintă un circuit electric având drept consumator un bec  $B$  și modul de conectare a aparatelor de măsurare.

### 1.2.2 Rezistență. Rezistivitate.



**Fig. 1.8** Schema circuitului de măsurare a rezistenței



**Fig. 1.9** Simboluri pentru rezistoare

Se consideră circuitul din fig.1.8. Între bornele 1 și 2 ale circuitului se conectează diferite conductoare. Măsurând valorile tensiunii  $U$  și ale intensității curentului  $I$ , se observă că raportul  $U/I$ , în general, se modifică de la un conductor la altul. Mărimea fizică care descrie acest rezultat și care evidențiază o proprietate a fiecărui conductor se numește rezistență electrică și se notează  $R$ . Unitatea de măsură a rezistenței este ohmul ( $\Omega$ ). Elementul fizic corespunzător rezistenței electrice  $R$  se numește rezistor. Convențional, rezistorul se reprezintă grafic ca în fig. 1.9.

Pentru diferite valori ale tensiunii  $U$ , măsurând intensitățile curenților și calculând valorile rapoartelor  $U/I$ , se observă că aceste rapoarte sunt constante pentru un conductor dat. Prin definiție:

$$R = \frac{U}{I} \quad (1.5)$$

Folosim un circuit de tipul prezentat în fig. 1.8 pentru a studia proprietățile rezistoarelor. Astfel, folosind fire conductoare din același material, aceeași secțiune, dar de lungimi diferite, calculând valorile rezistențelor corespunzătoare diferitelor lungimi (pe baza raportului  $U/I$ ), se constată o relație de directă proporționalitate între rezistență și lungimea firului conductor  $l$ :

$$R \sim l \quad (1.6)$$

După aceasta menținem lungimea constantă a conductorului, folosim același material, dar modificăm secțiunea  $S$ . Se măsoară rezistențele corespunzătoare diferitelor secțiuni (cu relația  $U/I$ ) și se constată o dependență de tip invers proporțional:

$$R \sim \frac{1}{S} \quad (1.7)$$

Folosim conductoare de aceeași lungime și secțiune, dar din materiale diferite. Se observă că raportul  $U/I$  se modifică, punându-se în evidență o dependență între rezistența electrică și natura materialului conductor.

Constanta de directă proporționalitate care face legătura între natura materialului conductor și rezistența electrică se numește rezistivitate și se notează cu  $\rho$ :

$$R \sim \rho \quad (1.8)$$

Reunind relațiile (1.6) ... (1.8) într-o relație unică se obține expresia pentru rezistență:

$$R = \rho \frac{l}{S} \quad (1.9)$$

Rezistivitatea este o mărime electrică derivată, care se exprimă dimensional astfel:

$$[\rho]_{SI} = \Omega \cdot m \quad (1.10)$$

Modificând temperatura materialului conductor cu ajutorul unei surse de căldură, se observă că rezistența electrică variază cu temperatura. În condițiile date și ținând seama de relația (1.9), putem trage concluzia că variația rezistenței provine din variația rezistivității. Modificările lungimii și ale secțiunii în condițiile date sunt foarte puțin semnificative pentru a putea fi luate în considerare. În limite de variație a temperaturii rezonabile, se constată că rezistivitatea electrică depinde de temperatură, conform expresiei:

$$\rho = \rho_0(1 + \alpha t) \quad (1.11)$$

unde:

$\rho_0$  - rezistivitatea electrică la temperatura de 0 °C;

$\rho$  - rezistivitatea electrică la temperatura relativă  $t$  °C;

$\alpha$  - coeficientul de temperatură al rezistivității

Se pot observa anumite particularități ale coeficientului de temperatură al rezistivității. La aliaje, valoarea acestui coeficient este mai mică decât la metale pure. Există aliaje la care coeficientul poate fi considerat nul. Unele aliaje sunt folosite pentru confecționarea de rezistoare care au rezistență electrică aproape independentă de temperatură. Alte aliaje se folosesc la confecționarea unor rezistoare cu rezistență mare. Există și materiale la care rezistența scade cu temperatura. Acestea sunt din grupele IV, V și VI ale tabelului lui Mendeleev și se numesc *semiconductoare* (de exemplu, Si, Ge).

---



Dependența rezistivității de temperatură se folosește în construcția unor componente speciale cum ar fi termorezistențele și termistorii. Unele se realizează într-o clasă de precizie suficient de ridicată pentru a putea fi utilizate ca traductoare de temperatură. În acest caz, se poate stabili cu o precizie suficientă o dependență de tip biunivoc între temperatură și rezistență. Măsurând rezistența se poate determina temperatura.

### 1.2.3 Legea lui Ohm

Folosind un montaj experimental de tipul celui din fig. 1.8 și efectuând o serie de experimente se poate deduce ușor dependența între  $I$ ,  $U$  și  $R$ . Relația respectivă este următoarea:

$$I = \frac{U}{R} \quad (1.12)$$

Expresia este cunoscută sub denumirea de **Legea lui Ohm pentru o porțiune de circuit**.

Legea se poate extinde și pentru un circuit care conține un generator de tensiune electromotoare ( $E$ ) și rezistența interioară ( $r$ ), la care se înscriază un consumator de rezistență  $R$ .

T.e.m a generatorului determină mișcarea purtătorilor de sarcină atât în circuitul exterior, de rezistență  $R$ , cât și în cel interior, de rezistență  $r$ . Aceasta determină căderile de tensiune  $U$ , respectiv  $u$ .

Sensul fizic al căderii de tensiune este energia corespunzătoare unității de sarcină electrică, disipată în sistem datorită ciocnirilor în rețea.

Conform legii lui Ohm pe o porțiune de circuit (1.12), putem scrie:

$$U = IR \quad \text{și} \quad u = Ir \quad (1.13)$$

Înlocuind această expresie în relația  $E = U + u$ , obținem:

$$E = IR + Ir, \quad E = I(R + r)$$

$$I = \frac{E}{R + r} \quad (1.14)$$

Relația (1.14) este cunoscută sub denumirea de **Legea lui Ohm pentru un circuit simplu**:

*Intensitatea curentului electric printr-un circuit este direct proporțională cu tensiunea electromotoare din circuit și invers proporțională cu rezistența totală a circuitului.*

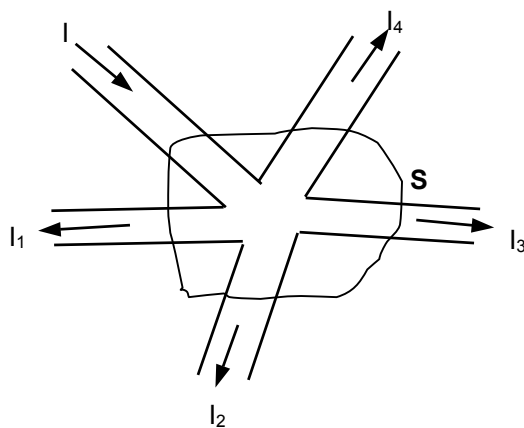
### 1.2.4 Legile lui Kirchhoff

În tehnică, circuitele electrice utilizate sunt mai complicate, cu mai multe ramificații decât circuitele simple studiate anterior. Aceste circuite electrice cu mai multe ramificații sunt cunoscute sub numele de *rețele electrice*. O rețea poate fi descrisă pe baza următoarelor elemente:

- latura (ramura) rețelei;
- nodul de rețea;
- ochiul de rețea.

#### Legea I

Se consideră nodul din fig. 1.10. În acest nod intră curentul  $I$  și ies curenții  $I_1$ ,  $I_2$ ,  $I_3$  și  $I_4$ . Să înconjurăm nodul cu o suprafață  $S$ . Presupunem că în această suprafață, într-un timp  $t$ , intră o sarcină electrică  $Q$ .



Cum în interiorul suprafeței  $S$  sarcina nu se acumulează și nici nu dispăre, trebuie ca în același interval de timp, prin ramurile 1 - 4 să iasă sarcina:

Cum în interiorul suprafeței  $S$  sarcina nu se acumulează și nici nu dispăre, trebuie ca în același interval de timp, prin ramurile 1 - 4 să iasă sarcina:

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 = Q \quad (1.15)$$

Deci, în timpul  $t$ , variația sarcinii electrice este nulă:

**Fig. 1.10** Nod pentru legea lui Kirchhoff

$$\frac{Q}{t} = \frac{Q_1}{t} + \frac{Q_2}{t} + \frac{Q_3}{t} + \frac{Q_4}{t} \quad (1.16)$$

De unde:

$$I = I_1 + I_2 + I_3 + I_4 \quad (1.17)$$

sau

$$I - (I_1 + I_2 + I_3 + I_4) = 0 \quad (1.18)$$

Stabilim prin convenție că  $I > 0$  pentru orice curent care intră în nod și  $I < 0$  pentru curenții care ies din nod. Obținem:

$$\sum_{i=1}^n I_i = 0 \quad (1.20)$$

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

Legea I a lui Kirchhoff este o altă formă a legii de conservare a sarcinii electrice.

Pentru un circuit electric cu  $k$  noduri, putem aplica de  $k$  ori Legea I și obține în consecință  $k$  ecuații. Dintre acestea, numai  $k - 1$  ecuații sunt independente; ecuația  $k$  decurge întotdeauna din celelalte.

#### Legea a II-a

În rețea se poate alege pe fiecare ramură câte un sens al curentului electric. Pentru fiecare

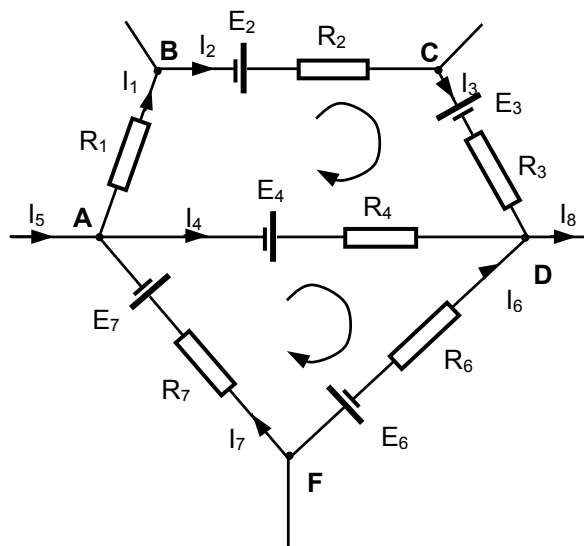


Fig. 1.11 Rețea electrică. Aplicație pentru legea a II a lui Kirchhoff 19

ochi se poate fixa un sens arbitrar de parcurs, ca în fig. 1.11.

Dacă sensul ales pentru parcurgerea ochiului coincide cu sensul ales pentru curentul electric din ramură, atunci produsul  $I \cdot R$  are semn "+", iar în caz contrar semn "-".

T.e.m. este pozitivă dacă sensul de parcurs ales de noi pentru ochi parcurge sursa în sens direct (de la borna negativă la borna pozitivă). În caz contrar, semnul t.e.m. este "-".

Legea a II-a a lui Kirchhoff se exprimă astfel:

*Suma algebrică a tensiunilor electromotoare este egală cu suma algebrică a produselor dintre intensitatea curentului și rezistența totală pentru fiecare ramură.*

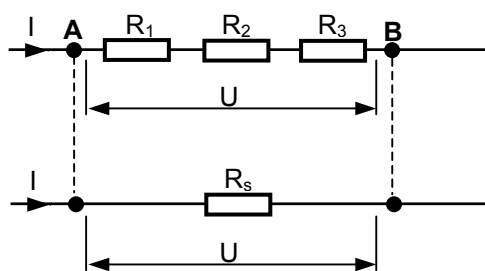
$$\sum_{i=1}^n E_i = \sum_{j=1}^m I_j \cdot r_j \quad (1.20)$$

Cu ajutorul acestei legi se pot obține ecuații independente numai pentru ochiurile independente (acele contururi poligonale formate din laturi în care cel puțin una nu aparține și altor ochiuri).

### 1.2.5 Gruparea rezistoarelor

O rețea electrică este formată dintr-o combinație de mai mulți consumatori care pot fi conectați între ei în mai multe feluri.

Cele mai simple combinații care se pot realiza cu mai multe rezistoare, de valori cunoscute ale rezistențelor, sunt gruparea în serie și gruparea în paralel.



**a) Conexiunea serie** este prezentată în fig. 1.12.

Curentul care parcurge rezistențele  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$  are aceeași valoare  $I$ . Căderile de tensiune pe cele trei rezistențe sunt:

$$U_1 = I_1 R_1$$

$$U_2 = I_2 R_2 \quad (1.21)$$

**Fig. 1.12** Conectarea în serie a rezistoarelor

$$U_3 = I_3 R_3$$

Dacă  $R_S$  este rezistența echivalentă grupării serie, avem:

$$U = I R_S \quad (1.22)$$

Conform legii a II-a a lui Kirchhoff, putem scrie:

$$U = U_1 + U_2 + U_3 \quad (1.23)$$

$$I R_S = I R_1 + I R_2 + I R_3 \quad (1.24)$$

$$R_S = R_1 + R_2 + R_3 \quad (1.25)$$

Expresia (1.25) poate fi generalizată pentru un număr  $n$  de rezistoare, căpătând forma:

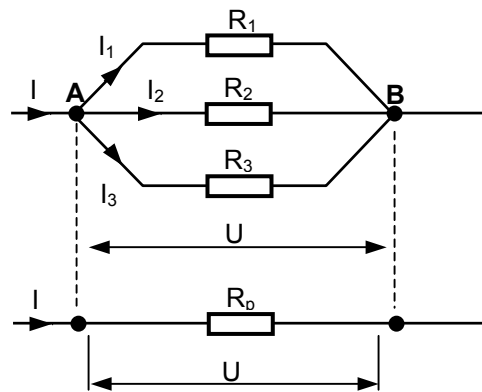
$$R_S = \sum_{i=1}^n R_i \quad (1.26)$$

**b) Conexiunea paralel (derivație)** este prezentată în fig. 1.13.

Specific acestui mod de conectare este faptul că pe toate rezistoarele se dezvoltă aceeași cădere de tensiune (între bornele A și B). Fiecare rezistor va fi parcurs de un curent specific, respectiv  $I_1, I_2, I_3$ .

Dacă  $R_P$  este rezistorul cu rezistență echivalentă a circuitului,

$$I = \frac{U}{R_P} \quad (1.27)$$



**Fig. 1.13** Conectarea în paralel a rezistoarelor

#### SURSE ȘI CIRCUITE DE ALIMENTARE

---

Aplicând legea I a lui Kirchhoff în nodul A, putem scrie:

$$I = I_1 + I_2 + I_3 \quad (1.28)$$

Din legea lui Ohm pe fiecare ramură:

$$I_1 = \frac{U}{R_1} ; \quad I_2 = \frac{U}{R_2} ; \quad I_3 = \frac{U}{R_3} \quad (1.29)$$

Rezultă:

$$\frac{U}{R_p} = \frac{U}{R_1} + \frac{U}{R_2} + \frac{U}{R_3} \quad (1.30)$$

$$\text{deci: } \frac{1}{R_p} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \quad (1.31)$$

Putem generaliza această relație pentru  $n$  rezistoare conectate în paralel:

$$\frac{1}{R_p} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{R_i} \quad (1.32)$$

#### ÎNTREBĂRI – PROBLEME

---

1. Care este starea în care se găsesc electronii în interiorul unui conductor metalic?
2. Cum se mișcă electronii printre ionii rețelei unui conductor metalic în lipsa câmpului electric?
3. Care este ordinul de mărime al vitezei de deplasare a electronilor într-un conductor metalic parcurs de curent?

4. Definiți expresia curentului electric printr-o relație între  $Q$  – cantitatea de electricitate transportată,  $t$  – timpul și  $S$  – secțiunea conductorului.
  5. Care este sensul convențional al curentului electric?
  6. Ce reprezintă tensiunea electromotoare?
  7. Precizați unitatea de măsură a rezistivității  $\rho$ .
  8. Cum variază cu temperatura rezistivitatea la metale și aliaje?
  9. Precizați ce relație există între intensitatea curentului electric printr-un circuit, în funcție de tensiunea electromotoare și rezistența totală a circuitului.
  10. Câte ecuații independente se pot scrie prin aplicarea legii I a lui Kirchhoff pentru un circuit electric cu  $k$  noduri?
  11. Care este condiția ce trebuie îndeplinită pentru ca prin aplicarea legii a II-a a lui Kirchhoff pe un ochi de circuit să se obțină o ecuație independentă?
  12. Cum se alege sensul de parcurgere a unui ochi de circuit pentru a putea scrie legea a II-a a lui Kirchhoff?
  13. Stabiliți expresia rezistenței echivalente pentru conectarea în serie a  $n$  rezistoare.
  14. Se leagă în serie  $n$  rezistoare având fiecare rezistența  $R$ . Care este valoarea rezistenței echivalente?
  15. Stabiliți expresia rezistenței echivalente pentru conectarea în paralel a  $n$  rezistoare.
  16. Se leagă în paralel  $n$  rezistoare având fiecare rezistența  $R$ . Care este valoarea rezistenței echivalente?
-