

REZISTOARE. REZISTENȚE ELECTRICE. CONECTAREA REZISTOARELOR ÎN CIRCUITELE DE CURENT CONTINUU

1. Breviar teoretic

1.1. Rezistorul

Rezistorul electric este un element de circuit pasiv care se opune trecerii curentului electric dacă la bornele sale se aplică o tensiune electrică. El absoarbe pe la borne putere electrică activă pe care o transformă în căldură prin efectul electrocaloric (efectul Joule-Lenz).

Rezistorul se confecționează din diferite materiale conductoare.

Caracterizarea globală a unui rezistor se face cu ajutorul parametrului fizic numit *rezistență electrică*, notat cu R . Un alt parametru folosit, de asemenea, pentru caracterizarea unui rezistor este conductanța electrică, notată cu G . Cei doi parametri sunt legați între ei prin relația:

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

Modelul fizic ideal al unui rezistor îl reprezintă un conductor omogen cu secțiunea constantă. Rezistența unui conductor de lungime l [m] și de secțiune transversală A [m²] este:

$$R = \rho \frac{l}{A} \quad (2)$$

în care ρ este rezistivitatea materialului conductor [$\Omega \cdot m$].

Unitatea de măsură, în sistem internațional (S.I.), a rezistenței electrice se numește *Ohm* [Ω]. În aplicațiile practice se utilizează și multipli sau submultipli ai acestei unități. Unitatea de măsură a conductanței electrice se numește *Siemens* [S].

1.2. Clasificarea rezistoarelor

Rezistoarele se pot clasifica în:

- rezistoare liniare;
- rezistoare neliniare.

Rezistorul liniar are rezistența electrică independentă de valoarea intensității curentului electric ce îl străbate. Așadar, rezistența este constantă în orice punct de funcționare pe caracteristica tensiune-curent $u(i)$ (fig. 1).

Ecuția tensiune-curent are, în acest caz, expresia:

$$u = R \cdot i \quad (3)$$

Această relație se poate scrie cu ajutorul conductanței, ținând seama de relația (1), sub forma:

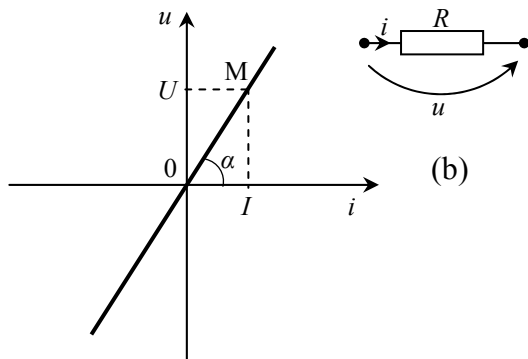
$$i = G \cdot u \quad (4)$$

Caracteristica tensiune-curent este *liniară și bilaterală*; liniară, în sensul că această caracteristică este o linie dreaptă ce trece prin origine. O consecință importantă a liniarității este faptul că tensiunea este întotdeauna proporțională cu curentul și viceversa. Bilateral înseamnă că această caracteristică are simetrie pară față de origine ($u(-i) = -u(i)$). Datorită proprietății de bilateralitate, schimbarea polarității tensiunii aplicate schimbă sensul curentului, dar nu și valoarea sa. Rezultatul este că orice rezistor se poate conecta în circuit *fără a ține seama de semnificația în notarea bornelor sale*.

Datorită liniarității, putem spune că (Fig. 1 (a)):

$$R = \left. \frac{U}{I} \right|_M = \operatorname{tg} \alpha \quad (5)$$

Relațiile (3) și (4) sunt cunoscute în literatura de specialitate sub numele de *legea lui Ohm*. Legea lui Ohm presupune stabilirea sensurilor de referință pentru curent și tensiune după *regula de la receptor*. În acest caz tensiunea și curentul pleacă din același punct (=bornă) - Fig.1 (b).



(a) Fig. 1

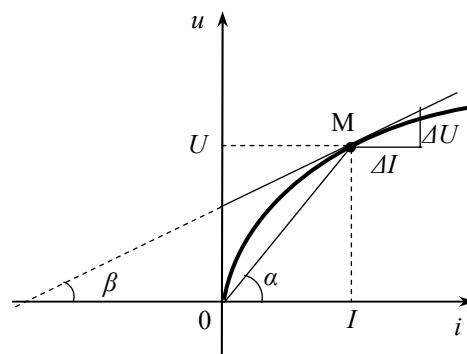


Fig. 2

Rezistorul neliniar are rezistența electrică dependentă de curentul care îl parcurge.

Ecuția tensiune-curent a unui rezistor neliniar reprezintă o funcție neliniară $u = u(i)$, dată sub formă analitică, grafică sau tabelară (fig. 2).

Pentru rezistoarele neliniare, într-un punct de funcționare, M, de pe caracteristica neliniară, se definesc (fig. 2):

- rezistența statică - R_s

$$R_s = \left. \frac{U}{I} \right|_M = \operatorname{tg} \alpha \quad (6)$$

Rezistența statică este totdeauna pozitivă.

- rezistența dinamică - R_d

$$R_d = \lim_{\Delta i \rightarrow 0} \frac{\Delta u}{\Delta i} = \left. \frac{du}{di} \right|_M = \operatorname{tg} \beta \quad (7)$$

Rezistența dinamică poate fi pozitivă sau negativă.

Un alt criteriu de clasificare împarte rezistoarele în:

- rezistoare variabile;
- rezistoare invariabile.

Spre deosebire de rezistoarele *invariabile*, a căror valoare a rezistenței nu poate fi modificată de către utilizator, rezistoarele *variabile* permit utilizatorului să modifice valoarea rezistenței lor, prin deplasarea unui cursor (rezistoarele numindu-se în acest caz *potențiometre* și / sau *reostate* – în funcție de modalitatea de conectare) sau prin realizarea unei comutații, ce realizează schimbarea conexiunilor unor grupuri de rezistoare (la rezistoarele cu variație în decade).

1.3. Simbolizarea rezistoarelor

Simbolurile grafice uzuale ale rezistoarelor sunt date în fig.3. Simbolurile folosite pentru rezistoarele liniare sunt date în fig.3.a, rezistoarele neliniare au simbolurile din fig.3.b., iar simbolurile pentru rezistoarele variabile sunt date în fig.3.c.

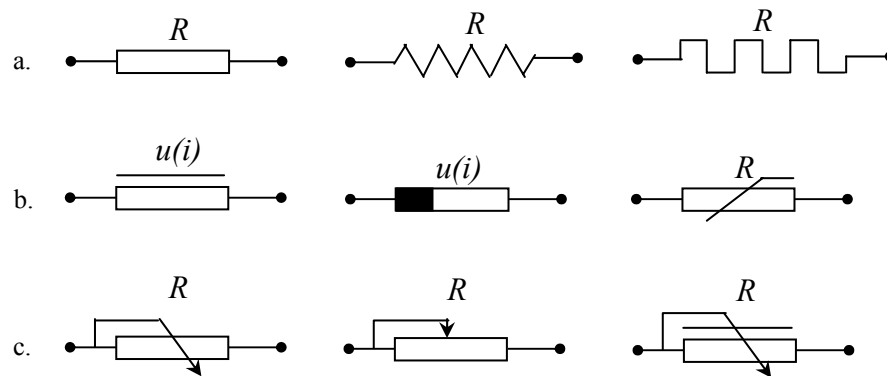


Fig.3

1.4. Puterea electrică disipată pe un rezistor

Puterea electrică asociată unui rezistor poate fi dedusă din formula generală a puterii electrice:

$$p = u \cdot i \quad (8)$$

Folosind relația (3), și înlocuind tensiunea în relația (8), pentru rezistoarele liniare se obține relația:

$$p = u \cdot i = R \cdot i \cdot i = R \cdot i^2 \quad (9)$$

Sau, înlocuind în (8) curentul, se obține relația:

$$p = u \cdot \frac{u}{R} = \frac{u^2}{R} = G \cdot u^2 \quad (10)$$

Deoarece parametrul R este pozitiv, aceste ecuații arată că puterea are întotdeauna o valoare pozitivă, ceea ce înseamnă că rezistorul întotdeauna absoarbe (consumă) putere.

În cazul rezistoarelor puterea consumată de acesta este o *putere activă* și se măsoară în watt [W].

1.5. Construcția rezistoarelor

Din punct de vedere constructiv se pot identifica trei tipuri principale de rezistoare, ce se vor prezenta pe scurt în continuare.

Rezistorul bobinat constă dintr-un fir conductor lung înfășurat în jurul unui cilindru izolator (fig.4). Lungimea conductorului sau rezistența sa pe unitatea de lungime este variabilă pentru a controla valoarea rezistenței. Materialul din care este fabricat acest tip de rezistori este materialul epoxidic, în formă cilindrică. Materialul epoxidic, impregnat cu un material cu conductivitate mare (de regulă grafit) într-o proporție bine stabilită, își schimbă rezistivitatea și controlează valoarea rezistenței.

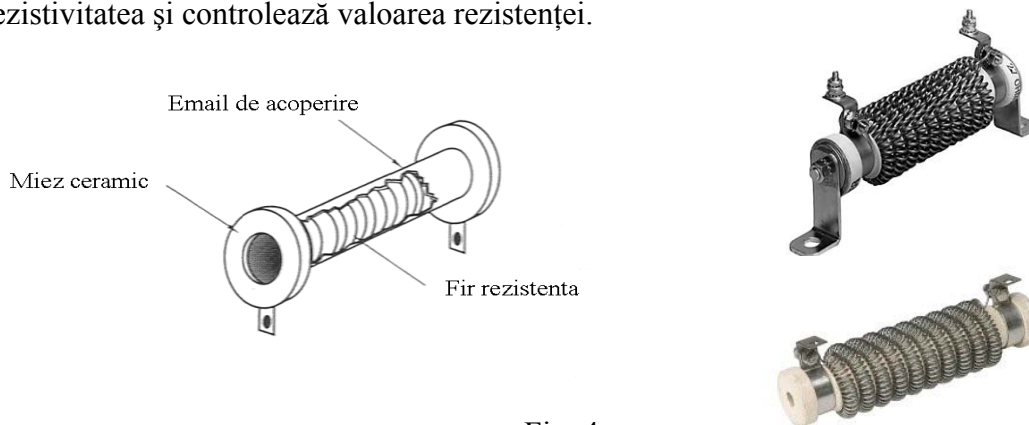


Fig. 4

Rezistoarele tip peliculă superficială (‘film resistor’) sunt fabricate prin depunerea, în mediu vidat, a unui strat subțire de metal pe un substrat izolator (fig.5). Rezistivitatea stratului conductor este menținută constantă, în vreme ce grosimea, lățimea sau lungimea sunt variate în scopul controlării rezistenței. Această tehnică de fabricație permite combinarea în vederea obținerii de circuite integrate.

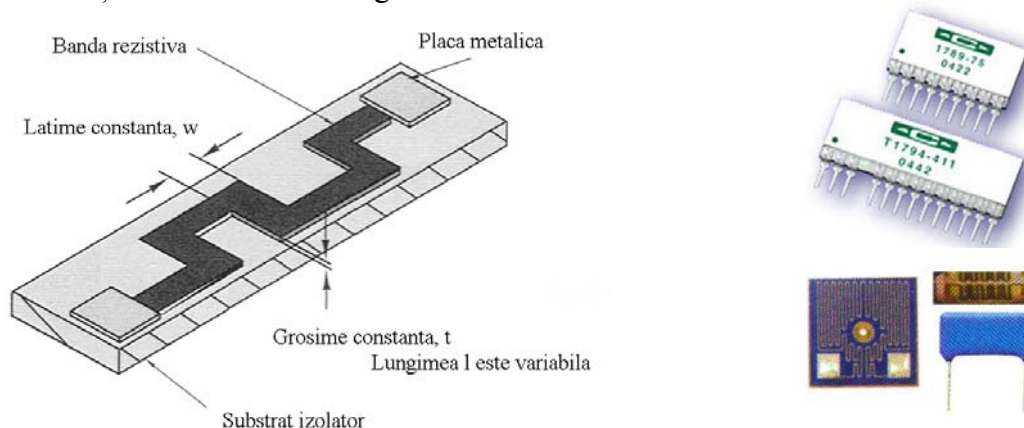


Fig. 5

Rezistoarele din amestec de carbon sunt alcătuite dintr-un element rezistiv cilindric în care este inclus un fir ale cărui capete sunt accesibile sau care are borne terminale metalice de care sunt atașate firele de legătură. Elementul este protejat cu vopsea sau cu plastic (fig. 6). Elementul rezistiv este format dintr-un amestec din praf fin de carbon și material izolant (în general ceramic), unite printr-un liant (rășină). Rezistența este dată de raportul dintre cantitatea de carbon și cantitatea de material izolant folosite. Astfel o cantitate ridicată de carbon înseamnă o rezistență scăzută.

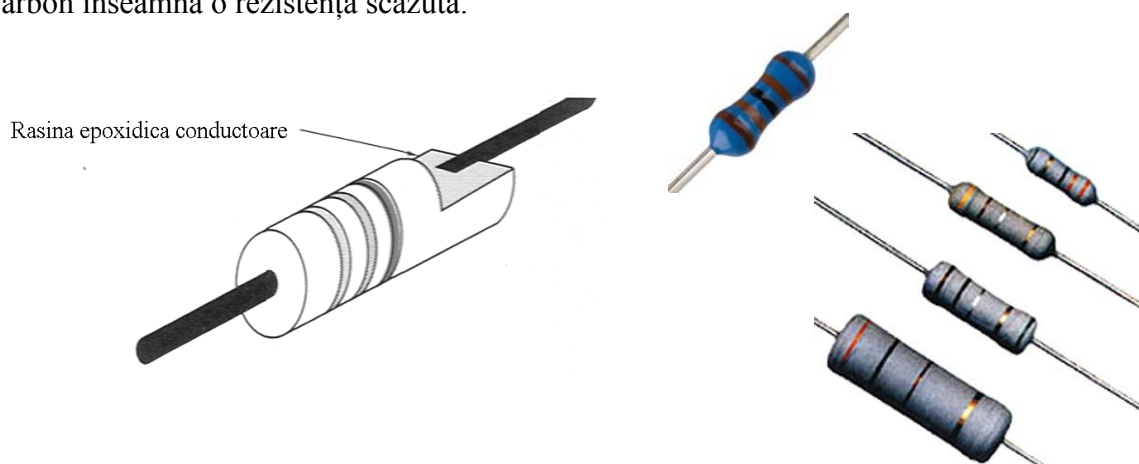


Fig. 6

Pentru a reduce costurile de producție industria electrică a adoptat valori standard și toleranțe pentru cele mai folosite componente (rezistoare, condensatoare, etc.). Valorile standard și toleranțele acceptate sunt prezentate, cu titlu informativ, în tabelul 1.

Tabelul 1

Valoarea	Toleranța	Valoarea	Toleranța
10	±5% ±10% ±20%	22	±5% ±10% ±20%
11	±5%	24	±5%
12	±5% ±10%	27	±5% ±10%
13	±5%	30	±5%
15	±5% ±10% ±20%	33	±5% ±10% ±20%
16	±5%	36	±5%
18	±5% ±10%	39	±5% ±10%
20	±5%	43	±5%

În tabelul 2 este prezentată o listă de tipuri de rezistoare, cu domeniul de valori, toleranțe tipice, puteri nominale și costuri relative. O toleranță scăzută sau o putere nominală ridicată înseamnă în general costuri inițiale ridicate.

Tabelul 2

Tipul și Valoarea	Toleranța (%)	Puterea nominală (W)	Costul relativ
Amestec de carbon 1 Ω - 20 Ω	5, 10, 20	1/8, 1/4, 1/2, 1, 2	Mic
Peliculă de carbon 1 Ω - 20 Ω	1, 2, 5	1/2 - 2	Mediu
Peliculă de metal 1 Ω - 20 Ω	0.01 - 1	1/20 - 1/4	Mediu
Bobinată 0,1 Ω - 200 Ω	0.01 - 2	1, 2, 5, 10, 25	Mare

O altă categorie de rezistoare sunt, așa cum s-a văzut la paragraful 1.2, rezistoarele variabile sau *potențiometrele*. Acestea sunt dispozitive cu trei borne de acces; două borne sunt conectate la capetele unui element rezistiv, iar a treia bornă este un contact mobil cu elementul rezistiv într-un punct intermediar. Cele mai utilizate tipuri de potențiometre sunt prezentate în fig. 7 (a. - potențiomtru rotitor, b.- potențiomtru liniar).

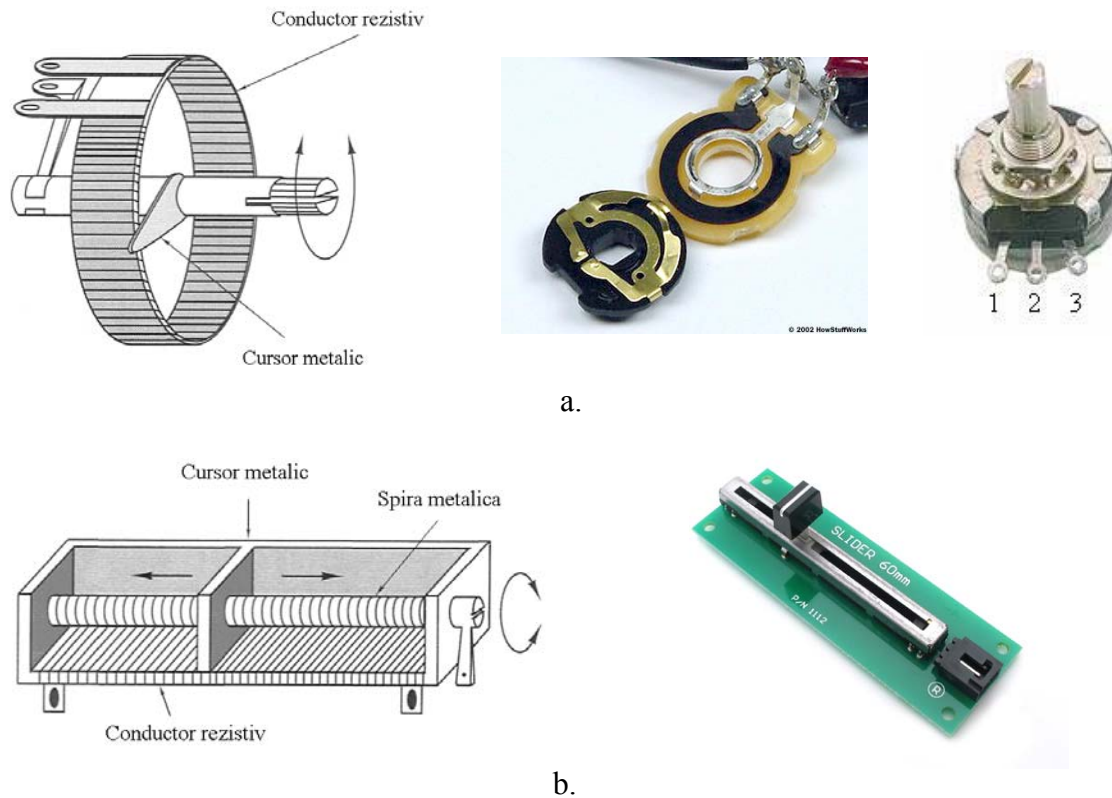


Fig.7

1.6. Utilizarea reostatelor la reglarea tensiunii

Realizarea unor experimente necesită uneori alimentarea schemelor electrice cu tensiune variabilă. Având la dispoziție, în general, o tensiune de valoare fixă, pentru a putea avea o valoare reglabilă a tensiunii de alimentare a unui circuit electric se poate folosi un reostat.

Schema de conectarea a acestuia în circuit este precizată în fig. 8.

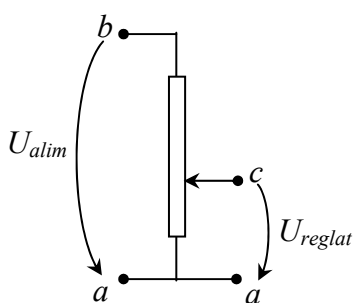


Fig.8

Tensiunea de alimentare, de valoare fixă, se aplică la extremitățile reostatului, notate în fig.8 cu a și b . Tensiune de ieșire, reglabilă, se culege între borna de cursor c și una dintre extremități, a . Se observă, așadar, că valoarea reglată a tensiunii este cuprinsă între valoarea zero (atunci când cursorul se găsește la extremitatea a a reostatului) și valoarea tensiunii de alimentare (atunci când cursorul se găsește la extremitatea b a reostatului).

1.7. Conectarea serie a rezistoarelor

Fie două rezistoare conectate în serie între bornele A și B ale unui circuit (fig.9).

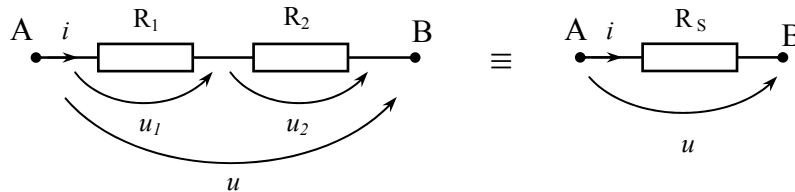


Fig.9

Se dorește simplificarea circuitului, fără a afecta funcționarea restului circuitului.

Deoarece cele două rezistoare sunt conectate în serie, ele sunt parcurse de același curent, iar între tensiunile la borne există relația:

$$u = u_1 + u_2 \quad (11)$$

Folosind pentru fiecare rezistor relații de tipul (3) și înlocuind în relația (11) se obține:

$$u = R_1 \cdot i + R_2 \cdot i = (R_1 + R_2) \cdot i \quad (12)$$

Ținând seama de circuitul echivalent, se poate scrie relația:

$$u = R_s \cdot i \quad (13)$$

Din relațiile (12) și (13), rezultă atunci că rezistența echivalentă dintre două rezistoare se poate determina cu relația:

$$R_s = R_1 + R_2 \quad (14)$$

Generalizând expresia (14) pentru un număr de n rezistoare conectate în serie, se obține:

$$\boxed{R_s = \sum_{k=1}^n R_k} \quad (15)$$

1.8. Conectarea paralel a rezistoarelor

Fie două rezistoare conectate în paralel între bornele A și B ale unui circuit (fig.10).

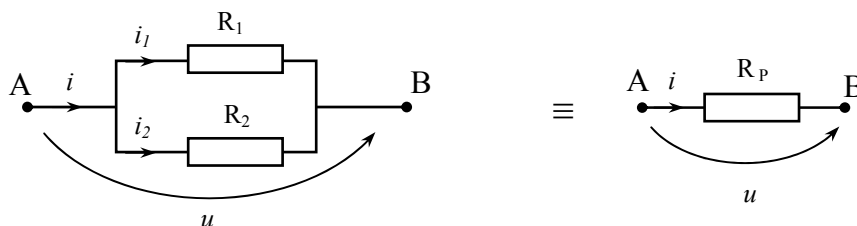


Fig.10

Se dorește simplificarea circuitului, fără a afecta funcționarea restului circuitului.

Deoarece cele două rezistoare sunt conectate în paralel (sau în derivație), ele au la borne aceeași tensiune, iar între curenți există relația dată de teorema I a lui Kirchhoff:

$$i = i_1 + i_2 \quad (16)$$

Folosind pentru fiecare rezistor relații de tipul (4) și înlocuind în relația (16) se obține:

$$i = G_1 \cdot u + G_2 \cdot u = (G_1 + G_2) \cdot u \quad (17)$$

Ținând seama de circuitul echivalent, se poate scrie relația:

$$i = G_p \cdot u \quad (18)$$

Din relațiile (17) și (18), rezultă relația de calcul a conductanței echivalente a două rezistoare conectate în paralel:

$$G_p = G_1 + G_2 \quad (19)$$

Ținând seama de valorile rezistențelor, folosind (1), relația (19) se scrie:

$$\frac{1}{R_p} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \quad \text{sau} \quad R_p = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} \quad (20)$$

Generalizând expresia (19) pentru un număr de n rezistoare conectate în paralel, se obține:

$$\boxed{G_p = \sum_{k=1}^n G_k} \quad (21)$$

sau, folosind rezistențele elementelor în paralel,

$$\boxed{\frac{1}{R_p} = \sum_{k=1}^n \frac{1}{R_k}} \quad (22)$$

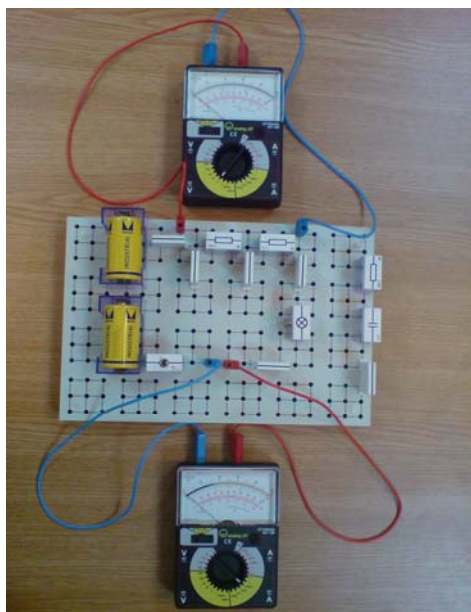
2. Chestiuni de studiat

- 2.1. Analiza conectării în serie a rezistoarelor.
- 2.2. Analiza conectării în paralel a rezistoarelor.

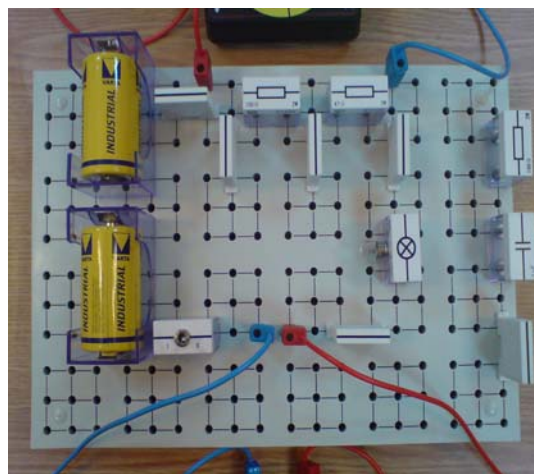
3. Scheme de lucru și aparate utilizate

3.1. Schemele reale din laborator

- 3.1.1. Schema reală la conectarea în serie a rezistoarelor



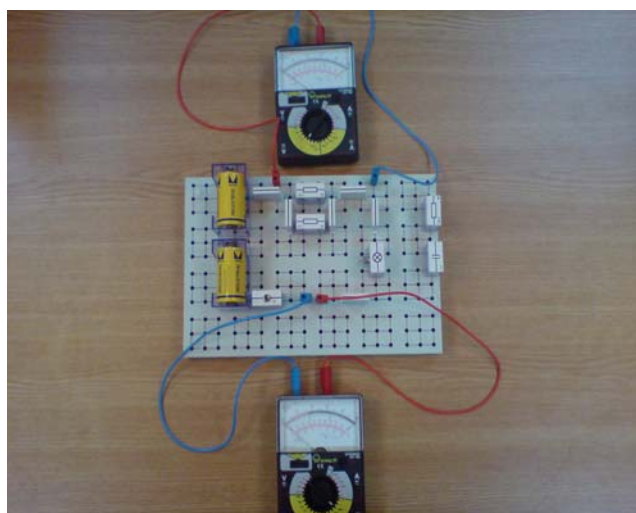
a.



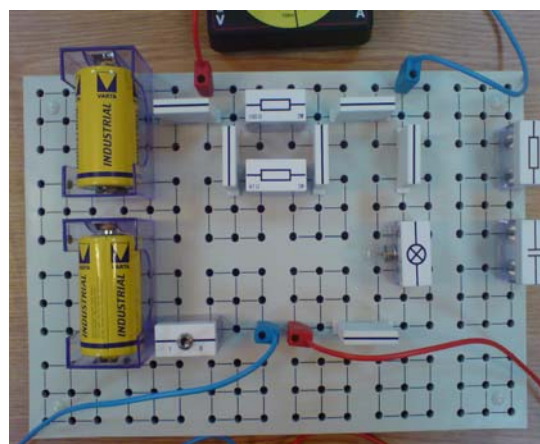
b.

Fig. 11

3.1.2. Schema reală la conectarea în paralel a rezistoarelor



a.



b.

Fig. 12

3.2. Scheme electrice de montaj

3.2.1. Conectarea în serie a rezistoarelor (fig.13)

3.2.2. Conectarea în paralel a rezistoarelor (fig.14)

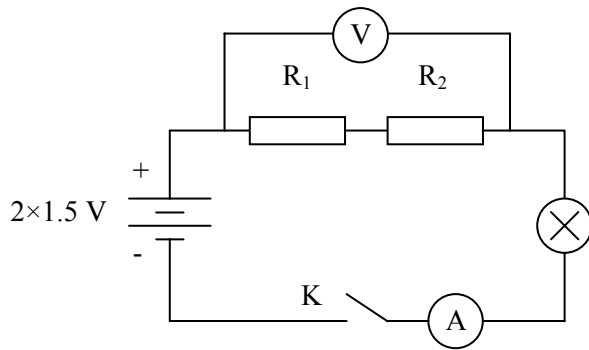


Fig. 13

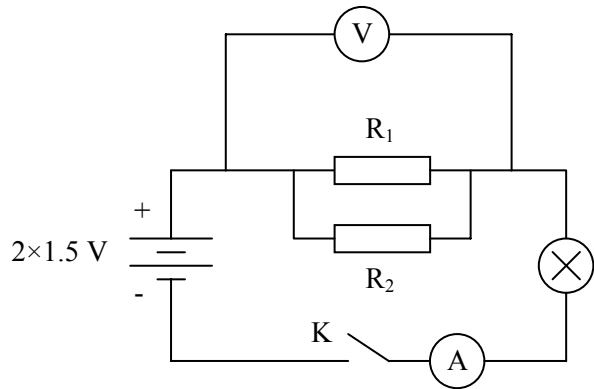


Fig.14

3.3. Aparate utilizate

- planul de lucru;
- comutator ON/OFF;
- 2 rezistoare de $100\ \Omega$;
- 1 rezistor de $47\ \Omega$;
- 4 conductoare: -2 roșii
 -2 albastre;
- 2 aparate de măsură (multimetre), având funcțiile de ampermetru, respectiv voltmetru;
- sursă de alimentare în curent continuu de 3 V (2 baterii de 1.5 V);
- 1 bec de 4 V/ 400 mA.

4. Modul de lucru

4.1. Procedeeul experimental

4.1.1. Conectarea în serie a rezistoarelor

- Se realizează schema din fig.13 (fig. 11), asigurând alimentarea de la o sursă de 3 V c.c. (2 baterii de 1.5 V conectate în serie, ținând seama de bornele acestora).

Comutatorul K se trece pe poziția 0 (deschis). Se aleg pentru cele două rezistențe valorile de $R_1=100\ \Omega$ și $R_2=47\ \Omega$.

Pentru conectarea aparatelor de măsură în circuit se folosesc fire de culori diferite: roșu pentru borna (+) și albastru pentru borna (-). Aparatele de măsură sunt fixate pe următoarele domenii de măsurare: ampermetrul pe domeniul de 100 mA c.c și respectiv voltmetrul pe domeniul de 3 V c.c.

- Se pornește circuitul prin trecerea comutatorului pe poziția închis (1) și se observă că becul nu se aprinde. Acest lucru indică faptul că, deși există curent în circuit, valoarea curentului din circuit este mică și nu face posibilă aprinderea filamentului becului.

- Se citesc valorile date de aparatele de măsură și se trec în tabelul 3. În cazul tensiunilor, se notează atât valoarea tensiunii la bornele conexiunii serie a rezistoarelor, cât și valorile tensiunilor de la bornele fiecărei rezistențe (prin mutarea punctelor de măsurare ale voltmetrului).

- Se decuplează circuitul de la alimentare, prin trecerea comutatorului k pe poziția 0.
- Se repetă procedeul pentru rezistențe de valori $R_1 = R_2 = 100\Omega$.

4.1.2. Conectarea în paralel a rezistoarelor

- Se realizează schema din fig.14 (fig. 12), asigurând alimentarea de la o sursă de 3 V c.c. (2 baterii de 1.5 V conectate în serie, ținând seama de bornele acestora).

Comutatorul K se trece pe poziția 0 (deschis). Se aleg pentru cele două rezistențe valorile de $R_1 = 100\Omega$ și $R_2 = 47\Omega$.

Aparatele de măsură sunt fixate pe următoarele domenii de măsurare: ampermetrul pe domeniul de 100 mA c.c și respectiv voltmetrul pe domeniul de 3 V c.c.

Observație:

Schema de montaj din fig.12 se obține ușor din schema precedentă (fig.11) schimbând între ele pozițiile conectorului din dreapta-sus și a rezistorul R_2 .

- Se pornește circuitul prin trecerea comutatorului pe poziția închis (1) și se observă că de data aceasta becul se aprinde. Acest lucru indică faptul că există curent în circuit, iar valoarea acestuia este mai ridicată decât în cazul prezentat la paragraful 4.1.1. (conectarea în serie).
- Se citesc valorile date de aparatele de măsură (tensiunea la bornele grupării paralel și curentul total din circuit) și se trec în tabelul 4.
- Se decuplează circuitul de la alimentare, prin trecerea comutatorului k pe poziția 0.
- Se repetă procedeul pentru rezistențe de valori $R_1 = R_2 = 100\Omega$.

4.2. Prelucrarea datelor

4.2.1. Conectarea în serie a rezistoarelor

- Se calculează, pentru fiecare caz, tensiunea la bornele grupării serie cu formula:

$$U_{\text{calc}} = U_1 + U_2 \quad (23)$$

- Se calculează rezistența echivalentă a conexiunii serie R_{S_exp} din formula dată de legea lui Ohm:

$$R_{S_exp} = \frac{U}{I} \quad (24)$$

- Se calculează rezistența echivalentă a conexiunii serie R_{S_calc} cu formula (14).
- Se compară, pentru fiecare caz, valorile obținute pentru R_{S_exp} și R_{S_calc} și se notează observația.
- Valorile obținute din calcule se trec în Tabelul 3.

4.2.2. Conectarea în paralel a rezistoarelor

- Se calculează, pentru fiecare caz, rezistența echivalentă a conexiunii paralel R_{P_exp}

din formula dată de legea lui Ohm:

$$R_{P_exp} = \frac{U}{I} \quad (25)$$

- Se calculează rezistența echivalentă a conexiunii paralel R_{P_calc} cu relația (20).
- Se compară, pentru fiecare caz, valorile obținute pentru R_{P_exp} și R_{P_calc} și se notează observația.
- Valorile obținute din calcule se trec în Tabelul 4.

5. Tabele de date

Tabelul 3

Conectare serie	Mărimi măsurate				Mărimi calculate		
	U [V]	U ₁ [V]	U ₂ [V]	I [A]	U _{calc} [V]	R _{S exp} [Ω]	R _{S calc} [Ω]
Cazul I R1=100Ω R2=47 Ω							
Cazul II R1=100Ω R2=100Ω							

Tabelul 4

Conectare paralel	Mărimi măsurate		Mărimi calculate	
	U [V]	I [A]	R _{P exp} [Ω]	R _{P calc} [Ω]
Cazul I R1=100Ω R2=47 Ω				
Cazul II R1=100Ω R2=100Ω				

6. Întrebări de control

- Ce este rezistorul? Dar rezistența?
- Ce tip de putere consumă un rezistor? Care este formula de calcul?
- Ce categorii de rezistoare cunoașteți? Explicați.
- Ce tipuri de rezistoare cunoașteți? Ce caracteristici au fiecare dintre ele?
- Care este formula de calcul a unei rezistențe echivalente serie? Dar paralel?
- Valorile rezistențelor rezultate din calcule, în cele două variante, atât la conectarea în serie, cât și în paralel, sunt de valori egale? De ce?
- Un bec, parcurs de curent, poate fi stins? De ce?