

Bazele electrotehnicii

Prezentarea laboratorului și a seminarului

Câteva cuvinte despre ce conține laboratorul și seminarul la această materie:

- Laboratoarele și seminarele se vor desfășura pe subgrupe (există canale separate pe MS Teams)
- La fiecare laborator veți realiza și încărca pe platforma Moodle un referat de laborator (excepție făcând primul laborator)
- Laboratorul se încheie cu un colocviu de laborator (în săpt. 13)
- Vom lucra în Pspice (un simulator numeric de circuite electrice și electronice de uz general, o versiune gratuită) – Kitul se găsește pe Moodle
- La seminar se vor analiza circuite electrice de curent continuu, curent alternativ, circuite în regim periodic nesinusoidal și circuite în regim tranzitoriu.
- Se vor da două lucrări de seminar (L1 – c.c, L2 – c.a)

Punctaje laborator + seminar:

- ✓ L1 – cc 10p
- ✓ L2 – ca 10p
- ✓ Prezentă + activitate + teme seminar 10p
- ✓ Prezentă + activitate + referate laborator 10p
- ✓ Colocviu laborator 10p

TOTAL ACTIVITATE PE PARCURSUL SEMESTRULUI: 50p

Instalarea programului PSpice

- ✓ Se descarcă programul de la adresa:
<https://curs.upb.ro/mod/folder/view.php?id=199458>
 - ✓ Se execută programul descărcat iar la Unzip to folder scrieți: C:\a și dați Enter
 - ✓ După dezarhivare dați Close
 - ✓ Apoi mergeți în folderul C:\a și rulați Setup.exe
 - ✓ Primiți un mesaj cu antivirusul, dați ok.
 - ✓ Bifați și Capture și Schematics
 - ✓ Dați Next de mai multe ori și se instalează.
 - ✓ Dați Finish
 - ✓ Ștergeți folderul C:\a
-

LABORATOR 1

Introducere

Un **circuit electric** reprezintă un ansamblu de elemente de circuit interconectate.

Analiza circuitelor electrice presupune determinarea valorilor tensiunii electrice și a curentului electric prin diferite elemente din circuit cunoscându-se expresiile surselor de alimentare.

Regimul electric al unui circuit reprezintă modul de funcționare a circuitului ținând cont de felul de variație în timp a tensiunilor și curenților din acel circuit. În majoritatea cazurilor, regimul electric este dictat de forma de variație în timp a surselor ce alimentează circuitul. De exemplu, dacă un circuit electric are drept sursă de energie o sursă de tensiune electromotoare continuă și constantă în timp, atunci regimul electric ce se va stabili în acest circuit va fi unul de curent continuu; dacă sursa are o tensiune electromotoare alternativă și sinusoidală atunci regimul electric ce se va stabili în circuit va fi unul de curent alternativ sinusoidal, numit și armonic.

Spunem că avem un regim **permanent** atunci când forma de variație a tensiunilor și curenților este aceeași tot timpul. De exemplu, regimul de curent continuu și cel armonic sunt regimuri permanente. Regimul **tranzitoriu** este acela care se stabilește pe durata în care circuitul trece de la un regim permanent la alt regim permanent, trecere datorată modificărilor topologice (contacte deschise, închise) sau schimbărilor parametrilor surselor de alimentare.

Cunoașterea tipului de regim electric are o importanță deosebită, deoarece de tipul regimului electric depinde rezolvarea aceluși circuit, prin alegerea unei metode corespunzătoare pentru a analiza circuitul respectiv.

Analiza circuitelor electrice liniare în curent continuu

Un circuit electric poate fi caracterizat din punct de vedere topologic prin laturi, noduri și bucle.

O **latură** reprezintă o porțiune din circuit formată dintr-un element de circuit sau mai multe elemente înseriate, cuprinsă între două noduri. Curentul electric printr-o latură de circuit are aceeași valoare în orice punct de pe latură.

Un nod este punctul de joncțiune a cel puțin trei laturi de circuit (vezi fig.1).

O buclă este constituită dintr-o înșiruire de laturi și noduri ce formează o curbă închisă astfel încât, parcurgând această curbă, fiecare nod este traversat o singură dată (vezi fig.1).

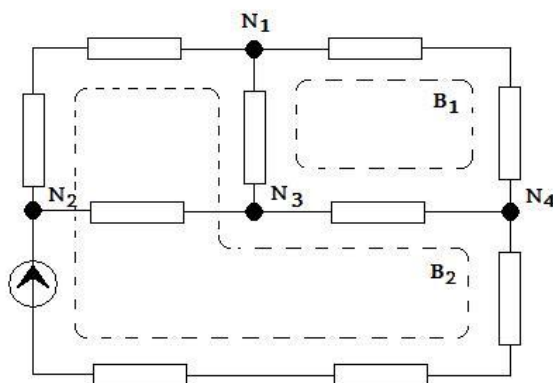


Fig.1. Elemente de topologie.

Conform definițiilor de mai sus, în circuitul din fig.1 se pot vizualiza patru noduri ($N_1 \dots N_4$), șase laturi și două posibile bucle (B_1, B_2).

În fig. 2 este prezentat un circuit și o modalitate de alegere a nodurilor, conductoarele de legătură dintre elementele de circuit fiind ideale (de rezistență nulă).

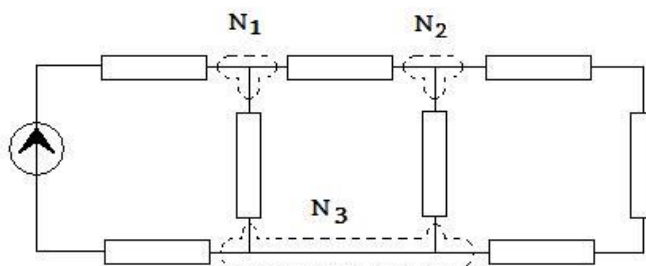


Fig.2. Alegerea nodurilor.

Tot ca elemente topologice pentru un circuit, avem graful circuitului și putem alege un arbore și un coarbore.

Un graf este o reprezentare grafică a circuitului în care nodurile sunt simbolizate prin puncte iar laturile prin arce de curbă (făcându-se abstracție de elementele de circuit).

Un arbore este un subgraf al circuitului care conține toate nodurile și nu formează nicio buclă. Laturile acestuia se numesc **ramuri**.

Un coarbore reprezintă complementul unui arbore față de un graf dat. Laturile lui se numesc **coarde**.

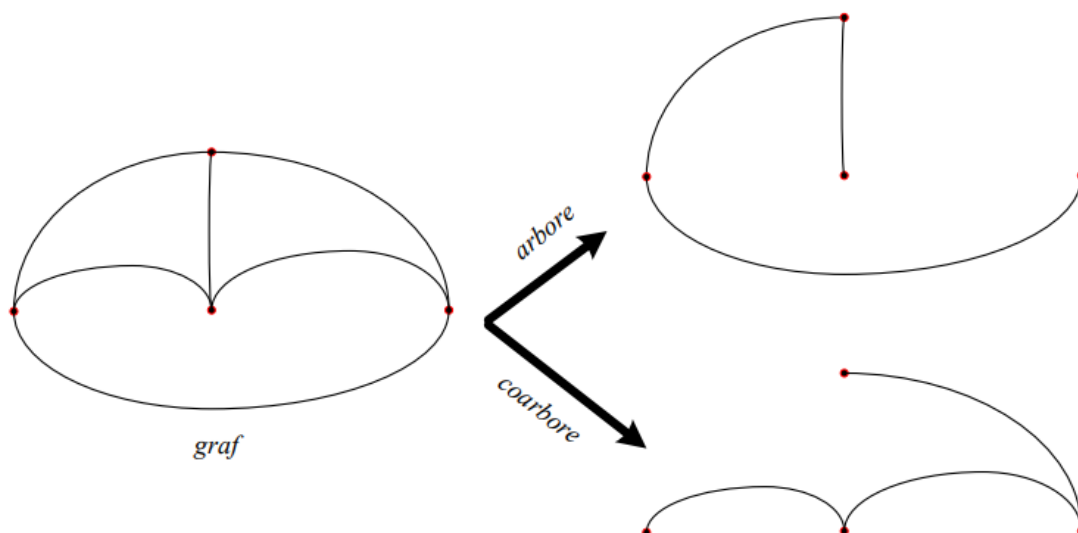


Fig.3. Graful circuitului din fig.1; alegerea unui arbore și a unui coarbore.

Putem defini **curentul electric** ca fiind mișcarea ordonată a sarcinilor electrice sub acțiunea unui câmp electric datorat unei diferențe de potențial. Sensul pozitiv al curentului a fost ales convențional și este de la plus la minus (de la potențial mai mare la potențial mai mic). Însă, deoarece sarcina electronului este negativă, mișcarea fizică a electronilor este în sens invers față de sensul convențional.

Unitatea de măsură a curentului (a intensității curentului) este amperul ($[i]_{SI} = 1A$) și poate fi măsurat cu ajutorul ampermetrului. Pentru a măsura curentul printr-un conductor, acesta se secționează și în acel loc se inserează ampermetrul. Atunci când facem o măsurătoare, funcționarea circuitului nu ar trebui să se modifice. Cu alte cuvinte, un ampermetru ideal trebuie să se comporte ca un conductor ideal, adică să aibă rezistență internă nulă.

Potențialul electric al unui punct din circuit este definit ca fiind lucrul mecanic necesar pentru transportul unei sarcini electrice unitare din acel punct până într-un punct considerat de potențial nul.

Potențialul electric este o mărime scalară, notația făcându-se întotdeauna printr-un număr sau grup de litere cu semn (+12V, -9V, +V4, -V_{cc}). Punctul de potențial nul este reprezentat printr-unul din simbolurile de mai jos:

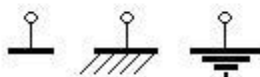


Fig.4. Simboluri pentru potențialul nul.

Tensiunea electrică între două puncte ale unui circuit reprezintă diferența de potențial dintre cele două puncte (lucrul mecanic efectuat pentru a transporta o sarcină electrică unitară între cele două puncte). Se mai folosește și termenul de „cădere de tensiune”.

Unitatea de măsură pentru tensiunea electrică este voltul ($[u]_{SI} = 1V$) și poate fi măsurată cu ajutorul voltmetrului. Pentru a nu modifica funcționarea circuitului atunci când măsurăm tensiunea între două puncte din circuit, prin voltmetrul conectat la nodurile respective nu ar trebui să treacă curent, adică să se comporte ideal ca o rezistență electrică de valoare infinită.

Rezistoarele

Rezistorul este un element de circuit caracterizat printr-o rezistență electrică (unitatea de măsură pentru rezistența electrică este Ohmul ($[R]_{SI} = 1\Omega$)). Aceasta este definită folosind dependența între tensiunea aplicată la borne și curentul prin rezistor.

Dacă această caracteristică tensiune-curent poate fi reprezentată printr-o dreaptă care trece prin originea planului $u-i$, atunci rezistorul este considerat liniar (rezistența sa fiind o constantă determinată numai de dimensiunile geometrice și de materialul constituent: $R=\rho l/S$); în celelalte cazuri rezistorul este neliniar.

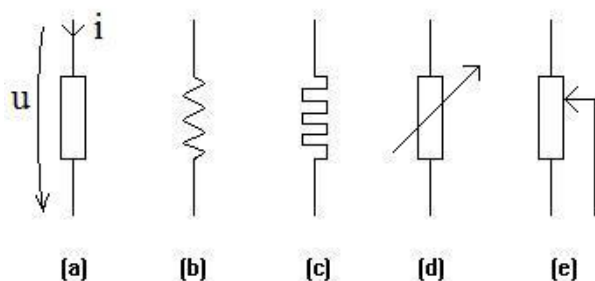


Fig.5. Simboluri pentru rezistoare
(a – simbol general; b – simbol tolerat; c – simbol nestandardizat;
d – rezistor variabil; e – potențiometrul).

Pentru cazul rezistoarelor liniare este valabilă teorema lui Ohm:

$$U = R \cdot I \quad (1)$$

unde U reprezintă tensiunea electrică aplicată la bornele rezistorului, R rezistența acestuia și I curentul ce îl parcurge.

Pe baza acestei teoreme se pot demonstra ușor expresiile rezistențelor echivalente pentru conexiunile serie și respectiv paralel.

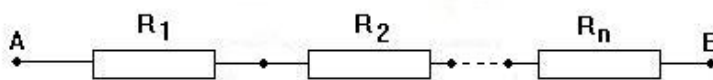


Fig.6. Rezistoare conectate în serie

$$R_{echAB} = R_1 + R_2 + \dots + R_n \quad (2)$$

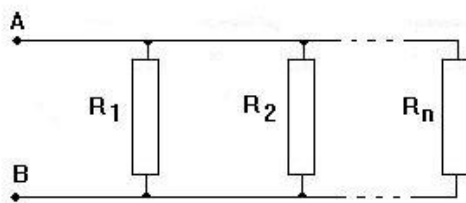


Fig.7. Rezistoare conectate în paralel

$$\frac{1}{R_{echAB}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n} \quad (3)$$

Puterea absorbită de un rezistor pentru care sensurile tensiunii și curentului sunt cele din fig.5 (regula de asociere a sensurilor pentru receptoare) este de forma:

$$P = U \cdot I \quad (4)$$

Parametrul definit ca fiind inversul rezistenței poartă denumirea de conductanță iar ca unitatea de măsură avem siemensul ($[G]_{SI} = 1S$).

Sursa de tensiune

O sursă de tensiune presupune existența unei tensiuni electromotoare (E) și a unei rezistențe interne înseriate. În realitate, acestea două nu sunt elemente de circuit distincte, care ar putea fi identificate în interiorul sursei, ci reprezintă o convenție ce arată că sursa se comportă ca și când ar exista astfel de elemente. Tensiunea electromotoare și rezistența internă nu pot fi măsurate direct ci se pot deduce prin calcule.

Numim sursă de tensiune ideală acea sursă de tensiune pentru care considerăm rezistența internă nulă, tensiunea la bornele unei astfel de surse conectate în circuit fiind constantă, indiferent de valoarea curentului furnizat sarcinii.

O sursă de tensiune este independentă atunci când valoarea tensiunii electromotoare nu depinde de nicio mărime din circuit (curent sau tensiune), altfel numindu-se sursă de tensiune comandată (dependentă).

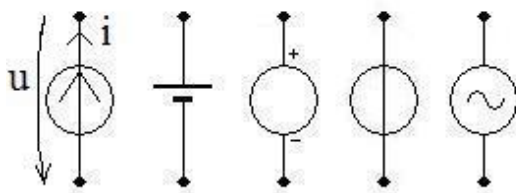


Fig.8. Simboluri pentru sursele de tensiune

Puterea debitată de o sursă de tensiune în circuit, pentru care sensurile tensiunii și curentului sunt cele din fig.8 (regula de asociere a sensurilor pentru generatoare) este de forma:

$$P = U \cdot I = E \cdot I \quad (5)$$

Caracteristica tensiune-curent a sursei ideale independente de tensiune o reprezintă o dreaptă paralelă cu axa curentului.

Sursa de curent

O sursă de curent presupune existența unui curent electromotor (I_g) și a unei rezistențe interne conectate în paralel.

Numim sursă de curent ideală acea sursă de curent pentru care considerăm rezistența internă infinită, curentul debitat de sursă în circuit fiind constant, indiferent de valoarea sarcinii.

O sursă de curent este independentă atunci când valoarea curentului electromotor nu depinde de nicio mărime din circuit (curent sau tensiune), altfel numindu-se sursă de curent comandată (dependentă).

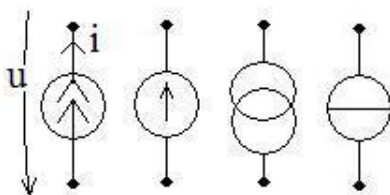


Fig.9. Simboluri pentru sursele de curent

Puterea debitată de o sursă de curent în circuit, pentru care sensurile tensiunii și curentului sunt cele din fig.9 (regula de asociere a sensurilor pentru generatoare) este de forma:

$$P = U \cdot I = U \cdot I_g \quad (6)$$

Caracteristica tensiune-curent a sursei ideale independente de curent este o dreaptă paralelă cu axa tensiunii.

Din punctul de vedere al sarcinii plasate la bornele ei, o sursă de curent se comportă identic cu o sursă de tensiune dacă:

$$\begin{cases} I_{g'} = \frac{E_g}{R_g} \\ R_{g'} = R_g \end{cases} \quad (7)$$

ec.(7) reprezentând relațiile de echivalare (transformare) între ele.

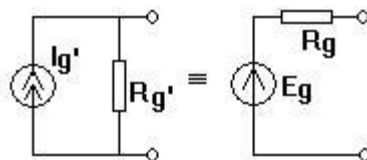


Fig.10. Echivalarea sursă de curent – sursă de tensiune

Exemple cu elemente dipolare de circuit (curenți și tensiuni)

Să se afle mărimile necunoscute din următoarele scheme (Fig. 11.a-h):

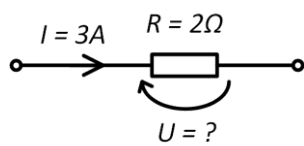


Fig. 11.a

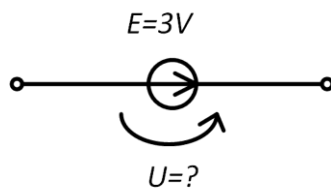


Fig. 11.b

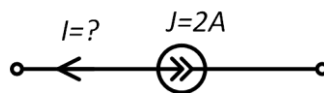


Fig. 11.c

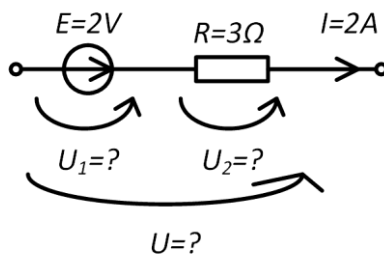


Fig. 11.d

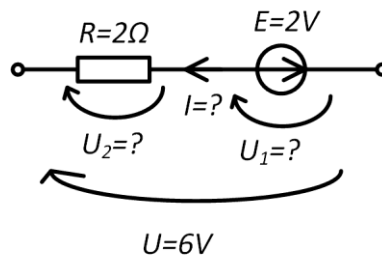


Fig. 11.e

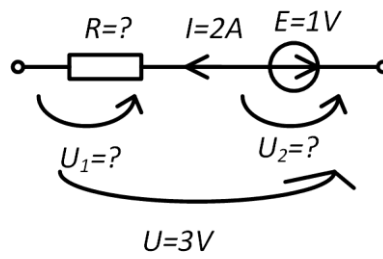


Fig. 11.f

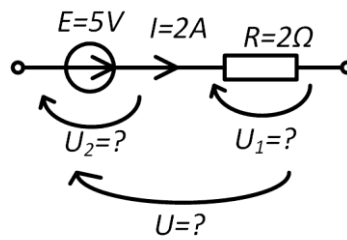


Fig. 11.g

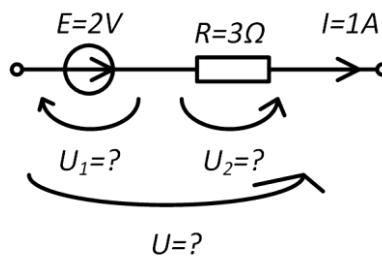


Fig. 11.h

Majoritatea metodelor de analiză a circuitelor electrice au la bază teoremele lui Kirchhoff exprimate fie în curenți, fie în tensiuni.

Teoremele lui Kirchhoff

Teorema I-a a lui Kirchhoff: în orice moment, suma algebrică a curenților prin laturile incidente într-un nod este egală cu zero. Drept convenție de semn, considerăm sens pozitiv cel al curenților care ies din nodul respectiv și sens negativ cel al curenților care intră în nodul unde se aplică teorema.

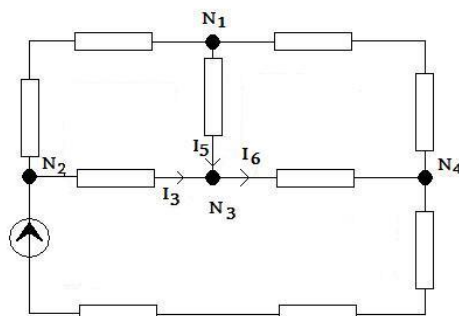


Fig.12. Aplicarea teoremei Kirchhoff I.

Astfel, conform enunțului de mai sus, în urma aplicării teoremei I-a a lui Kirchhoff în nodul N3 al circuitului din fig.3, putem scrie:

$$I_6 - I_5 - I_3 = 0 \quad (8)$$

O altă formă, utilizată mai des, poate fi exprimată astfel: suma curenților care intră într-un nod este egală cu suma curenților care ies din nodul respectiv. Astfel, ecuația (8) devine:

$$I_5 + I_3 = I_6 \quad (9)$$

Teorema I-a a lui Kirchhoff poate fi aplicată și în secțiuni ale circuitului (secțiunile sunt porțiuni de circuit mărginite de curbe închise ce pot conține mai multe noduri), nu numai în noduri (vezi fig.13).

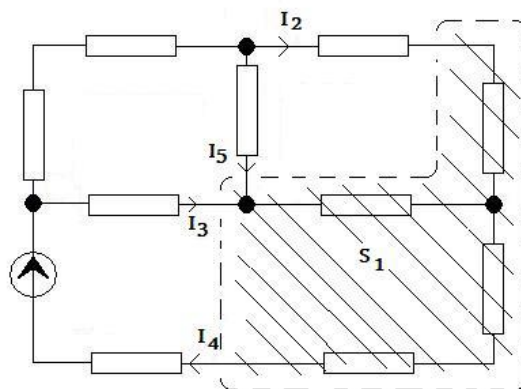


Fig.13. Aplicarea teoremei Kirchhoff I pe secțiuni.

$$I_4 - I_3 - I_5 - I_2 = 0 \quad (10)$$

Dacă un circuit conține un număr total de N noduri, cu ajutorul teoremei I a lui Kirchhoff se pot scrie un număr de $N-1$ ecuații independente, ecuația N fiind o combinație liniară a celorlalte $N-1$ ecuații.

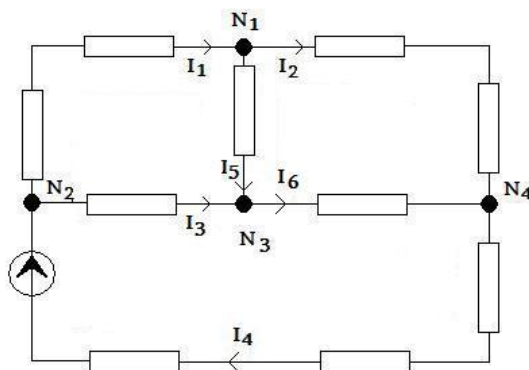


Fig.14. Aplicarea teoremei Kirchhoff I în N-1 noduri.

$$\begin{array}{rcl}
 (N_1) & -I_1 + I_2 & + I_5 = 0 \\
 (N_2) & I_1 & + I_3 - I_4 = 0 \\
 (N_3) & & -I_3 - I_5 + I_6 = 0 \\
 \hline
 ((N_4)) & I_2 & - I_4 + I_6 = 0
 \end{array} \quad (11)$$

Teorema a II-a a lui Kirchhoff: în orice moment, suma algebrică a căderilor de tensiune pe elementele de circuit de-a lungul unei bucle este egală cu zero. Drept convenție de semn, considerăm pozitive tensiunile ale căror sensuri coincid cu sensul de parcurgere a buclei și negative celelalte.

Astfel, conform enunțului de mai sus, în urma aplicării teoremei a II-a a lui Kirchhoff în bucla din fig.15, putem scrie:

$$U_1 + U_2 + U_3 + U_4 + U_5 - U_6 + U_7 - U_8 = 0 \quad (12)$$

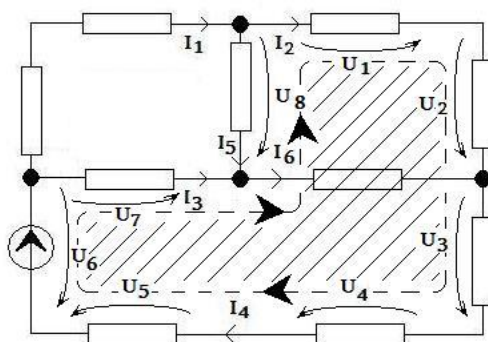


Fig.15. Aplicarea teoremei Kirchhoff II.

O altă formulare a teoremei are următorul enunț: suma căderilor de tensiune de forma $R_k I_k$ de-a lungul unei bucle este egală cu suma tensiunilor electromotoare din acea buclă, termenii din expresie considerându-se pozitivi dacă sensul de parcurgere al buclei coincide cu sensul curenților I_k , respectiv cu sensul surselor de tensiune, altfel fiind luați cu semnul „-”.

Dacă un circuit conține un număr total de L laturi și N noduri, cu ajutorul teoremei a II-a a lui Kirchhoff se pot scrie un număr de $L-N+1$ ecuații independente. Alegerea celor $B = L-N+1$ bucle se

poate face fie direct, ținând seama ca fiecare buclă să conțină cel puțin o latură diferită față de celelalte bucle, fie prin crearea unui arbore al circuitului și considerarea buclelor aferente fiecărei coarde.

Algoritmul metodei de analiză a circuitelor electrice bazate pe teoremele lui Kirchhoff presupune următorii pași:

- pasul 1 - determinarea numărului N de noduri și identificarea celor $N-1$ noduri;
- pasul 2 - determinarea numărului L de laturi și alegerea sensurilor curenților prin acestea, excepție făcând laturile cu surse de curent unde curentul prin acestea este dat chiar de sursa de curent, trasându-se numai tensiunea de la bornele sursei de curent;
- pasul 3 - determinarea numărului $B = L - N + 1$ de bucle independente și desenarea acestora pe schema circuitului împreună cu un sens de parcurgere;
- pasul 4 - scrierea celor $N-1$ ecuații aferente teoremei I Kirchhoff;
- pasul 5 - scrierea celor $L - N + 1$ ecuații aferente teoremei a II-a Kirchhoff;
- pasul 6 - scrierea expresiilor surselor comandate din circuit în funcție de necunoscutele sistemului de ecuații – curenții laturilor;
- pasul 7 - rezolvarea sistemului de ecuații și determinarea valorilor curenților laturilor și ale tensiunilor surselor de curent;
- pasul 8 - verificarea soluției obținute prin efectuarea bilanțului puterilor.

Exemplul 1:

Fie circuitul cu schema electrică din figura 16. Se cere analiza circuitului știind următoarele valori ale elementelor de circuit: $R_1 = 20 \, \Omega$, $R_2 = 5 \, \Omega$, $R_3 = 4 \, \Omega$, $R_4 = 10 \, \Omega$, $E_1 = 30 \, \text{V}$, $E_2 = 70 \, \text{V}$, $J_5 = 1 \, \text{A}$, $E_4 = 1 \cdot U$.

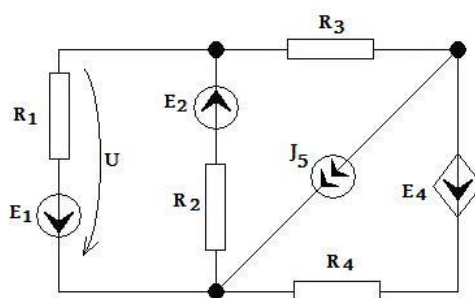


Fig.16. Schema circuitului din exemplul 1.

Rezolvare

Pasul 1:

- numărul total de noduri $N = 3$ iar cele $N-1$ noduri sunt identificate în fig.17.

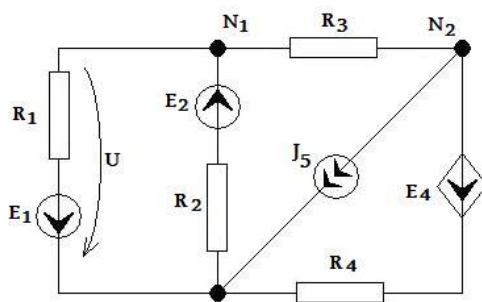


Fig.17. Alegerea celor N-1 noduri.

Pasul 2:

- numărul total de laturi $L = 5$ iar sensurile alese ale curenților precum și tensiunea la bornele sursei de curent J_5 sunt schițate în fig.18.

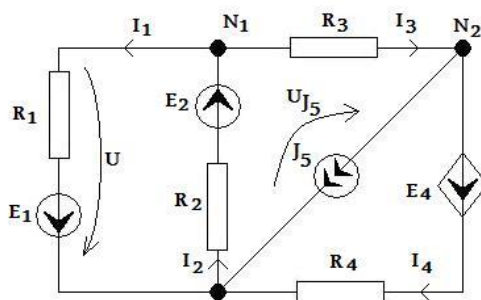


Fig.18. Alegerea sensurilor curenților.

Pasul 3:

- numărul buclelor independente este $B = L - N + 1 = 3$. Alegerea lor se face fie direct, având grijă ca fiecare buclă să conțină cel puțin o latură diferită față de celelalte bucle, fie prin considerarea unui arbore (arborele ales în fig. 19 este constituit din laturile L_1 și L_4 , bucele fiind atașate laturilor din co-arbore: L_3 , L_2 , respectiv L_5).

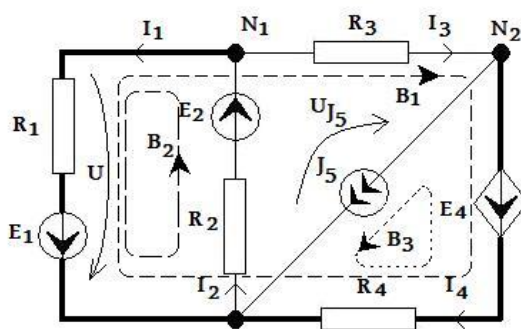


Fig.19. Alegerea buclelor independente.

Pasul 4:

- se scriu ecuațiile aferente teoremei I a lui Kirchhoff în nodurile N_1 și N_2 .

$$\begin{aligned} (N1) \quad I_1 - I_2 + I_3 &= 0 \\ (N2) \quad -I_3 + I_4 + J_5 &= 0 \end{aligned} \quad (13)$$

Pasul 5:

- se scriu ecuațiile aferente teoremei a II-a a lui Kirchhoff în buclele B_1 , B_2 și B_3 .

$$\begin{aligned}(B1) \quad R_4 I_4 - R_1 I_1 + R_3 I_3 &= E_4 - E_1 \\(B2) \quad R_1 I_1 + R_2 I_2 &= E_1 + E_2 \\(B3) \quad -R_4 I_4 - U_{J5} &= -E_4\end{aligned}\quad (14)$$

Pasul 6:

- în ec.14 se înlocuiește valoarea sursei de tensiune comandate E_4 cu expresia din ec.15:

$$E_4 = 1 \cdot U = 1 \cdot (R_1 I_1 - E_1) \quad (15)$$

Pasul 7:

- se rezolvă sistemul de ecuații (ec.13 + ec.14 + ec.15) rezultând soluția:

$$I_1 = 3A, I_2 = 8A, I_3 = 5A, I_4 = 4A, U_{J5} = -10V \quad (16)$$

Pasul 8:

- bilanțul puterilor are următoarea expresie:

$$\begin{aligned}P_{gen} &= P_{con} \\E_1 I_1 + E_2 I_2 + E_4 I_4 + U_{J5} J_5 &= R_1 I_1^2 + R_2 I_2^2 + R_3 I_3^2 + R_4 I_4^2 \\760W &= 760W\end{aligned}\quad (17)$$

Exemplul 2:

Fie circuitul cu schema electrică din figura 20. Se cere analiza circuitului, știind următoarele valori ale elementelor de circuit: $R_1 = \dots = R_7 = 1 \Omega$, $E_1 = 2V$, $E_5 = 2V$.

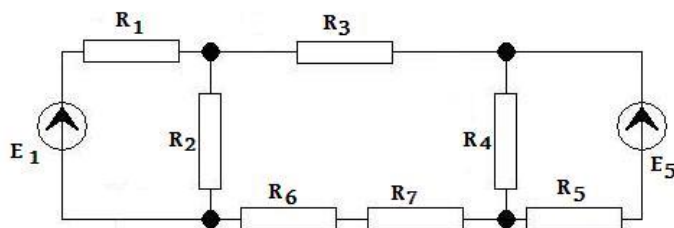


Fig.20. Schema circuitului din exemplul 2.

$$\begin{aligned}P_{gen} &= P_{con} \\E_1 I_1 + E_2 I_2 &= R_1 I_1^2 + R_2 I_2^2 + R_3 I_3^2 + R_4 I_4^2 + R_5 I_5^2 + R_6 I_6^2 + R_7 I_7^2 \\4W &= 4W\end{aligned}\quad (22)$$

Exemplul 3:

Fie circuitul cu schema electrică din figura 21. Se cere analiza circuitului, știind următoarele valori ale elementelor de circuit: $R_1 = R_2 = 2 \Omega$, $R_3 = R_4 = 1 \Omega$, $E_1 = 12V$, $I_{g5} = 12A$.

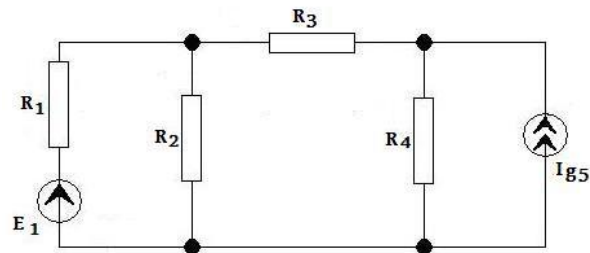


Fig.21. Schema circuitului din exemplul 3.

Rezolvare

$$\begin{aligned}
 P_{gen} &= P_{con} \\
 E_1 I_1 + U_{g5} I_{g5} &= R_1 I_1^2 + R_2 I_2^2 + R_3 I_3^2 + R_4 I_4^2 \\
 144W &= 144W
 \end{aligned} \tag{29}$$

Exemplul 4:

Considerăm circuitul cu schema din fig.22 având următoarele date: $E_1 = E_2 = 1V$, $R_1 = R_3 = R_4 = 1\Omega$, $I_{g2} = 1A$.

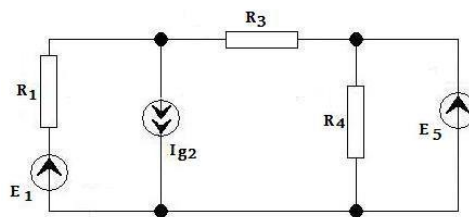


Fig.22. Schema circuitului.

Rezolvare

$$\begin{aligned}
 P_{gen} &= P_{con} \\
 E_1 I_1 + E_5 I_5 + U_g I_{g2} &= R_1 I_1^2 + R_3 I_3^2 + R_4 I_4^2 \\
 1.5W &= 1.5W
 \end{aligned} \tag{34}$$

TEME:

1. Fie circuitul din figura 23 cu următoarele valori pentru componente: $R_1 = 1\Omega$, $R_4 = 2\Omega$, $R_6 = 2\Omega$, $E_4 = 1V$, $E_5 = 1V$, $J_3 = 1A$, $E_{C1} = 3U_4$.

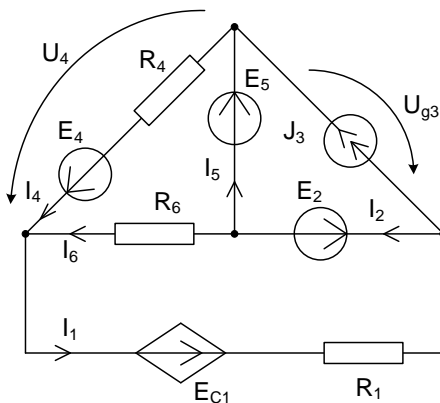


Fig.23. Exemplu de aplicare a bilanțului puterilor

$$E_{C1}I_1 + E_2(-I_2) + E_4I_4 + E_5I_5 + U_{g3}J_3 = R_1I_1^2 + R_4I_4^2 + R_6I_6^2 \Leftrightarrow$$

$$9 \cdot 3 + 4 \cdot (-2) + 1 \cdot 2 + 1 \cdot 1 + (-3) \cdot 1 = 1 \cdot 9 + 2 \cdot 4 + 2 \cdot 1 \Leftrightarrow 19W = 19W \quad (1.9)$$

2. Pentru circuitul din figura 24, să se calculeze curenții din laturi și tensiunile la bornele celor două surse de curent prin metoda Kirchhoff și să se verifice soluția efectuând bilanțul de puteri.

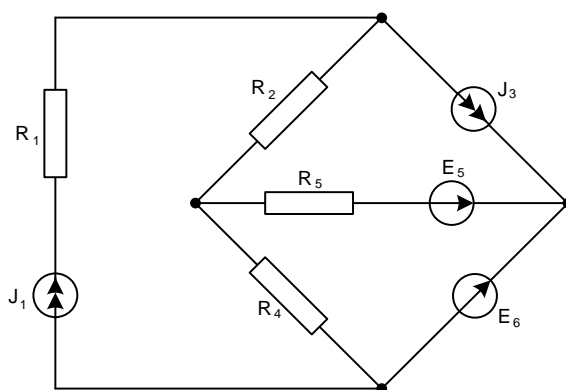


Fig. 24. Schema circuitului

$$J_1 = 4 \text{ A}$$

$$R_1 = 1 \Omega$$

$$R_2 = 2 \Omega$$

$$J_3 = 2 \text{ A}$$

$$R_4 = 1 \Omega$$

$$R_5 = 1 \Omega$$

$$E_5 = 5 \text{ V}$$

$$E_6 = 13 \text{ V}$$

3. Pentru circuitul din figura 25, să se calculeze curenții din laturi și tensiunile prin metoda potențialelor nodurilor și să se verifice soluția efectuând bilanțul de puteri.

$$R_1 = 20 \, \Omega$$

$$E_2 = 10 \, \text{V}$$

$$J_3 = 1 \, \text{A}$$

$$R_3 = 10 \, \Omega$$

$$E_4 = 10 \, \text{V}$$

$$R_4 = 20 \, \Omega$$

$$R_5 = 20 \, \Omega$$

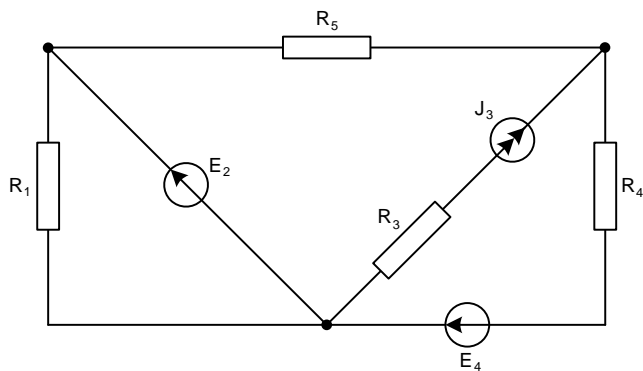


Fig. 25. Schema circuitului

4. Se dă circuitul din figura 26. Să se calculeze curenții din laturi prin metoda Kirchhoff. Datele problemei sunt: $E_1 = 10 \, \text{V}$, $R_1 = 2 \, \Omega$, $J_2 = 1 \, \text{A}$, $R_3 = 2 \, \Omega$, $R_4 = 10 \, \Omega$, $E_5 = 2 \, \text{V}$, $R_5 = 10 \, \Omega$

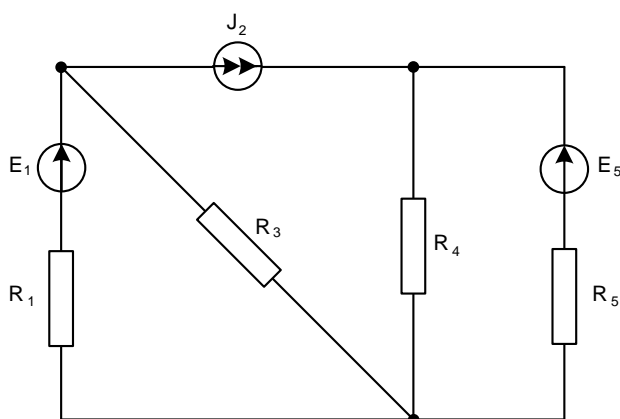


Fig. 26. Schema circuitului

5. Fie circuitul figura 27. Să se determine curenții din laturi, precum și tensiunea la bornele sursei de curent J_4 cu metoda Kirchhoff. Se dau: $E_1 = 1 \, \text{V}$, $R_1 = 0,5 \, \Omega$, $E_2 = 2 \, \text{V}$, $R_2 = 1/3 \, \Omega$, $R_3 = 1 \, \Omega$, $J_4 = 2 \, \text{A}$, $E_5 = 1 \, \text{V}$, $R_6 = 0,5 \, \Omega$, $J_6 = 1 \, \text{A}$, $R_7 = 1 \, \Omega$

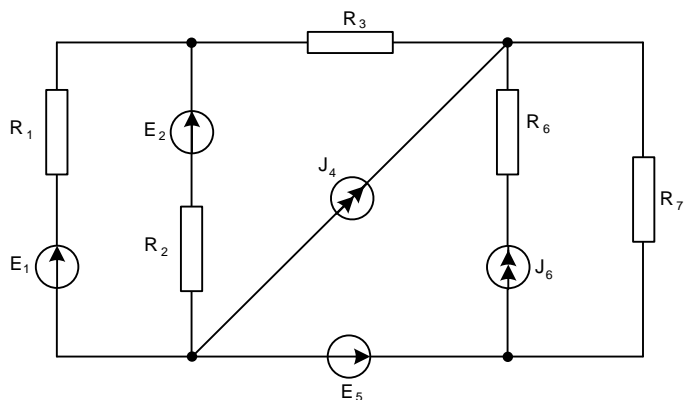


Fig. 27 Schema circuitului

6. Să se determine valorile curenților și tensiunilor circuitului din figura 28 scriind ecuațiile lui Kirchhoff. Datele problemei sunt: $J_1 = 3 \text{ A}$, $R_2 = 4 \Omega$, $E_3 = 3 \text{ V}$, $R_4 = 1 \Omega$, $R_5 = 4 \Omega$, $E_6 = 1 \text{ V}$, $J_7 = 1 \text{ A}$, $E_8 = 3 \text{ V}$, $R_8 = 1 \Omega$. Să se verifice soluția efectuând bilanțul de puteri.

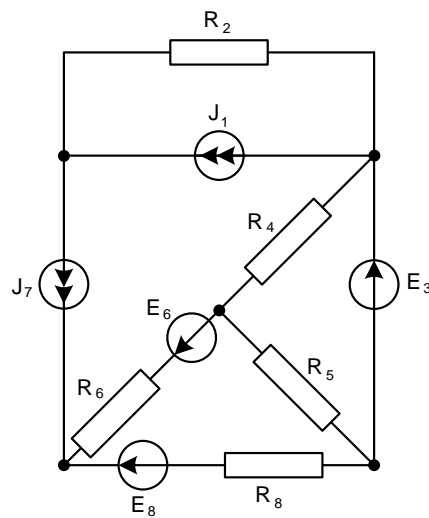


Fig. 28 Schema circuitului