

CURS

ELECTROTEHNICĂ

Ș.I. dr. ing. Ildiko TATAI

ildiko.tatai@upt.ro

AC_CT/B

CAP.1 NOȚIUNI INTRODUCTIVE

- ❖ **Câmpul electromagnetic** este realitatea fizică cu care venim în contact atunci când ne referim la domenii ca electrotehnica, electronica, automatica, informatica, etc.
- ❖ Progresul omenirii se datorează și teoriei electromagnetismului elaborată și dezvoltată de-a lungul anilor de mari personalități.
- ❖ **Teoria macroscopică** a fenomenelor electromagnetice inițiată de Michael Faraday a fost elaborată de James Clerk Maxwell pentru corpuri în repaus și extinsă de Heinrich Hertz pentru corpuri în mișcare.
- ❖ **Câmpul electromagnetic** stă la baza transmiterii din aproape în aproape în timp și spațiu, cu viteză foarte mare a interacțiunilor și stărilor electromagnetice. Câmpul electromagnetic este o formă specială de existență a materiei, care exercită acțiuni ponderomotoare (forțe, cupluri) asupra corpurilor. Câmpul electromagnetic posedă energie.
- ❖ Pentru a cunoaște teoria referitoare la fenomene fizice este necesară introducerea unor mărimi fizice.

Mărimile fizice se pot clasifica în:

- ❖ mărimi primitive: lungimea, masa, temperatura;
- ❖ mărimi derivate: viteza, energia, etc

CAP.1 NOȚIUNI INTRODUCTIVE

❖ Din punct de vedere al **unităților de măsură** mărimile fizice se clasifică în:

▪ **mărimi fundamentale** ale Sistemului Internațional (S.I.) de unități de măsură:

- lungimea, $l \rightarrow$ metru [m]
- masa, $m \rightarrow$ kilogram [kg]
- timpul, $t \rightarrow$ secunda [s]
- curentul electric, $i \rightarrow$ Ampere [A]
- temperatura, $T \rightarrow$ grade Kelvin [K]

▪ **mărimi secundare**, ale căror unități se definesc cu ajutorul mărimilor fundamentale:

- intensitatea câmpului electric, $E \rightarrow$ [V/m]
- densitatea de curent, $J \rightarrow$ [A/m²].

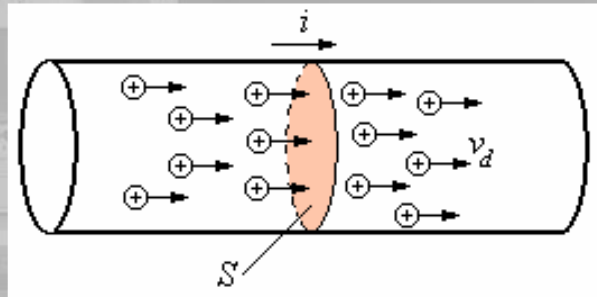
CAP.1 NOȚIUNI INTRODUCTIVE

- ❖ Relațiile de legătură între mărimile specifice unui domeniu se numesc **legi**.
- ❖ Teoria Maxwell - Hertz este fundamentată pe **8 legi generale și 4 legi de material**.
- ❖ **Dupa modul de variație în timp a mărimilor fizice**, avem două regimuri principale ale fenomenelor electromagnetice:
 - **regimul staționar** - mărimile nu variază în timp
 - **regimul nestaționar** - mărimile variaza in timp.
- ❖ Dacă variațiile în timp ale mărimilor electrice sau magnetice sunt suficient de lente pentru a putea neglija radiația câmpului electromagnetic spunem că avem un regim cvasistaționar.
- ❖ În teoria circuitelor electrice avem două regimuri principale:
 - **regimul staționar** - intră aici circuitele de curent continuu
 - **regimul nestaționar (variabil)** - intră aici circuitele la care formele de variație în timp ale tensiunilor și curenților sunt diferite.

CAP.1 NOȚIUNI INTRODUCTIVE

❖ 1. Curentul electric

- Prin **curent electric** se înțelege o deplasare ordonată, în ansamblu, a purtătorilor mobili de sarcină în interiorul unui mediu solid sau lichid. Purtătorii mobili de sarcină (PMS) sunt:
 - electronii liberi, în cazul metalelor sau al semiconductoarelor;
 - golarile, în cazul semiconductoarelor;
 - ionii pozitivi sau negativi în cazul electrolitilor (lichide).



În cazul unui conductor parcurs de curent electric sarcina netă care traversează o suprafață este diferită de zero.

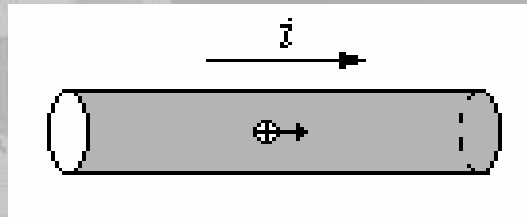
CAP.1 NOȚIUNI INTRODUCTIVE

Intensitatea curentului electric, pe scurt **curentul electric**, reprezintă raportul dintre sarcina electrică transportată de PMS într-un interval de timp și acel interval, printr-o secțiune transversală a conductorului:

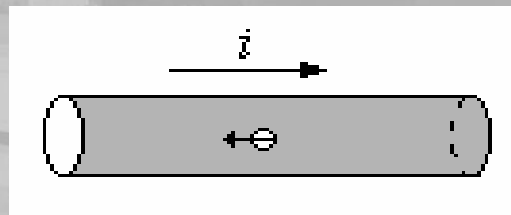
$$i = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta Q}{\Delta t} = \frac{dQ}{dt}$$

$$[A] \text{ amper} = \frac{[C]}{[s]} = \frac{[coulomb]}{[secunda]}$$

Sensul curentului electric corespunde sensului de deplasare al PMS pozitivi:



Într-un conductor metalic PMS sunt electronii liberi. Sensul curentului în acest caz, numit și sens convențional, este opus deplasării electronilor.



CAP.1 NOȚIUNI INTRODUCTIVE

În analiza circuitelor electrice este rareori posibil de intuit care este sensul real al curentului. Pentru calcule se alege arbitrar un sens, numit în acest caz **sens de referință**. Dacă în urma calculelor rezultă $i > 0$, atunci acesta este și sensul real al curentului.

Comportarea unui circuit electric este determinată de modul de variație în timp al curentului:

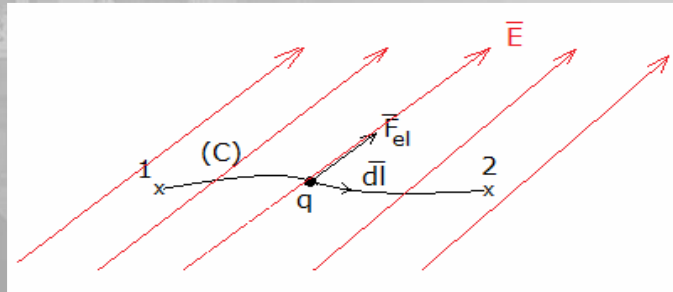
- curent continuu: $i(t) = ct$. Prin convenție curenții și tensiunile constante în timp se notează cu majuscule (I, U);
- curent alternativ: $i(t) = i_m \sin(\omega t)$;
- tren de impulsuri dreptunghiulare;
- și multe altele.

CAP.1 NOȚIUNI INTRODUCTIVE

❖ 2. Tensiunea electrică

- Câmpul electric exercită forțe asupra sarcinilor electrice. Pentru deplasarea unei sarcini între două puncte, câmpul electric efectuează un lucru mecanic.

$$\bullet \quad L_{12} = \int_1^2 \vec{F} \cdot d\vec{l} = \int_1^2 Q \cdot \vec{E} \cdot d\vec{l} = Q \int_1^2 \vec{E} \cdot d\vec{l} = Q(V_1 - V_2)$$



- **Diferența de potențial electric** dintre două puncte sau **tensiunea electrică** U [V] este definită ca fiind lucrul mecanic ce se exercită asupra unei sarcini punctiforme Q pozitive pentru a fi deplasată între două puncte. Potentialul într-un punct corespunde energiei potențiale a unității de sarcină plasată în acel punct din câmpul electric.

Obs. În relație nu apare diferența $V_2 - V_1$, deoarece intensitatea câmpului electric E este orientată dinspre potențialul electric mai mare V_1 spre potențialul electric mai mic V_2 și semnul tensiunii depinde de sensul de integrare, adică de sensul elementul de linie dl :

CAP.1 NOȚIUNI INTRODUCTIVE

$$U = \int_1^2 \vec{E} \cdot \vec{dl} = V_1 - V_2$$

- Sensul lui dl este, prin definiție, **sensul tensiunii**. El este arătat fie de ordinea indicilor, U_{12} fie de o săgeată orientată de la un punct la celălalt.
- Valoarea potențialului electric într-un punct nu este univoc determinată decât în raport cu un punct de referință căruia i se atribuie potențialul zero (V_0). Acest punct, ales arbitrar se numește **punct de masă** și este desenat printr-un simbol grafic.
- **Concluzie:** potențialul unui punct depinde de punctul de masă ales, dar tensiunea dintre două puncte nu depinde de această alegere.

3. Circuit electric. Schemă electrică

Prin *circuit electric* se înțelege un ansamblu de medii parcurse de curenți.

Un *circuit electric* este alcătuit din *elemente componente* care pot fi *active* (surse de energie) și *pasive* (rezistorul, bobina, condensatorul).

După *regimul de funcționare* avem:

- **circuite de curent continuu (în regim staționar)**, în care mărimile nu variază în timp (fig.1.1a)
- **circuite în regim variabil (în regim nestaționar)**, în care mărimile variază în timp (fig.1.1b).

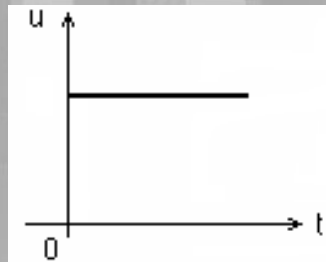


Fig. 1.1a Tensiunea nu variază în timp

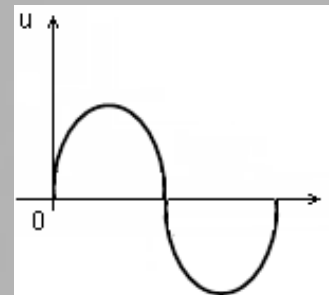


Fig. 1.1b Tensiunea variază în timp

- ❖ Analiza unui circuit electric se face pe baza unei scheme electrice, care este o reprezentare abstractizată a circuitului și constă în scrierea unor ecuații, folosind diferite metode de rezolvare.
- ❖ Elementele de circuit sunt reprezentate în schemă prin simboluri.

4. Elemente ideale de circuit

Un *element real* de circuit este caracterizat prin mai mulți parametri globali:

- *rezistența* R – corespunzătoare câmpului electric din interiorul conductoarelor;
- *inductanța* L – corespunzătoare câmpului magnetic;
- *capacitatea* C - corespunzătoare câmpului electric exterior conductoarelor;
- *tensiunea imprimată* u_i - corespunzătoare câmpului imprimat.

Un *element real* de circuit este o combinație de *elemente ideale* (fiecare caracterizat printr-un singur parametru global), astfel încât întregul circuit să fie un ansamblu de elemente de circuit.

CAP.1 NOȚIUNI INTRODUCTIVE

Principalele elemente ideale de circuit sunt:

- **rezistorul ideal** se caracterizează prin parametrul *rezistență electrică* R , având unitatea de măsură $[\Omega]$ – Ohm și este reprezentat în scheme prin simbolul din figura 1.2a.

Între curentul prin rezistor și tensiunea la bornele acestuia se scrie relația

$$u = u_R = R \cdot i; u_R \text{ se numește și cădere de tensiune rezistivă.}$$

Inversul rezistenței se numește *conductanță*, $G = 1/R$ și are unitatea de măsură $[S]$ – Siemens.

- **bobina ideală** este caracterizată prin parametrul *inductivitate* L , având unitatea de măsură $[H]$ – Henry și este reprezentată în scheme prin simbolul din figura 1.2b.

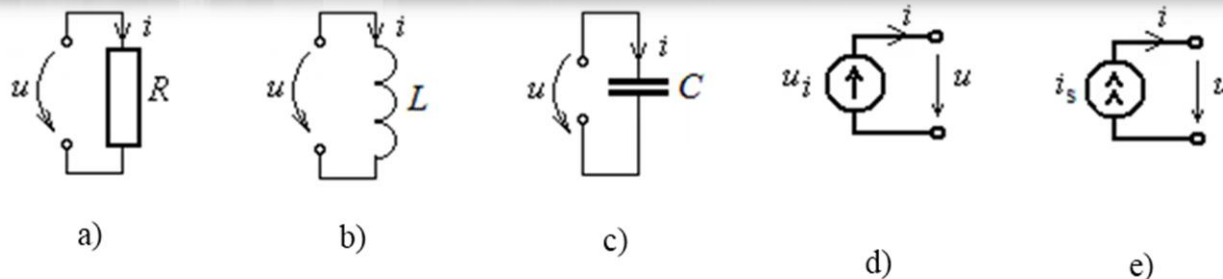


Fig.1.2

CAP.1 NOȚIUNI INTRODUCTIVE

Principalele elemente ideale de circuit sunt:

Tensiunea la bornele bobinei ideale este proporțională cu derivata în raport cu timpul a curentului $u = u_L = L di/dt$; u_L se numește și cădere de tensiune inductivă.

- **condensatorul ideal** se caracterizează prin parametrul *capacitate electrică* C , unitatea de măsură a acesteia fiind [F] – Farad, și este reprezentat în scheme prin simbolul din figura 1.2c.

Curentul prin condensatorul ideal este proporțional cu derivata în raport cu timpul a tensiunii la bornele condensatorului $i = C du_C/dt$; u_C se numește cădere de tensiune capacitivă.

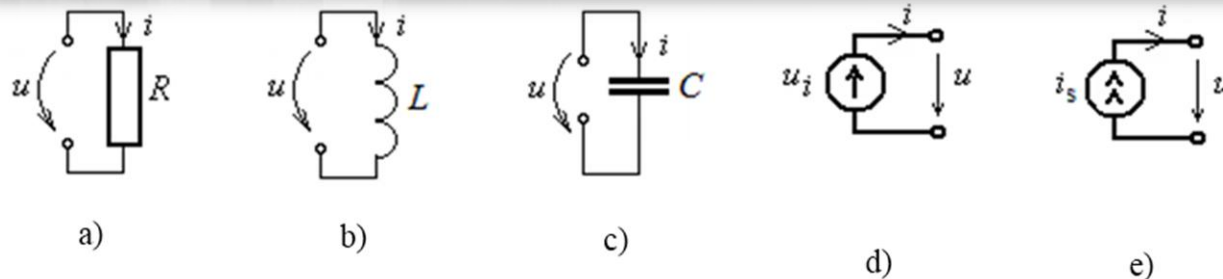


Fig.1.2

CAP.1 NOȚIUNI INTRODUCTIVE

Principalele elemente ideale de circuit sunt:

- **sursa ideală de tensiune** se caracterizează prin tensiunea imprimată u_i (sau tensiunea electromotoare a sursei) și este reprezentată în scheme prin simbolul din figura 1.2d. Ea nu depinde de curent, curentul i depinde de circuitul conectat la această sursă, astfel $u = u_i$.
- **sursa ideală de curent** se caracterizează prin curentul i_s și este reprezentată în scheme prin simbolul din figura 1.2e. Ea nu depinde de tensiune, tensiunea u depinde de circuitul conectat la această sursă, astfel $i = i_s$.

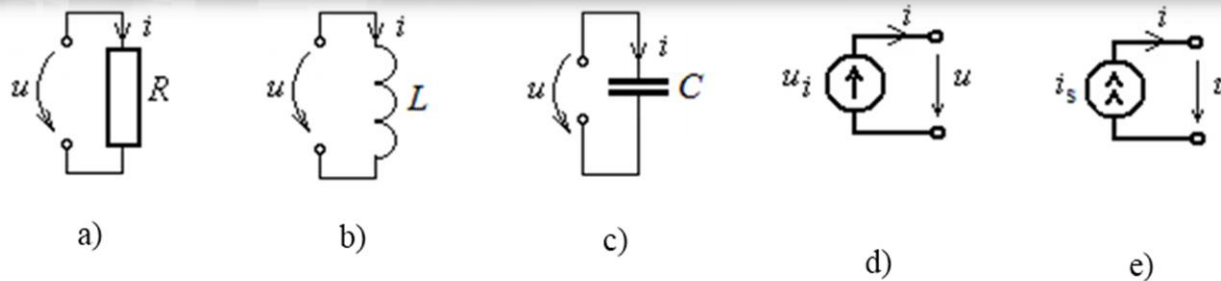


Fig.1.2

5. Teoremele lui Kirchhoff

Prin aplicarea *teoremelor lui Kirchhoff* se face analiza circuitelor electrice, adică se scriu ecuațiile corespunzătoare celor două teoreme.

Teorema I a lui Kirchhoff este consecința *legii conservării sarcinii electrice*, care stabilește că intensitatea curentului electric i prin orice suprafață închisă Σ este egală cu “minus” derivata în raport cu timpul a sarcinii electrice Q din interiorul acelei suprafețe:

$$i_{\Sigma} = \oint_{\Sigma} \bar{J} \cdot \overline{ds} = -\frac{dQ}{dt} \quad (1)$$

unde J este densitatea de curent, $[A/m^2]$

CAP.1 NOȚIUNI INTRODUCTIVE

- ❖ În cazul regimului staționar, când sarcina electrică Q este constantă în timp avem $i_{\Sigma} = \oint_{\Sigma} \vec{J} \cdot \vec{ds} = 0$, ceea ce înseamnă că nu se acumulează sarcini electrice în suprafața Σ . Suprafața Σ se ia în jurul unui nod λ – punctul de întâlnire a cel puțin 3 laturi (fig.3).
- ❖ Obs. Vectorul la suprafață \vec{ds} se ia spre exterior.

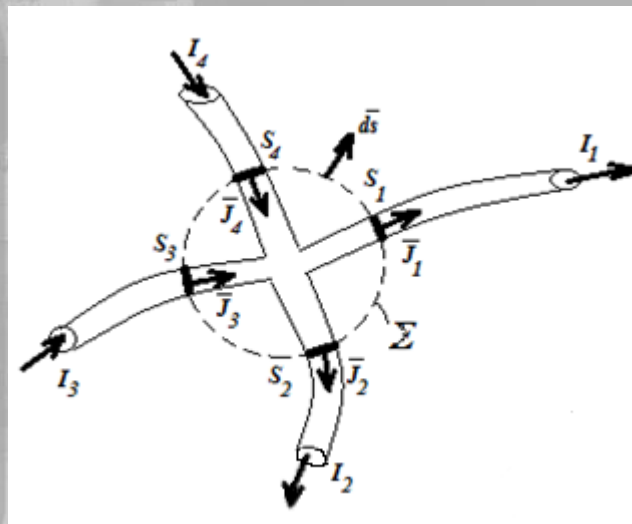


Fig.3

CAP.1 NOȚIUNI INTRODUCTIVE

Astfel, în nod avem

$$\begin{aligned} i_{\Sigma} &= \oint_{\Sigma} \vec{J} \cdot d\vec{s} = \int_{S_1} \vec{J}_1 \cdot d\vec{s} + \int_{S_2} \vec{J}_2 \cdot d\vec{s} + \int_{S_3} \vec{J}_3 \cdot d\vec{s} + \int_{S_4} \vec{J}_4 \cdot d\vec{s} \\ &= \int_{S_1} J_1 \cdot ds \cdot \cos 0 + \int_{S_2} J_2 \cdot ds \cdot \cos 0 + \int_{S_3} J_3 \cdot ds \cdot \cos 180 \\ &+ \int_{S_4} J_4 \cdot ds \cdot \cos 180 = I_1 + I_2 - I_3 - I_4 = 0 \end{aligned}$$

respectiv,

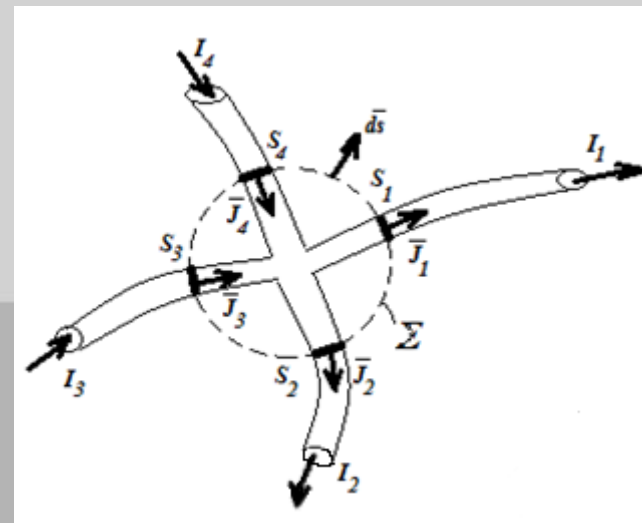
$$i_{\Sigma} = I_1 + I_2 - I_3 - I_4 = 0 \quad (3)$$

sau

$$I_1 + I_2 = I_3 + I_4. \quad (3')$$

În general, pentru un nod de circuit λ în care concură k laturi teorema I a lui Kirchhoff se scrie

$$\sum_{k \in \lambda} i_{\Sigma} = 0. \quad (4)$$



Enunțul teoremei I a lui Kirchhoff: Suma algebrică a curenților dintr-un nod de circuit este egală cu zero. Curenții care intră în nod sunt egali cu curenții care ies din nod.

Teorema a II a a lui Kirchhoff este consecința legii inducției *electromagnetice*, care stabilește că tensiunea electromotoare indusă de-a lungul unui contur închis Γ este egală cu “minus” derivate în raport cu timpul a fluxului magnetic care străbate orice suprafață S_Γ mărginită de conturul Γ

$$u_{e\Gamma} = \oint_{\Gamma} \bar{E} \cdot d\bar{l} = - \frac{d\Phi_{S\Gamma}}{dt} \quad (5)$$

unde \bar{E} este intensitatea câmpului electric, [V/m], Φ este fluxul magnetic, [T].

CAP.1 NOȚIUNI INTRODUCTIVE

În cazul regimului staționar, când nu avem câmp magnetic în afara elementelor de circuit, fluxul magnetic prin orice suprafață S_Γ este nul, adică

$$\oint_{\Gamma} \vec{E} \cdot d\vec{l} = 0, \quad (6)$$

numită și teorema potențialului electric staționar.

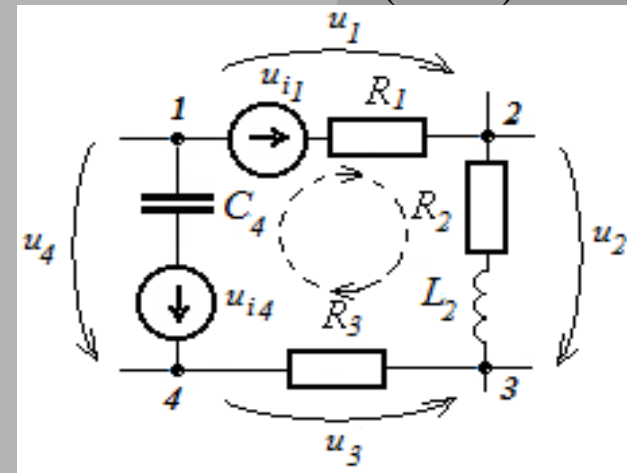
Conturul Γ este o succesiune de laturi de circuit care formează un ochi (bucă) de circuit (fig.4).

Astfel pe conturul Γ se scrie

$$\oint_{\Gamma} \vec{E} \cdot d\vec{l} = (V_1 - V_2) + (V_2 - V_3) + (V_3 - V_4) + (V_4 - V_1) = 0 \quad (7)$$

respectiv,

$$u_1 + u_2 - u_3 - u_4 = 0. \quad (8)$$



În general, pentru o buclă v dintr-un circuit, formată din k laturi, teorema a II a a lui Kirchhoff se scrie

$$\sum_{k \in v} u_k = 0. \quad (9)$$

Enunțul teoremei a II-a a lui Kirchhoff: Suma algebrică a tensiunilor la bornele laturilor care formează un ochi de circuit este egală cu zero. Tensiunile care au același sens cu sensul de parcurs al ochiului se iau cu semnul “+”, iar tensiunile care sunt în sens contrar sensului de parcurs se iau cu semnul “-”.

Dacă avem un ochi de circuit care conține doar surse de tensiune și rezistoare, teorema a II-a a lui Kirchhoff se mai poate scrie și altfel

$$\sum_{k \in \mathcal{V}} u_{ik} = \sum_{k \in \mathcal{V}} R_k \cdot i_k, \quad (10)$$

adică:

Suma algebrică a tensiunilor imprimate dintr-un ochi de circuit este egală cu suma algebrică a căderilor de tensiune pe rezistoarele laturilor din acel ochi.