

## 1. ELEMENTE DE ELECTROTEHNICA

În introducere se vor reaminti, pe scurt, câteva noțiuni principale din domeniul electrotehnicii și mașinilor electrice, noțiuni ce vor fi utilizate în această carte.

### 1.1. Sarcina electrică

Universul cunoscut este format din aproximativ 90 de elemente distincte denumite atomi. Acestea sunt clasificate în tabloul elementelor al lui Mendeleev. În afara acestor elemente naturale mai există peste 15 elemente create artificial.

Substanțele sunt formate din atomi sau din combinații diverse de atomi (molecule).

Un atom este compus din:

- nucleu;

care la rândul său cuprinde două tipuri de particule elementare:

- neutroni
- protoni

- înveliș;

care este format dintr-un același tip de particule elementare:

- electroni

Un proton și un neutron au aceeași masă pe când electronul este de 1845 de ori mai ușor.

Structura unui atom în două cazuri, cu mai multe sau mai puține particule elementare este prezentată în figura 1.1 în care se poate observa atât nucleul cât și învelișul de electroni.

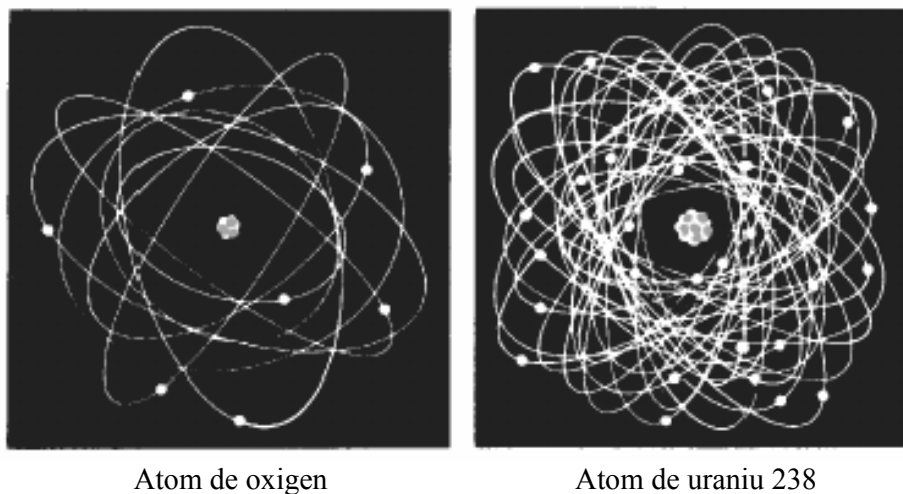


Fig. 1.1. Structura unor atomi cu număr mai mic (oxigen) sau mai mare (uraniu) de particule elementare

Particulele elementare sunt sau nu încarcate cu sarcină electrică și sunt legate prin forțe atomice care dau stabilitate atomului. Sarcina electrică s-a dovedit a fi de două feluri distincte, numite sarcină pozitivă și sarcină negativă și asociate semnelor aritmetice corespondente.

Electronul – are sarcină electrică negativă, întotdeauna aceeași, notată  $\bar{e}$ . Nu există în natură o sarcină mai mică decât sarcina unui electron și din acest motiv sarcina electronului este considerată sarcină elementară. Asta înseamnă că sarcina electrică a unui corp oarecare nu poate fi decât un multiplu de sarcini elementare,  $n\bar{e}$ .

Protonul – are sarcină electrică pozitivă, egală în valoare absolută cu  $\bar{e}$ .

Neutronul – nu are sarcină electrică

Numărul electronilor unui atom este egal cu numărul protonilor și în consecință sarcina electrică totală este zero iar atomul este neutru din punct de vedere electric.

Neutralitatea nu se menține însă în permanentă. Unii dintre electroni, înfrângând forțele atomice, pot părăsi atomul. Acest fenomen creează concomitent un surplus de sarcină pozitivă (în zona inițială, părăsită) și un surplus de sarcină negativă, în zona unde au migrat. Se formează astfel zone sau corpuri încărcate cu sarcină.

Se vor numi simplificat atât corpurile sau zonele încărcate cât și sarcinile elementare drept *sarcini electrice*.

Orice sarcină, notată  $q$ , va fi formată dintr-un număr întreg de sarcini elementare.

## 1.2. Câmp electromagnetic

O sarcină electrică poate acționa la distanță, cu forțe numite forțe electromagnetice, asupra altor sarcini. Deci în jurul sarcinilor există energie sub formă de câmp, numit câmp electromagnetic. Sarcinile produc două forme distincte de câmp:

- câmp electric;
- câmp magnetic.

Împreună acestea formează câmpul electromagnetic.

Câmpul poate fi apreciat după forțele cu acțiune la distanță. Există o diferență importantă între forțele cu care câmpul electromagnetic acționează asupra sarcinilor electrice, diferență dată de starea de repaus relativ sau de mișcare a sarcinilor.

### 1.2.1. Câmp electric

Câmpul electric există în jurul oricaror sarcini electrice. El este caracterizat prin *intensitatea câmpului electric*, o mărime vectorială notată  $\bar{E}$ . Câmpul se consideră prin convenție orientat de la sarcini pozitive spre sarcini negative. O a doua mărime ce caracterizează câmpul electric este *inducția electrică*, deasemenea o mărime vectorială, notată  $\bar{D}$ . Această mărime depinde de mediul sau materialul în care există câmpul și este legată de prima prin relația:

$$\bar{D} = \epsilon \bar{E}, \quad (1.1)$$

în care  $\epsilon$  este o mărime scalară, se numește constantă electrică (permitivitate electrică) și depinde de material sau mediu

### 1.2.2. Câmp magnetic

Câmpul magnetic există în jurul sarcinilor în mișcare sau a magneților permanenți. O sarcină în mișcare reprezintă un curent electric și deci curenții electrici produc câmp magnetic.

Câmpul magnetic este caracterizat prin *intensitatea câmpului magnetic*, o mărime vectorială notată  $\vec{H}$  și o a doua, deasemenea vectorială, numită *inducție magnetică* notată  $\vec{B}$  și care depinde de mediul sau materialul în care există câmpul. Aceste două marimi sunt legate prin relația:

$$\vec{B} = \mu \vec{H}, \quad (1.2)$$

în care  $\mu$  este o mărime scalară, se numește constantă magnetică (permeabilitate magnetică) și depinde de mediu sau material.

## 1.3. Tensiune, potențial, curent și rezistență electrică

### 1.3.1. Tensiune electrică

Tensiunea electrică este o mărime fundamentală care este foarte utilizată în domeniul electrotehnic. Ea este direct legată de energia existentă într-un câmp electric și se definește matematic ca fiind integrala intensității câmpului electric de-a lungul unei curbe trasată între două puncte din câmp. Remarcabil este faptul că tensiunea nu depinde de curba după care se face integrarea ci doar de poziția celor două puncte. Astfel se poate face o caracterizare electrică a energiei care există între două puncte fără a mai intra în amănuntele ce caracterizează spațiul dintre cele două puncte.

Printr-o analogie cu câmpul gravitațional al Pământului, în care energia potențială existentă între două puncte depinde de diferența de înălțime, se poate spune că diferența de înălțime este echivalentul tensiunii electrice în câmpul electric.

Tensiunea electrică are același sens cu sensul câmpului, fixat convențional ca pornind de la sarcinile pozitive.

Tensiunea electrică este o mărime utilizată mai ales în circuite și ea caracterizează electric o situație existentă între două puncte oarecare din circuit. În cazul surselor de energie electrică, care au obișnuit două puncte (borne) pentru conectarea consumatorului, tensiunea la borne este un parametru de importanță majoră.

Tensiunea electrică se notează cu litera  $u$ , este legată de două puncte care trebuie în mod obișnuit menționate în notație, de exemplu  $u_{AB}$  și se reprezintă în desene printr-o săgeată (figura 1.2). Ordinea celor două puncte dă sensul săgeții. Așa cum apare în figură, tensiunea este considerată pozitivă. Inversarea ordinii punctelor conduce la schimbarea semnului, astfel:

$$u_{AB} = -u_{BA} \quad (1.3)$$

Unitatea de măsură a tensiunii electrice este *voltul* [V].

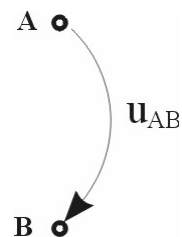


Fig. 1.2  
Reprezentare  
a tensiunii

### 1.3.2. Potențial electric

O noțiune legată de aceea de tensiune este potențialul electric. Pentru a vorbi de potențial trebuie însă definit un punct de origine, considerat punct de potențial zero. De cele mai multe ori acest punct este **pământul**, simbolizat ca în figura 1.3.a dar în circuitele electrice acest punct poate fi luat și într-un alt loc, caz în care punctul se numește **masă** și se simbolizează ca în figura 1.3.b sau 1.3.c. De cele mai multe ori *masa* este conectată la pământ. Când această legătură nu este făcută se spune ca masa este **flotantă**.

Potențialul electric este o noțiune legată de un singur punct și reprezintă tensiunea electrică între punct și punctul de referință, fie acesta **pământul** sau **masa**.

Potențialul electric se notează cu litera **v** iar punctul trebuie în mod obișnuit menționat în notație, de exemplu  $v_A$ .

Unitatea de măsură a potențialului electric este deasemenea **voltul [V]**.

Prin analogie cu câmpul gravitațional al Pământului putem considera punctul de potențial zero nivelul mării, iar potențialul unui punct oarecare înălțimea față de nivelul mării. Așa cum există puncte sub nivelul mării, la înălțime negativă (Marea Moartă de exemplu), tot așa potențialul unui punct poate fi pozitiv sau negativ.

Teoretic se definește întâi potențialul electric iar apoi tensiunea este considerată ca fiind diferența de potențial între două puncte.

*Obs.* Adeseori în vorbirea curentă, pentru simplitate, se vorbește de tensiunea într-un punct, nu cum este corect, tensiunea între două puncte, sau, la fel de corect, potențialul într-un punct. De exemplu când se spune: tensiunea în punctul A are 24 de volți, se presupune cunoscut cel de al doilea punct care este originea de potențial, **pământul** sau **masa**.

### 1.3.3. Curent electric

Sarcinile electrice libere, care nu sunt prinse în legături electrice sau atomice, se pot deplasa sub influența unui câmp electromagnetic sau a unei tensiuni electrice. Deplasarea poartă numele de **curent electric**.

Deși poate exista curent electric prin orice mediu, în cazul cel mai întâlnit fluxul sarcinilor este dirijat prin circuite electrice. Numele de circuit vine de la faptul că sunt parcursuri închise. Aceste circuite, prezentate ceva mai extins într-un paragraf ulterior, sunt formate din surse, care produc forțele necesare mișcării, din conductoare electrice care sunt elemente de legătură prin care mișcarea sarcinilor se face neîntrerupt și elemente de circuit.

Apelând la analogia hidraulică se poate considera un conductor parcurs de curent electric asemănător unei conducte care conduce un fluid sub acțiunea unei diferențe de presiune sau de înălțime.

Mărimea principală asociată curentului electric este **intensitatea curentului electric** care reprezintă matematic cantitatea de sarcină pe unitatea de timp, echivalentă debitului în analogia hidraulică. Intensitatea curentului electric se notează cu litera **i**,



Fig. 1.3 Pământ și masă



Fig. 1.4 Reprezentarea curentului

este atașată în circuite de un conductor și este reprezentată în desene printr-un vârf de săgeată desenat direct pe conductor (figura 1.4).

Unitatea de măsură a intensității curentului electric este **amperul** [A].

*Obs.* Adeseori în vorbirea curentă, pentru simplitate, se spune curent în loc de intensitatea curentului, de exemplu:

curentul  $I_1$  de 5 amperi.

#### 1.3.4. Rezistență electrică

Deplasarea sarcinilor electrice este influențată nu numai de câmpul electromagnetic sau de tensiunea electrică ci și de mediul prin care se deplasează. Există medii prin care deplasarea se face foarte ușor, se spune că sunt medii bune conductoare de electricitate cum ar fi metalele sau electrolitii. Prin altele deplasarea se face foarte greu, cum sunt sticla sau materialele plastice, acestea fiind numite izolante.

Marimea care caracterizează un mediu din acest punct de vedere se numește *rezistivitate electrică*, notată  $\rho$ .

O a doua mărime, mult mai utilizată în practică se numește *rezistență electrică* și caracterizează un element nu numai după materialul din care este făcut ci și după geometria sa. Astfel, un element de formă cilindrică va avea rezistența dependentă nu doar de material, prin rezistivitate, ci și de lungime sau secțiune.

Rezistența electrică se notează cu  $r$  sau  $R$ , este atașată de un element de circuit, de exemplu  $R_1$  dar poate fi atașată de asemenea și de un spațiu cuprins între două puncte ale unui circuit electric, de exemplu  $R_{ab}$

Unitatea de măsură a rezistenței electrice este **ohm**-ul, acesta fiind simbolizat prin litera omega mare [ $\Omega$ ].

### 1.4. Producerea energiei electrice

Cea mai mare parte din energia electrică utilizată astăzi este produsă în centrale electrice de către generatoare electrice rotative. Modul în care este obținută energia pentru a roti generatoarele împarte centralele în trei clase principale: hidrocentrale, termocentrale și centrale nucleare. Dar mai există și alte tipuri cum sunt centralele eoliene sau solare.

Energia este furnizată continuu și este distribuită prin rețele înspre consumatori. În final consumatorul preia energia în puncte speciale de acces. Pentru consumatorul casnic energia electrică este accesibilă la binecunoscuta priză electrică.

S-a impus universal în practică generarea și distribuția energiei electrice sub forma alternativă, trifazată. Astfel, generatorul furnizează o tensiune alternativă, care-și schimbă semnul periodic și este echivalentul a trei surse iar distribuția se face printr-o rețea trifazată, compusă din trei conductoare principale (faze) și un al patrulea, nulul.

O a doua clasă de generatoare electrice sunt pilele electrice sau bateriile. Cele mai multe utilizează reacții chimice în vederea eliberării energiei electrice dar există și pile solare. Energia electrică este continuă în cazul pilelor.

## 1.5. Elemente de circuit

Elementele de circuit sunt elemente speciale, în construcții și cu proprietăți electrice foarte diverse, realizate pentru a fi utilizate în circuite electrice. Ele au reprezentări grafice care sunt stabilite prin standarde. Cele mai utilizate elemente de circuit vor fi prezentate în continuare.

Un grup important de elemente de circuit au două borne (puncte de acces, terminale). Un astfel de dispozitiv este numit generic *dipol*. Se mai întâlnește ca denumire generică și *cuadripol*, pentru dispozitivele cu 4 borne. Cele care au doar trei borne nu au o denumire similară consacrată. Dispozitivele cu mai multe de două borne se mai numesc și *multipoli*.

### 1.5.1. Surse electrice

Sursele electrice sunt cele mai importante elemente de circuit. Ele furnizează energia electrică necesară într-un circuit.

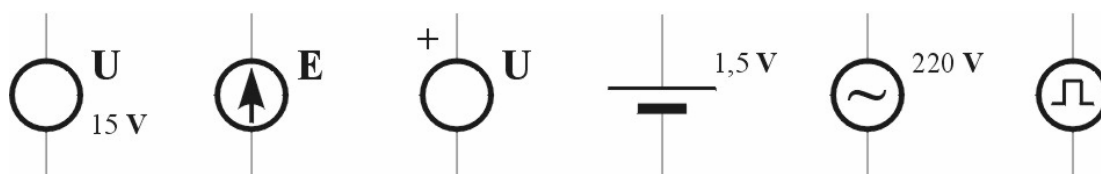
Dintre sursele electrice cele mai utilizate sunt *sursele de tensiune*. Acestea reprezintă de fapt o idealizare a surselor de energie electrică reale și sunt caracterizate de faptul că tensiunea la borne este constantă, indiferent de situația în care se găsesc.

Simbolul general pentru o sursă de tensiune este prezentat în figura 1.5.a. Alături de simbol, un cerc cu două conductoare scurte care simbolizează de fapt cele două borne de ieșire ale fiecărei surse reale este pusă fie valoarea tensiunii sursei fie doar simbolul tensiunii electrice, de obicei cu literă mare, fie ambele (cazul de aici). Uneori simbolul este prezentat ca în figura 1.5.b, iar simbolul tensiunii sursei poate fi înlocuit cu litera E, cu scopul de a face o deosebire între tensiunea unei surse care mai este denumită sursă electromotoare și tensiunile curenți dintr-un circuit.

Sursele pot furniza o tensiune continuă și atunci cele mai utilizate simboluri sunt cele din figura 1.5.c, sau figura 1.5.d unde linia subțire reprezintă borna pozitivă a sursei. Tensiunea de ieșire este pozitivă dacă este considerată dinspre borna pozitivă spre aceea negativă.

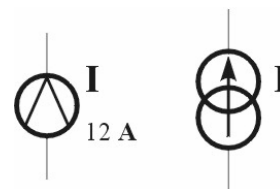
Sursele de tensiune alternativă (sinusoidală) sunt reprezentate cel mai des sub forma din figura 1.5.e.

Dacă tensiunea sursei are o altă formă, cunoscută, aceasta poate fi desenată în interiorul simbolului sursei. Astfel, în figura 1.5.f este simbolul unei surse de tensiune sub forma de impulsuri dreptunghiulare.



1.5. Simboluri pentru sursele de tensiune

O a doua idealizare a unei surse reale se numește **sursă de curent**. Aceasta este caracterizată de faptul că furnizează un curent constant, indiferent de situația în care se găsește și are simbolurile din figura 1.6.

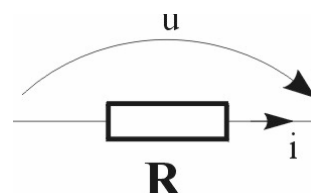


1.6. Simboluri pentru sursele de curent

Sursele reale sunt generatoarele rotative sau pilele electrice. Dar și rețeaua este, la bornele de acces, priza monofazăată sau trifazăată, o sursă reală de energie electrică (cea trifazăată reprezintă de fapt trei surse). Mai sunt utilizate aparate construite special în scopul de a furniza energie electrică continuă sau alternativă. Marea majoritate a acestor surse reale sunt apropiate de modelul **sursă de tensiune** pentru că în funcționare tensiunea la borne se păstrează aproape constantă.

### 1.5.2. Rezistorul

Rezistorul este poate cel mai utilizat element de circuit. Simbolul rezistorului este prezentat în figura 1.7 unde sunt reprezentate și marimile electrice fundamentale asociate și anume tensiunea la bornele rezistorului și curentul prin rezistor. Rezistorul are doua borne fiind, ca și sursele simple, un *dipol*. Rezistorul este caracterizat prin rezistența sa electrică,  $R$ .



1.7. Rezistorul

*Obs.:* În practică elementul ia denumirea proprietății sale principale, rezistența electrică, astfel că este denumit **rezistență**. Obișnuit se spune: o rezistență de 100 de ohmi.

Pentru toate elementele de circuit relația dintre curentul prin element și tensiunea la borne (la elemente cu mai mult de două borne sunt mai multe relații) sau dependența curent-tensiune este de cea mai mare importanță. Pentru rezistență relația este:

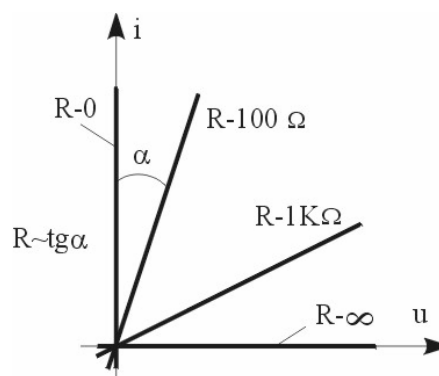
$$i = \frac{1}{R} u \quad (1.4)$$

sau legea lui Ohm, cunoscută îndeosebi sub forma:

$$u = R i \quad (1.5)$$

În multe situații este utilă pentru un element de circuit nu numai relația analitică, dar și graficul dependenței curentului de tensiunea la borne.

În cazul unei rezistențe graficul este o dreaptă care trece prin origine și are panta egală cu  $1/R$ . Situația pentru cazul mai multor rezistențe este prezentată în figura 1.8. Se observă că panta este mare pentru rezistențe mici, iar la limită dreapta corespunzătoare axei curentului este și dreapta corespunzătoare rezistenței zero. Similar, panta este mai mică pentru rezistențe mari, la limită dreapta corespunzătoare axei tensiunii este și dreapta corespunzătoare rezistenței infinite.



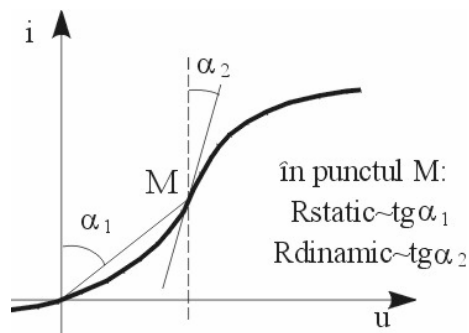
1.8 Dependența curent-tensiune pentru rezistențe liniare

Din punct de vedere energetic rezistența face o transformare a energiei electrice în căldură.

### 1.5.3. Elemente rezistive neliniare

Rezistența este un element liniar deoarece există o dependență liniară între curent și tensiune (relația 1.3) și corespunzător graficul este o linie dreaptă. În același timp rezistența este constantă, nu depinde de valoarea curentului și este proporțională cu tangenta unghiului alfa (figura 1.8). Dar există de asemenea elemente de circuit neliniare, cu un comportament energetic de tip rezistiv care au o dependență neliniară curent-tensiune (figura 1.9). Pentru astfel de elemente rezistența nu mai este constantă, ea depinde de curent sau, echivalent, de poziția unui punct pe curba curent-tensiune. Pentru cazul rezistentelor neliniare se definesc două tipuri de rezistențe, dependente de punctul de pe curbă în care se află la un moment dat elementul, punct numit și punct de funcționare. Acestea sunt:

- rezistența statică egală cu raportul tensiune-curent din punctul de funcționare (proporțională cu  $\tan \alpha_1$  – mai intervine factorul de scară)
- rezistența dinamică egală cu limita raportului  $du/di$  în jurul punctului M de funcționare (proporțională cu  $\tan \alpha_2$  – mai intervine factorul de scară)



1.9 Dependența curent-tensiune pentru rezistențe neliniare

### 1.5.4. Condensatorul

Condensatorul este un element de circuit realizat pentru a putea acumula sarcină electrică, și are simbolul prezentat în figura 1.10. Este format din două suprafețe metalice, numite armături, figurate prin segmente paralele, despărțite de un spațiu izolant (dielectric). Condensatorul este caracterizat de o mărime electrică numită *capacitate electrică*, notată **C** și definită de relația:

$$C = \frac{q}{i} \quad (1.6)$$

unde q este cantitatea de sarcină acumulată pe armături (egală și de semn contrar pe cele două suprafețe) având tensiunea u între armături.

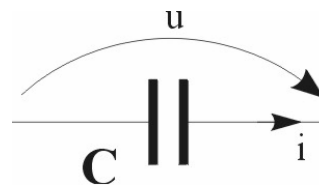
Unitatea de măsură pentru capacitate este **faradul [F]**. Dar condensatoarele curent utilizate au capacitati mult mai mici, de ordinul micro, nano sau picofarazi

Dependența curentului prin condensator de tensiunea la borne este dată de relația:

$$i = C \frac{du}{dt} \quad (1.7)$$

sau echivalent:

$$u = \frac{1}{C} \int_0^t i dt + \text{const.} \quad (1.8)$$



1.10. Condensatorul

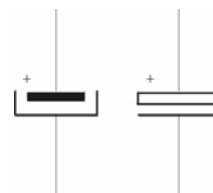


Relatia (1.7) spune ceva important despre comportarea unui condensator funcție de tensiunea la borne și anume dacă tensiunea este continuă, adică este de valoare constantă în timp,  $du/dt$  este zero iar curentul este zero. Ceea ce înseamnă că în curent continuu este echivalent cu un contact electric deschis sau o rezistență infinită.

Tot relația (1.7) mai spune și că la bornele unui condensator tensiunea electrică nu poate varia prin salt, panta de creștere sau descreștere a tensiunii este întotdeauna mai mică de 90 grade. Un salt înseamnă  $du/dt$  infinit, adică curent infinit, ceea ce în realitate nu este posibil.

Din punct de vedere energetic, condensatorul este un element care poate acumula energie electrică sub formă de câmp electric.

O categorie aparte de condensatoare sunt *condensatoarele polarizate*. Acestea, spre deosebire de condensatoarele obișnuite, nu suportă în funcționare decât tensiune de o anumită polaritate. Simbolurile utilizate pentru aceste condensatoare, prezentate în figura 1.11, nu sunt simetrice, una dintre armături fiind asociată semnului + (iar a doua semnului contrar) care indică polaritatea permisă tensiunii la borne. Deși marcat în figura 1.11, semnul + nu este prezent în mod obișnuit și în scheme.



1.11. Condensatoare polarizate

*Obs.:* Uneori elementul fizic, condensatorul, este denumit, după mărimea electrică ce-i este caracteristică, capacitate. Se mai spune: o capacitate de 100 microFarazi

### 1.5.5. Bobina

Bobina este un element de circuit realizat pentru a putea acumula energie electrică sub formă de câmp magnetic și are simbolul prezentat în figura 1.12. Ea este formată dintr-un fir conductor înfășurat sub formă de spirala strânsă pe un suport izolant.

Bobina este caracterizată de o mărime electrică numită *inductanță electrică*, notată  $L$  și definită de relația:

$$L = \frac{\Phi}{i} \quad (1.9)$$

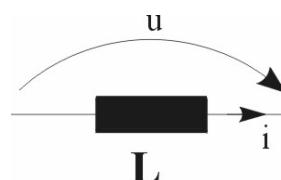
unde  $\Phi$  este fluxul magnetic produs pe suprafața spirelor de curentul  $i$  ce parcurge bobina.

Dependența curentului prin condensator de tensiunea la borne este dată de relația:

$$i = \frac{1}{L} \int_0^t u \, dt + \text{const.} \quad (1.10)$$

sau echivalent:

$$u = L \frac{di}{dt} \quad (1.11)$$



1.12. Bobina

O primă observație privind relațiile acestea și cele pentru condensator este că inversând  $i$  cu  $u$  și  $C$  cu  $L$  relațiile sunt echivalente. Există o *dualitate* a acestor elemente iar ce puteam spune despre tensiune la condensator putem afirma despre curent în cazul bobinei.

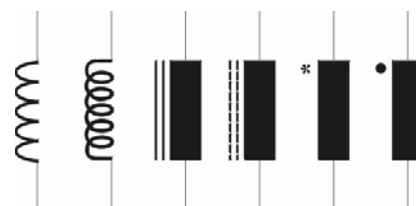
Într-adevăr relația (1.11) spune ceva importat despre comportarea unei bobine funcție de curent și anume dacă curentul este continuu, adică este de valoare constantă în timp,  $di/dt$  este zero iar tensiunea la borne este zero. Ceea ce înseamnă că în curent continuu este echivalentă cu o rezistență zero, un scurtcircuit.

Tot relația (1.11) mai spune și că printr-o bobină curentul nu poate varia prin salt, panta de creștere sau descreștere a lui este întotdeauna mai mică de 90 grade. Un salt înseamnă  $di/dt$  infinit, adică tensiune la borne infinită, ceea ce în realitate nu este posibil.

Din punct de vedere energetic, bobina este un element care poate acumula energie electrică sub formă de câmp magnetic. Energia acumulată depinde pe de o parte de curent, pe de alta de valoarea inductanței. Sunt numeroase cazurile în care bobina este înfășurată pe un miez de fier (fier electrotehnic, dar exista și miezuri din alte materiale cu proprietăți magnetice foarte bune) ceea ce-i crește mult inductanța și prin urmare eficacitatea. Mai trebuie observat aici că miezul de fier impune însă și limitări în funcționarea unei bobine cum sunt curentul sau frecvența care nu pot depăși o valoare maximă.

Miezul magnetic este simbolizat prin două linii paralele. Acestea sunt continue dacă materialul magnetic este metalic, sau punctate dacă materialul este din pulberi metalice sinterizate (ferită)

Uneori în funcționarea unei bobine are importanță și sensul de înfășurare al spirelor (de obicei cazul special când mai multe bobine sunt bobinate pe un același suport) iar acest sens este marcat printr-un punct sau un asterisc plasat la unul din capetele simbolului.



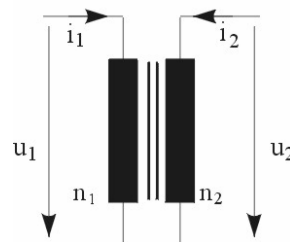
1.13 Alte reprezentări pentru bobine

În figura 1.13 sunt prezentate și alte simboluri utilizate pentru bobine cât și modul prin care sunt marcate miezul magnetic sau sensul înfășurării.

### 1.5.6. Transformatorul

Transformatorul este un element format din două (sau mai multe) înfășurări, bobinate pe un suport comun ce are obișnuit miez magnetic (figura 1.14). El este un dispozitiv cu patru (eventual mai multe) terminale, fiind din categoria celor denumite generic *cuadripoli* (multipoli).

Una dintre înfășurări este înfășurare primară, care se conectează la o sursă de energie electrică alternativă. A doua este înfășurare secundară (pot fi mai multe înfășurări secundare) la care se conectează un consumator.



1.14. Transformatorul

Transformatorul transferă energia din primar în secundar, iar dacă se considera transformatorul ideal transmisia se face fără pierderi. Astfel, puterile în primar și secundar sunt egale, adică:

$$u_1 i_1 = u_2 i_2 \quad (1.12)$$

Numarul de spire al fiecărei înfășurări este important ( $n_1$  și  $n_2$  în figură) deoarece tensiunile din primar și secundar sunt proporționale cu numărul de spire al înfășurării respective, adică:

$$\frac{u_1}{n_1} = \frac{u_2}{n_2} \quad (1.13)$$

Transformatorul are două funcții importante. Prima, poate modifica tensiunea unei surse la orice valoare, care se poate alege prin raportul  $n_1 / n_2$ , numit și *raport de transformare*. A doua, asigură separarea galvanică (nu există cale electrică directă) între primar și secundar.

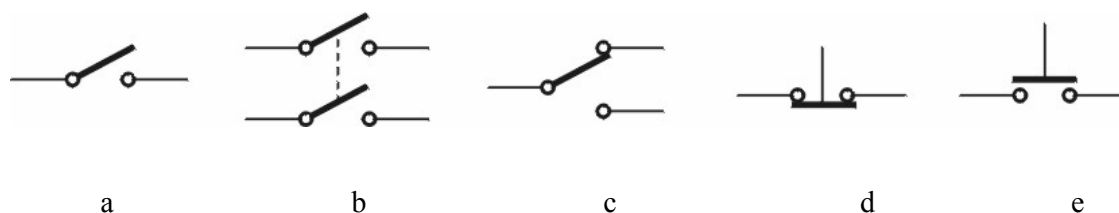
**Observație:** Toate elementele de circuit prezentate sunt considerate ideale. Un element real este doar o aproximare a celui ideal. Fiecare are prezente ca elemente parazite și alte tipuri de elemente. Astfel, o rezistență este însoțită de componente inductive și capacitive, bobinele au componente rezistive și capacitive iar condensatoarele componente rezistive și inductive. În mod obisnuit aceste elemente parazite au un efect neglijabil dar sunt de asemenea situații când trebuie luate în considerare. La frecvențe mari, de exemplu, lucrurile se modifică dramatic și comportarea unui element de circuit poate fi determinată mai degrabă de către aceste elemente parazite.

### 1.5.7. Alte elemente de circuit

Există un număr mare de alte elemente de circuit iar cele multe dintre ele vor fi prezentate în capitolul destinat dispozitivelor electronice. Câteva însă, din categoria elementelor care fac contact electric, sunt amintite aici.

#### Comutatoare electrice

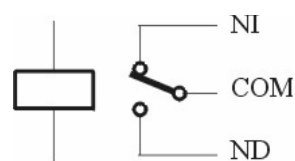
Comutatoarele realizează mecanic un contact electric. Acționarea se face manual. Există o multitudine de variante, funcție de numărul pozițiilor, de sistemul mecanic, de realizarea temporară (butoane) sau permanentă (întrerupătoare) a contactului. Simbolizarea este de asemenea diversă. Aici se vor utiliza simbolurile din figura 1.15 unde sunt prezentate atât întrerupătoare, în trei variante mai utilizate, întrerupătoare simple, duble și bipolare cât și butoanele, în două variante.



1.15. Comutatoare: a) întrerupător simplu; b) întrerupător dublu; c) întrerupător bipolar; d) buton normal închis; e) buton normal deschis.

### Relee electromecanice

Relee se deosebesc de comutatoare prin aceea că acționarea se face electric. Releul este format dintr-un comutator (sau mai multe, care vor fi acționate simultan) și un electromagnet care produce deplasarea acestuia. Simbolizarea este prezentată în figura 1.16. Dreptunghiul este înfașurarea electromagnetului iar contactele sunt obișnuit marcate, aici este un sistem bipolar cu terminalele NI (normal închis), ND (normal deschis), COM (comun).



1.16. Releu electromecanic

## 1.6. Noțiuni privind circuitele electrice

Un circuit electric se formează atunci când o sursă de tensiune (sau mai multe) este conectată la un element de circuit (sau mai multe) cu ajutorul unor conductoare electrice.

### 1.6.1. Scheme electrice

Circuitele electrice reale, dar și cele imaginate, care poate vor fi realizate fizic, sunt reprezentate în documente prin scheme electrice. Acestea sunt de mai multe feluri. Cea mai importantă este **schema electrică de principiu** care cuprinde toate elementele circuitului prin simbolurile deja prezentate cât și legăturile dintre ele.

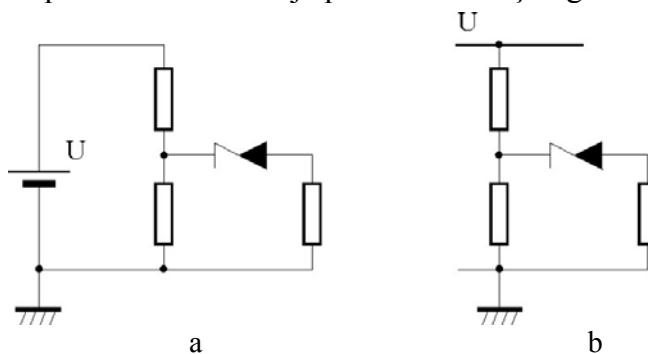


Fig. 1.17. Prezentarea surselor de c.c. în scheme

Conexiunea elementelor se face prin fire conductoare care în scheme sunt reprezentate prin linii. Circuitele electrice mai pot fi reprezentate prin **schema bloc**, în care circuitul se împarte în blocuri funcționale distincte, reprezentate obișnuit prin dreptunghiuri și **schema de conexiuni**, care prezintă doar legăturile electrice între diferite părți ale circuitului.

Liniile de legătură sunt considerate ca având rezistența electrică zero astfel ca potențialul electric de-a lungul unei linii este același, indiferent dacă linia este mai lungă sau mai scurtă. Din punct de vedere electric orice linie se poate considera un punct.

Acolo unde se întâlnesc trei sau mai multe linii există un **nod** de circuit. Între două noduri de circuit există **laturi** de circuit. Un **ochi** de circuit este un parcurs închis de circuit care cuprinde mai multe laturi. La limită un ochi poate avea doar două laturi.

În figura 1.17a. este desenat un circuit simplu alimentat de la o sursă de tensiune continuă. Punctul de masă al circuitului este la borna negativă a sursei. În mod obișnuit sursa de tensiune continuă nu se reprezintă pe scheme astfel că circuitul se desenează curent așa cum este prezentat în figura 1.17.b. Liniile continue superioară și inferioară reprezintă bornele sursei. Pe linia superioară este marcată valoarea tensiunii sursei.

Dacă circuitul are mai multe surse cu una dintre borne legate la masă, fiecare sursă este reprezentată printr-o linie pe care este marcată valoarea tensiunii față de masă. Dacă în circuit există surse neconectate la masă atunci acestea sunt prezentate explicit prin simbolul sursei.

### 1.6.2. Analiza circuitelor

Prin analiza sau rezolvarea unui circuit se înțelege în esență calculul curenților din laturile circuitului și apoi al tensiunilor și puterilor pe elemente atunci când circuitul este cunoscut (sunt cunoscute valorile elementelor, tensiunile surselor de tensiune și curenții surselor de curent).

Pentru analiza circuitelor se folosesc teoremele lui Kirchhoff. Dacă circuitul este liniar (nu are decât elemente liniare) și sursele sunt de c.c. atunci teoremele lui Kirchhoff conduc la un set de ecuații liniare de gradul I și rezolvarea este simplă.

Dacă sursele sunt de c.a și circuitul conține și elemente liniare reactive (bobine, rezistențe) ecuațiile sunt integro-diferențiale dar prin metoda mărimilor complexe ele se reduc deasemenea la un set de ecuații liniare de gradul I.

Pentru a începe analiza în prealabil sunt marcate pe laturi sensuri arbitrare pentru curenți.

#### Teorema I-a a lui Kirchhoff

Teorema I-a a lui Kirchhoff spune că suma algebrică a curenților la un nod este zero. Se alocă deasemenea arbitrar un semn pentru curenții care intră în nod (obișnuit +) și semnul opus pentru cei care ies.

#### Teorema II-a a lui Kirchhoff

Teorema II-a a lui Kirchhoff spune că suma algebrică a tensiunilor pe un ochi de circuit este zero. Pentru scrierea ecuației se alocă arbitrar un sens de parcurgere pe ochi. Apoi tensiunile pe fiecare element sunt considerate pozitive dacă sensul de parcurgere al ochiului coincide cu sensul curentului prin element și negative dacă sensurile sunt opuse.

### 1.6.3. Divizoare de tensiune și de curent

Un divizor de tensiune este sistemul simplu format din două rezistențe serie conectate la o sursă de tensiune (figura 1.18a). Tensiunea se divide pe rezistențe astfel

că pe fiecare dintre rezistențe se obține o tensiune mai mică, proporțională cu tensiunea sursei și cu valoarea rezistenței:

$$U_{R_1} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} U \quad (1.14)$$

$$U_{R_2} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} U \quad (1.15)$$

Un divizor de curent este sistemul format din două rezistențe paralel conectate la o sursă de curent (figura 1.18b). Curentul se divide pe rezistențe astfel că prin fiecare dintre rezistențe se obține un curent mai mic, proporțional cu curentul sursei și invers proporțional cu valoarea rezistenței:

$$I_{R_1} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} I \quad (1.16)$$

$$I_{R_2} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} I \quad (1.17)$$

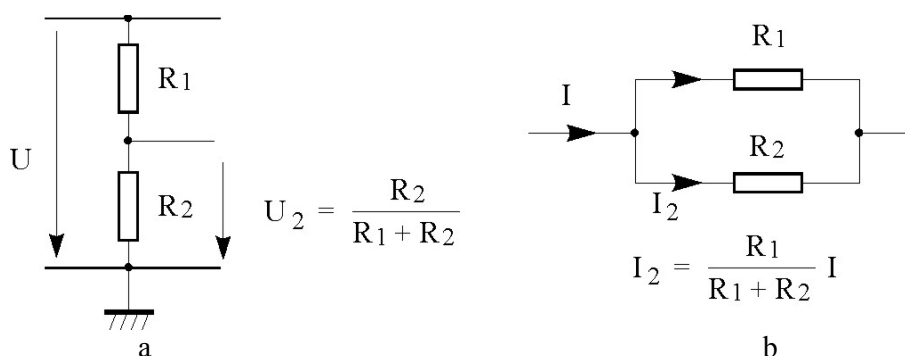


Fig. 1.18. Divizor de tensiune (a) și divizor de curent (b).

#### 1.6.4. Circuitul fundamental și teoremele sale

Circuitul electric fundamental este format dintr-o sursă de tensiune electrică reală (care are rezistență internă) conectată la un element de circuit, presupunem pentru simplitate o rezistență electrică (figura 1.19). Ansamblul acesta este deasemenea privit ca un **generator** de energie electrică (sursa) conectat la un **consumator** de energie electrică (rezistența), denumit adeseori **sarcină**. Despartirea cu linie punctată marchează acest punct de vedere.

Un astfel de circuit este format dintr-un singur ochi care este parcurs de un același curent (nu există noduri). Rezolvarea este imediată scriind teorema KII.

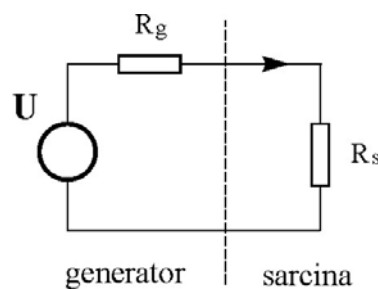


Fig. 1.19 Circuit fundamental

### Teorema transferului maxim de putere

O primă teoremă stabilește în ce condiții puterea electrică care se transferă de la sursă la sarcină este maximă. Ea spune că puterea este maximă atunci când este îndeplinită condiția:

$$R_g = R_s \quad (1.18)$$

adică atunci când rezistența sarcinii este egală cu rezistența internă a generatorului..

Se mai spune că s-a realizat **adaptare** între generator și sarcină sau că sarcina este adaptată la generator.

O mențiune importantă trebuie făcută aici. În general circuitele nu funcționează în condiții de transfer maxim deoarece acest maxim implică în același timp un randament prost al transferului. Într-adevăr, curentul prin cele două rezistențe fiind același iar rezistențele egale rezultă că puterea pe sarcină (utilă) și aceea pe rezistența internă a generatorului (pierderi) sunt egale. Randamentul este atunci 0,5.

Cu toate acestea există destule situații în care prevalează transferul maxim asupra randamentului, îndeosebi la circuitele de putere mică: amplificatoare, oscilatoare, circuite tampon, circuite de prelucrare a semnalelor, unde adeseori adaptarea de putere este esențială.

### Echivalența surselor de tensiune și de curent

O sursă reală de tensiune poate fi echivalată cu o sursă reală de curent și reciproc, o sursă reală de curent poate fi echivalată cu o sursă de tensiune. Cu alte cuvinte sursele reale pot fi considerate fie surse de tensiune, fie surse de curent. Dacă o sursă are rezistența internă mică se comportă mai aproape de o sursă ideală de tensiune, dacă are rezistența internă mare se comportă mai aproape de o sursă ideală de curent. Modurile de transformare sunt prezentate în figura 1.20.

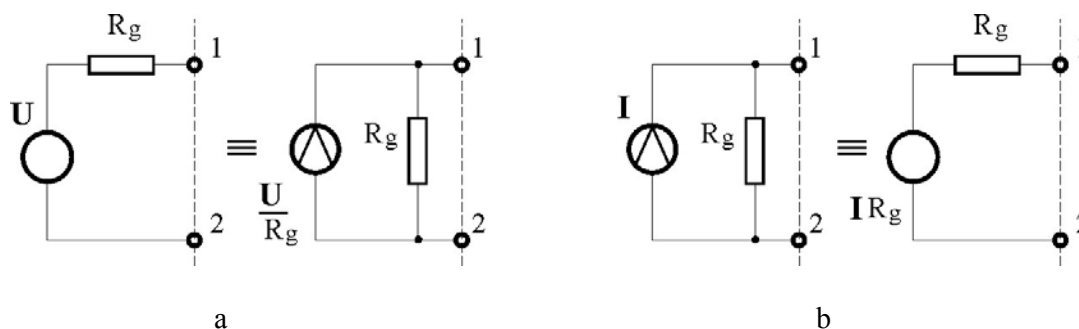


Fig. 1.20. Transformarea unei surse reale de tensiune în sursă reală de curent (a) și transformarea reciprocă (b)

Un grup de două teoreme arată că orice circuit electric liniar poate fi redus la un circuit fundamental. Reducerea se face în funcție de un element de circuit ales în prealabil, în punctele de contact ale elementului cu circuitul.

### Teorema lui Thevenin

Dacă se aleg două puncte într-un circuit, fie ele A și B care sunt și punctele de contact ale unui element  $R_{AB}$ , atunci circuitul poate fi redus la acest element și o sursă de tensiune reală echivalentă conectată la bornele rezistenței (figura 1.21). Modul de calcul al elementelor este următorul:

- rezistența internă este rezistența echivalentă la bornele AB, fără elementul  $R_{AB}$  și atunci când sursele ideale de tensiune din circuit sunt înlocuite cu scurtcircuit (rezistență zero) iar cele de curent cu gol (rezistență infinită);
- tensiunea sursei este tensiunea la bornele AB în lipsa elementului considerat.

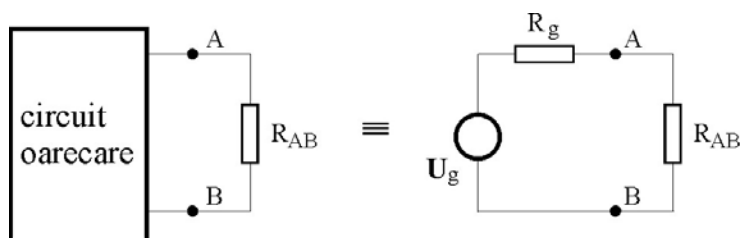


Fig. 1.21. Echivalența Thevenin

### Teorema lui Norton

Dacă se aleg două puncte într-un circuit, fie ele A și B care sunt și punctele de contact ale unui element  $R_{AB}$ , atunci circuitul poate fi redus la acest element și o sursă de curent reală echivalentă conectată la bornele rezistenței (figura 1.22). Modul de calcul al elementelor este următorul:

- rezistența internă  $R_g$  a generatorului este rezistența echivalentă la bornele AB, fără elementul  $R_{AB}$  și atunci când sursele ideale de tensiune din circuit sunt înlocuite cu scurtcircuit iar cele de curent cu gol;
- curentul sursei este curentul între punctele AB unde elementul  $R_{AB}$  este înlocuit cu scurtcircuit.

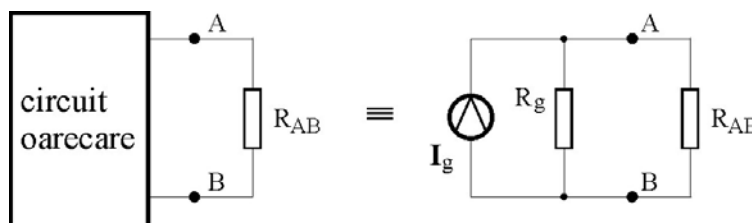


Fig. 1.22. Echivalența Norton

### 1.6.5 Regim de curent continuu și regim de curent alternativ

Circuitele electrice sunt în mod curent mult mai complicate decât circuitul fundamental. Ele pot conține atât surse de curent continuu cât și de curent alternativ,



atât elemente rezistive cât și inductanțe sau condensatoare, atât elemente liniare de circuit cât și elemente neliniare.

Ce s-a spus mai înainte despre analiza circuitelor este valabil doar dacă circuitul este liniar și cu un singur tip de surse, fie de c.c. fie de c.a. (Se obișnuiește să se prescurteze adeseori curent continuu cu **c.c.** iar curent alternativ cu **c.a.** Deasemenea sunt utilizate semnele:  $=$  pentru c.c. și  $\sim$  pentru c.a.)

În analiza circuitelor liniare este esențial **principiul superpoziției** care spune că efectul a două sau mai multe surse este suma efectelor fiecărei surse luată separat. Asta înseamnă că, de exemplu, curentul printr-un element X al unei rețele cu două surse este suma a doi curenți, unul calculat în cazul că prima sursă funcționează, a doua fiind pasivizată și un al doilea calculat cu a doua sursă în funcțiune și prima pasivizată.

Notă: **Pasivizarea** unei surse înseamnă înlocuirea sursei cu rezistența ei internă. Pentru sursele ideale de tensiune sursa este echivalată cu un scurtcircuit, pentru cele de curent cu un gol.

În cazul circuitelor liniare care conțin atât surse de curent continuu cât și de curent alternativ principiul superpoziției permite analiza pe rând a regimului de c.c. și a celui de c.a.

#### **Analiza în curent continuu**

Se analizează circuitul pentru curent continuu realizând un **circuit echivalent de curent continuu** în care sunt pastrate sursele de curent continuu și rezistențele, sursele de c.a. sunt pasivizate, bobinele sunt înlocuite cu scurtcircuit iar condensatoarele cu gol. Se vor calcula curenți continui.

#### **Analiza în curent alternativ**

Apoi se analizează circuitul pentru curent alternativ realizând un **circuit echivalent de curent alternativ** în care sursele de c.c. sunt pasivizate fiind pastrate sursele de curent alternativ cât și toate celelalte elemente. Se vor calcula curenți alternativi.

În final suma curenților va reprezenta curentul real, care are o componenta continuă și una alternativă.

### **1.6.6. Circuite neliniare**

Atunci când circuitul conține elemente neliniare analiza nu se mai poate face cu metodele anterioare. Teoremele lui Kirchhoff nu mai dau ecuații algebrice ci ecuații neliniare pentru care nu există metode standard de rezolvare. Cele mai multe pot fi rezolvate doar prin metode aproximative iar precizia rezultatelor este relativă. Desigur că având la dispoziție metode numerice și mijloacele moderne de calcul erorile pot fi aduse la nivele extrem de mici.

Mai trebuie adăugat că există numeroase programe de simulare pentru rezolvarea circuitelor complexe, iar metodele clasice, metoda **grafică** și metoda **liniarizării pe porțiuni** sunt utilizate mai degrabă în scopuri didactice sau pentru cazuri simple.

### Metoda grafica

Metoda grafică se utilizează în special în scopuri didactice. Ea se poate aplica ușor pentru circuitul fundamental, atunci când sarcina este un element neliniar iar dependența neliniară este cunoscută.

### Metoda liniarizării

Metoda transformă curba neliniară a elementelor neliniare într-o linie frântă care să o aproximeze cât mai bine. Astfel curba neliniară devine, pe porțiuni, liniară. Problema se împarte în tot atâtea probleme liniare câte segmente are aproximarea liniară iar acestea se rezolvă separat pe fiecare porțiune.

Obișnuit segmentele de dreaptă sunt reprezentate prin scheme echivalente liniare care conțin surse și elemente liniare. În acest fel circuitul neliniar este reprezentat printr-o sumă de circuite liniare ce se rezolvă pe rând, rezultatele fiind valabile pe porțiunile corespondente.

## 1.7 Semnale electrice

### Definire

Semnalul electric este produsul surselor de energie electrică. Un semnal este caracterizat prin mărimi electrice diverse cum ar fi tensiunea efectivă, intensitatea curentului vârf la vârf, perioada ș.a.m.d. De obicei tensiunea este mărimea principală astfel că se poate auzi adeseori „un semnal de  $X$  volți”.

Semnalele sunt foarte diverse, au evoluții diferite în funcție de timp, pot fi caracterizate analitic, printr-o expresie matematică, de obicei tensiunea în funcție de timp:

$$S = u(t) \quad (1)$$

dar și grafic, prin curba mărimii principale în funcție de timp.

### Semnalul aleator

Semnalul care le cuprinde pe toate celelalte ca pe niște cazuri particulare este semnalul aleator, semnalul care are o evoluție oarecare, nedeterminată în timp, de exemplu radiațiile cosmice. Atât forma semnalului cât și momentele de apariție sunt intamplatoare. Atunci când forma sau momentele de apariție nu sunt intamplatoare semnalele se numesc deterministe. Acestea sunt semnalele utilizate în electronică. Cel mai des sunt utilizate semnalele periodice, semnale a căror evoluție se repetă la intervale egale de timp și, mai rar, semnalele singulare. Un caz particular este semnalul continuu, semnal care are valoarea constantă în timp. Graficele unor semnale de tipul acelor amintite până acum sunt prezentate în figura 1.23.

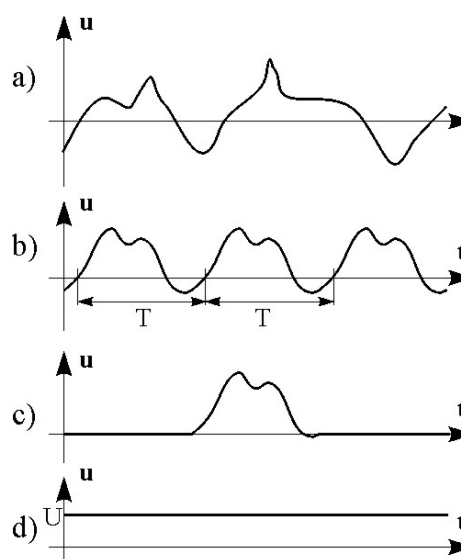


Fig. 1.23. Principalele tipuri de semnale: aleator (a); periodic (b); singular (c); continuu (d).

### Semnale periodice

Semnalele periodice pot fi de formă oarecare (figura 1.23) sau determinată cum sunt semnalele sinusoidale, semnalele dreptunghiulare sau impulsurile, semnalele dinte de fierăstrău ș.a.m.d. (figura 1.24).

Semnalele periodice sunt reprezentate analitic sub forma unei funcții  $S = u(t)$  cu proprietatea:

$$u(t) = u(t+T) \quad (2)$$

unde  $T$  este perioada de repetiție.

Alte două mărimi legate de periodicitate sunt frecvența:

$$f = 1/T \quad (3)$$

și pulsația sau frecvența unghiulară:

$$\omega = 2\pi f. \quad (4)$$

O mărime importantă a semnalelor periodice este valoarea medie, notată  $u_0$  sau  $u_{med}$ :

$$U_{med} = \frac{1}{T} \int_0^T u(t) dt \quad (5)$$

Valoarea medie se mai numește și componenta continuă a semnalului. Alte mărimi importante sunt valoarea maximă,

$U_{Max}$  și valoarea minimă,  $U_{min+}$ . Semnalul periodic oarecare și marimile principale sunt prezentate în figura 1.25.

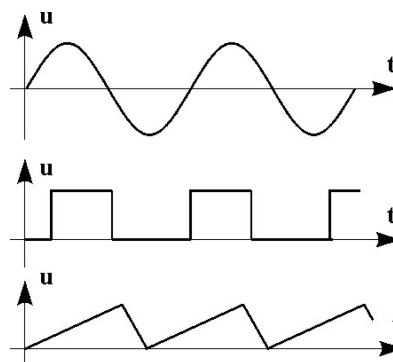


Fig. 1.24. Semnale periodice principale: sinusoidal; dreptunghiular; dinte de fierăstrău

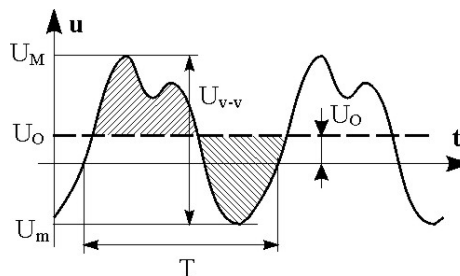


Fig. 1.25. Semnal periodic; marimi principale

### Semnale alternative

Un semnal periodic este alternativ atunci când valoarea sa medie sau componenta continuă este egală cu zero. Relația care definește un semnal alternativ este prin urmare:

$$U_{med} = \frac{1}{T} \int_0^T u(t) dt = 0 \quad (6)$$

Relația are și o interpretare grafică (figura 1.26), într-o perioadă, suprafața pozitivă a semnalului, notată cu semnul plus și suprafața negativă a semnalului, notată cu semnul minus sunt egale.

Un semnal periodic oarecare poate fi descompus într-o sumă formată dintr-un semnal continuu egal cu valoarea medie și un semnal alternativ (figura 1.27).

Semnalul continuu se numește *componenta continuă* a semnalului

Semnalul alternativ se numește *componenta alternativă* a semnalului.

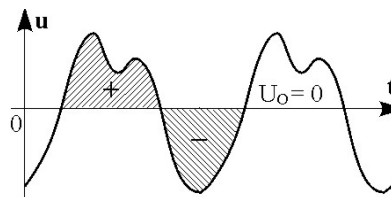


Fig. 1.26. Semnal alternativ

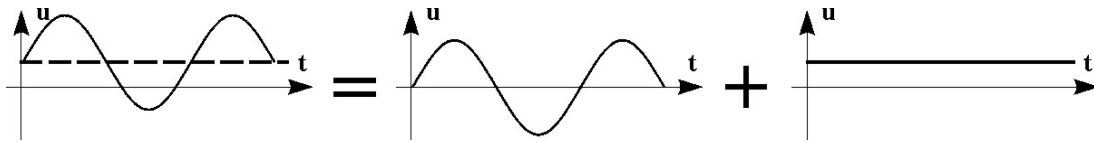


Fig. 1.27. Descompunerea unui semnal periodic oarecare in componenta continua si alternativa

Separarea aceasta nu este doar teoretica. In electronica sunt numeroase situatiile cand aceasta separate se face practic. Exista circuite care extrag doar componenta alternativa a unui semnal.. Exista circuite care extrag doar componenta continua a unui semnal..

### Semnale alternative sinusoidale (armonice)

Un semnal foarte important in electronica este semnalul alternativ sinusoidal, prezentat in figura 1.28, impreuna cu principalele marimi care-l caracterizeaza.

Un semnal alternativ sinusoidal are expresia generala:

$$u(t) = U_M \sin(\omega t - \varphi)$$

(7) Marimile principale ale semnalului sinusoidal sunt:

- $U_M$  – amplitudinea semnalului
- $\omega$  ( $f$ ,  $T$ ) – frecventa (unghiulara, aici, dar legata direct de frecventa si perioada)
- $\omega t - \varphi$  – faza semnalului
- $\varphi$  – faza initiala
- $U$  – valoare a efectiva (prezentata in continuare)

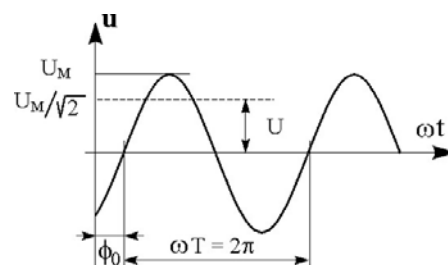


Fig. 1.28. Semnalul sinusoidal

$$U = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T u^2(t) dt} \quad (8)$$

Valoare efectiva a unui semnal electric esta data de relatia:  
care reprezinta radacina patrata a vaalorii medii a semnalului la patrat.  
Pentru semnalul alternativ sinusoidal valoarea efectiva este:

$$U = \frac{U_M}{\sqrt{2}} \approx 0,7 U_M \quad (9)$$

In literatura valoarea efectiva este prezentata adeseori, dupa denumirea engleza, valoare RMS (Root Mean Square – radacina din media patratica)

Un semnal sinusoidal este important din doua motive.

In primul rand energia electrica este generata de masinile electrice generatoare din marile centralele electrice sub aceasta forma si asa este aceasta transmisa la consumatori, fie ei industrialai sau casnici. Forma tensiunii la bornele prizelor din

casele noastre este alternativa, sinusoidală. Există de asemenea numeroase alte circuite care generează semnale sinusoidale.

În al doilea rând orice semnal periodic alternativ poate fi descompus într-o sumă de semnale sinusoidale care au frecvențe egale cu multipli ai frecvenței semnalului principal și care se numesc armonici. Matematic operația este cunoscută sub numele de descompunere Fourier. Există o primă armonică, numită și fundamentală, care are frecvența egală cu a semnalului principal. Armonica următoare, numită armonica a doua are frecvența dublul frecvenței fundamentale. Există armonica de gradul trei, patru ș.a.m.d., teoretic numărul lor este infinit. Amplitudinea armonicilor scade o dată cu creșterea frecvenței acestora. Scăderea nu este liniară și nici măcar monotona.

Un semnal periodic alternativ oarecare poate fi asimilat în acest fel cu o sumă de semnale sinusoidale. Cu cât numărul de armonici luate în considerare este mai mare cu atât aproximația este mai bună.

În același fel, un semnal periodic oarecare se poate descompune într-o componentă continuă și o sumă de armonici, rezultate din descompunerea la rândul ei a componentei alternative. Primele armonici sunt de multe ori suficiente pentru o bună aproximație (figura 1.29).

Descompunerea are desigur un interes practic.

În primul rând există metode simple pentru rezolvarea circuitelor electrice supuse semnalelor de tip continuu sau alternativ sinusoidal. Prin descompunerea în armonici aceste metode pot fi generalizate la toate tipurile de semnale periodice.

În al doilea rând semnalele periodice oarecare se descompun fizic, cu sau fără voia noastră, în armonici, iar efectele acestor armonici sunt de multe ori importante și este nevoie de cunoașterea și studierea lor.

### Semnale sub forma de impulsuri

O categorie distinctă de semnale sunt semnalele sub formă de impulsuri. Un impuls este o trecere relativ rapidă de la un nivel de tensiune la un alt nivel de tensiune, urmată, după un interval de timp, de revenirea la nivelul

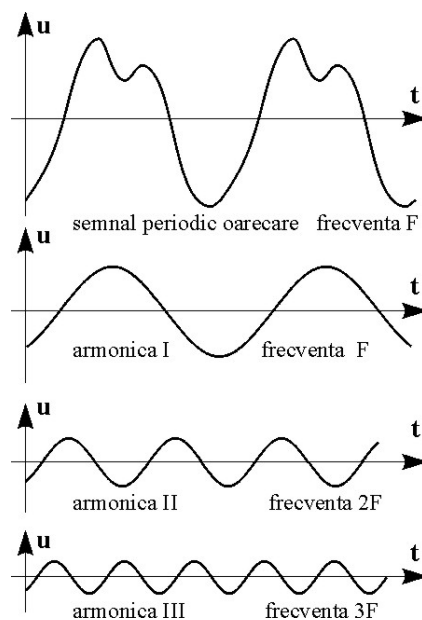


Fig. 1.29. Descompunerea unui semnal periodic oarecare în componenta continuă și armonici până la ordinul 3

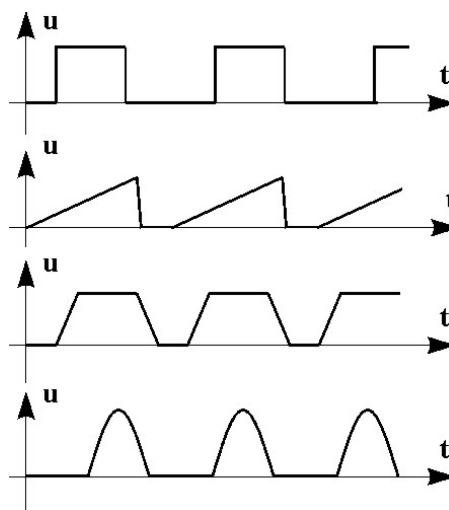


Fig. 1.30. Semnale sub forma de impulsuri

initial. Trecherile se numesc fronturi, crescator sau descrescator iar intervalele sunt palierale impulsurilor, ridicat sau coborat.

În varianta idealizată fronturile sunt fie salturi, trecerea se face instantaneu fie au o evoluție liniară. Corespunzător există două tipuri de impulsuri elementare, impulsul dreptunghiular și impulsul rampă. Prin combinații ale acestora se obțin diverse alte variante, câteva fiind prezentate în figura 1.30.

Cele mai utilizate sunt impulsurile dreptunghiulare

### Reprezentarea semnalelor în domeniul frecvență

Un semnal periodic se poate reprezenta, conform descompunerii în serie Fourier, ca o sumă de semnale sinusoidale, de amplitudini și faze determinate.

Totalitatea acestor componente formează *spectrul de frecvență* al semnalului. Există o componentă de frecvență zero, componenta continuă, o componentă fundamentală cu aceeași frecvență ca a semnalului și o sumă de armonici cu frecvențe multipli ai frecvenței fundamentale.

Se obișnuiește să se reprezinte acest spectru prin segmente de mărime egală cu amplitudinea fiecărei componente plasate în poziție corespunzătoare de-a lungul unei axe a frecvențelor. În figura 1.31b este reprezentată această funcție, denumită *funcție spectrală*, pentru semnalul periodic dreptunghiular din figura 1.31a (suma este teoretic infinită dar în practică se utilizează un număr finit de componente).

Dacă se trece la limită  $T$  (la infinit) distanțele între componente tind spre zero și se obține un spectru continuu care este chiar înfășurătoarea spectrului discret din figura (linia punctată) și care este spectrul unui impuls dreptunghiular singular.

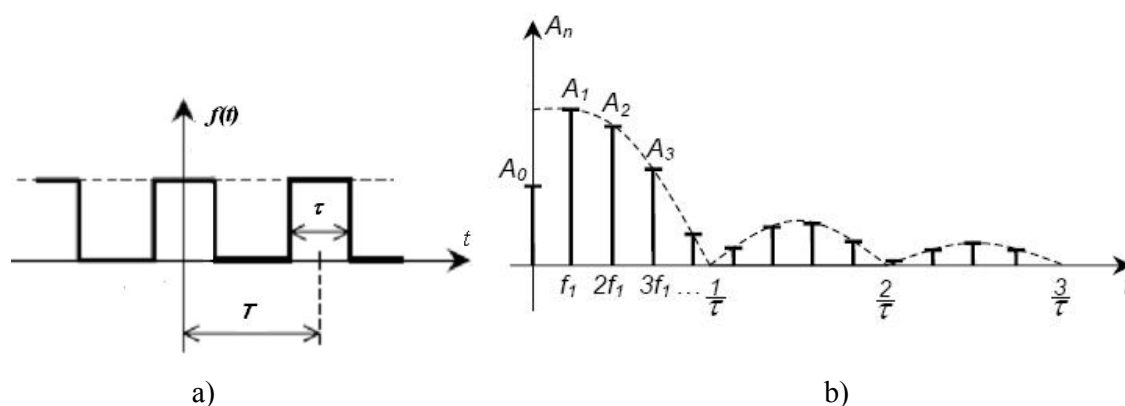


Fig. 1.31. Spectrul unui semnal periodic dreptunghiular.