

# CAP. 1 NOȚIUNI FUNDAMENTALE DE CIRCUITE ELECTRICE

## 1.1 INTRODUCERE

**Electronica** este știința care se ocupă de studiul și aplicațiile fenomenelor legate de mișcarea purtătorilor de sarcină electrică în semiconductoare, în vid și în gaze rarefiate.

Dispozitivul electronic este un subsistem fizic realizat pe baza unui dispozitiv semiconductor încapsulat și prevăzut cu terminale pentru conectarea în circuit.

Circuitele electronice sunt subansamble realizate prin interconectarea unor componente de circuit pentru a realiza o anumită funcție.

Ca știință fundamentală, electronica are ca scop principal cunoașterea dispozitivelor electronice existente și elaborarea unor noi dispozitive. Ca știință aplicată, electronica se ocupă de studiul circuitelor electronice, care pot fi privite ca aplicații ale dispozitivelor electronice.

### 1.1.1 Principiile generale ale modelării

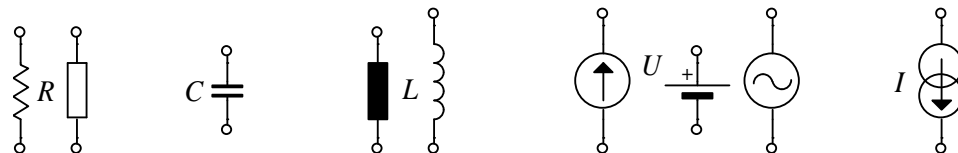
Prin **model funcțional** se înțelege orice descriere a comportării electrice a unui dispozitiv sau circuit considerat la bornele sale. Modelarea dispozitivului sau circuitului se poate face prin măsurarea comportării electrice la bornele sale; modelele simplificate reprezintă o idealizare prin care se elimină detaliile, astfel încât să rămână caracteristicile principale ale „obiectului” studiat.

**Modelul structural** este un circuit echivalent care se obține prin interconectarea unor elemente de circuit idealizate.

## 1.2 ELEMENTE DE CIRCUIT

Elementele de circuit sunt abstracții idealizate care reflectă o singură proprietate a unei componente și sunt caracterizate de obicei de funcții matematice simple (preferabil liniare).

Este necesar să se facă o distincție clară între componentele de circuit sau dispozitive pe de o parte și elementele de circuit pe de altă parte: componente sunt toate dispozitivele fizice folosite în circuite iar elementele sunt abstracții idealizate. Astfel, un rezistor, un condensator, un tranzistor sau o baterie sunt **componente**, în timp ce o rezistență (definită de legea lui Ohm,  $u = Ri$ ), o capacitate (definită prin  $i = Cdu/dt$ ) sau o sursă de tensiune (definită prin  $u = f(t)$ ) sunt **elemente**.



**Fig. 1.1.** Simbolurile grafice utilizate în schemele electrice pentru: rezistențe, capacități, inductivități, surse de tensiune și surse de curent.

### 1.2.1 Rezistența electrică

Rezistența electrică (sau mai simplu rezistența) este proprietatea unui mediu conductor de a se opune trecerii curentului electric. Rezistența  $R$  (sau  $r$ ) și este caracterizată de legea lui Ohm:

$$u = R \cdot i \quad \text{sau} \quad i = G \cdot u, \quad (1.1)$$

unde  $u$  este tensiunea la bornele rezistenței,  $i$  este curentul prin rezistență, iar  $G$  este conductanța electrică (inversul rezistenței  $G=1/R$ , cu unitate de măsură siemens  $S=1/\Omega$ ). Unitatea de măsură a rezistenței se numește ohm  $\Omega = \text{V/A}$ . În electronică se folosesc adesea multiplii acestuia, kilo-ohmul și mega-ohmul:  $1\text{k}\Omega = 10^3\Omega$  și  $1\text{M}\Omega = 10^6\Omega$ .

Relația (1.1) reprezintă caracteristica statică a rezistorului. În general, **caracteristica statică** este relația dintre tensiunea între terminale și curentul care circulă prin acele terminale.

Rezistența este un element pasiv în sensul că primește energie (de la circuitul exterior) pe care o transformă în căldură, sau se spune că o disipă. În unele cazuri o parte din energia electrică absorbită se transformă și în alte forme de energie; de exemplu becul electric produce și energie luminoasă iar difuzorul energie sonoră. Puterea electrică  $P$  primită de o rezistență este:

$$P = u \cdot i = (R \cdot i) \cdot i = R \cdot i^2 \quad \text{sau} \quad P = u \cdot (G \cdot u) = \frac{u^2}{R}. \quad (1.2)$$

### 1.2.2 Capacitatea electrică

Capacitatea electrică (uzual denumită capacitate), notată cu  $C$ , este elementul ideal de circuit care înmagazinează o sarcină electrică proporțională cu tensiunea  $u$  ce i se aplică la borne:

$$Q = C \cdot u. \quad (1.5)$$

Capacitatea electrică este proprietatea principală a condensatorului electric, componentă de circuit care constă din două armături conductoare separate de un izolator electric.

Prin derivarea în raport cu timpul a relației (1.5) se obține caracteristica statică a capacității:

$$\frac{dQ}{dt} = C \frac{du}{dt}, \quad i = \frac{dQ}{dt} \Rightarrow i = C \frac{du}{dt}. \quad (1.6)$$

Deoarece curentul electric circulă doar la modificarea tensiunii, capacitatea este o întrerupere de circuit în *cc*. Curentul (datorat variațiilor de tensiune), care aparent circulă prin capacitate, este de fapt un curent de circulație care încarcă sau descarcă capacitatea.

Capacitatea este un element de circuit pasiv și reactiv, pasiv deoarece nu produce energie, reactiv în sensul că energia pe care o primește poate fi stocată sub formă de sarcină electrică și poate fi cedată circuitului exterior după un timp oarecare (teoretic oricât de lung).

Unitatea de măsură a capacității este faradul; practic se utilizează submultiplii acestuia, cei mai întâlniți fiind microfaradul și picofaradul:  $1\mu\text{F} = 10^{-6}\text{F}$  și  $1\text{pF} = 10^{-12}\text{F}$ .

### 1.2.3 Inductivitatea

Inductivitatea (sau inductanța)  $L$  este un element ideal de circuit a cărui caracteristică statică este complementară (sau duală) caracteristicii statice a capacității:

$$u = L \frac{di}{dt}, \quad (1.7)$$

deci tensiunea pe o inductivitate este proporțională cu variația în timp a curentului. La circuitelor de *cc* curentul este constant, rezultă o tensiune nulă pe inductivitate și deci inductivitatea se înlocuiește în *cc* cu un scurtcircuit.

Unitatea de măsură a inductivității se numește henri (amper pe metru).

Inductivitatea este proprietatea principală a bobinei, care se realizează prin bobinarea unui conductor, de obicei în jurul unui miez din material magnetic (în general un aliaj feros). Bobinele sunt caracterizate de inductivitate și de rezistența conductorului din care a fost realizată acea bobină. De obicei rezistența conductorului este mică și în majoritatea aplicațiilor se poate neglija.

#### 1.2.4 Sursa ideală de tensiune și sursa ideală de curent

**Sursa ideală de tensiune** este elementul de circuit care are tensiunea la borne independentă de curentul care circulă prin sursă. Tensiunea la borne  $u$  este egală cu tensiunea la mers în gol (care apare fără nimic conectat între borne) iar curentul prin sursă poate avea orice valoare. Valoarea curentului care circulă prin sursă este determinată de circuitul exterior (la care este conectată sursa de tensiune). Astfel, dacă se consideră conectată la sursă rezistența  $R$  (sau un circuit caracterizat de rezistența echivalentă  $R$ ) atunci curentul prin sursă este determinat de legea lui Ohm:

$$i = \frac{u}{R}$$

**Sursa ideală de curent** este elementul de circuit parcurs de un curent care este independent de tensiunea dintre borne. Curentul prin sursă este egal cu valoarea curentului de scurtcircuit (care apare la conectarea unui conductor ideal între borne). Tensiunea dintre bornele sursei poate avea orice valoare (este arbitrară) și este determinată de circuitul exterior (la care este conectată sursa).

**Sursele independente** – a căror valoare nu depinde de altă mărime electrică din circuit, pot avea mărimea de ieșire constantă sau variabilă, cu o lege de variație precizată. Un exemplu din prima categorie este sursa de tensiune continuă (sursa idealizată care modelează o baterie electrică) iar un exemplu de sursă variabilă este sursa de tensiune sinusoidală (sursa idealizată pentru rețeaua de alimentare de *ca*, cu o tensiunea efectivă de 220 V și o frecvență de 50 Hz).

**Pasivizarea surselor** (care se va aplica surselor independente) este operația de anularea a valorii mărimii de ieșire a acestora. Astfel:

- o sursă de tensiune ideală pasivizată va avea o tensiune nulă și se va înlocui cu acel circuit care are o tensiune nulă indiferent de curentul care îl parcurge, adică un scurtcircuit;
- o sursă ideală de curent pasivizată va avea un curent nul și se va înlocui cu acel circuit pentru care la orice tensiune rezultă un curent nul, adică cu o întrerupere de circuit.

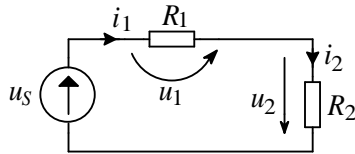
**Sursele dependente**, a căror mărime de ieșire (tensiune sau curent) depinde de cel puțin o mărime electrică din circuit (tensiune sau curent) se mai numesc și **surse comandate**. Astfel de surse sunt utilizate pentru modelarea dispozitivelor electronice active (care pot controla energia care le parcurge). În mod tipic, la aceste surse mărimea de ieșire depinde de o singură mărime electrică: fie de tensiunea dintre două noduri ale circuitului (cel puțin unul diferit de bornele sursei) fie de un curent printr-o ramură de circuit (alta decât cea unde este conectată sursa). Sursele comandate pot fi de 4 tipuri în funcție de tipul mărimii de ieșire și în funcție de tipul mărimii de comandă:

- sursă de tensiune comandată în tensiune (*SUcU*),
- sursă de tensiune comandată în curent (*SUcI*),
- sursă de curent comandată în tensiune (*SIcU*),
- sursă de curent comandată în curent (*SIcI*).

## 1.3 ANALIZA CONFIGURAȚIILOR FUNDAMENTALE DE CIRCUIT

### 1.3.1 Rezistențe în serie și divizorul de tensiune

Se consideră circuitul din figura 1.2, format dintr-o sursă de tensiune la care sunt conectate două rezistențe în serie.



**Figura 1.2.** Divizorul de tensiune;

Tensiunea la ieșire  $u_2$  este o parte a tensiunii sursei  $u_S$ , care depinde de raportul celor două rezistențe.

Deoarece circuitul nu prezintă nici o ramificație, conform primei teoreme a lui Kirchhoff, T1K (referitoare la curenți), curenții prin cele două rezistențe au aceeași valoare:  $i_1 = i_2 = i$ .

Conform teoremei a doua a lui Kirchhoff, T2K, în forma clasică, suma (algebrică) a tensiunilor de-a lungul unei bucle de circuit este nulă; T2K se poate exprima și în modul următor: căderea de tensiune între două noduri de circuit este aceeași indiferent de calea pe care se însumează tensiunile. În circuitele electronice se preferă a doua variantă, T2K scrisă “gravitațional” (de sus în jos) de obicei de la borna de alimentare la referința de potențial.

În cazul circuitului analizat, tensiunea de la bornele sursei este egală cu căderea de tensiune pe cele două rezistențe din circuit:

$$u_S = u_1 + u_2 = R_1 i_1 + R_2 i_2 = (R_1 + R_2) i \Rightarrow i (= i_1 = i_2) = \frac{u_S}{R_1 + R_2}; \quad (1.8)$$

tensiunile pe rezistențe s-au înlocuit conform legii lui Ohm și a rezultat curențul (unic) din circuit. Ecuația (1.8) arată că valoarea curențului prin cele două rezistențe este aceeași ca și curențul care ar circula printr-o singură rezistență cu valoarea  $(R_1 + R_2)$ . De aceea se spune că rezistențele în serie se adună sau rezistența echivalentă rezistențelor înseriate este suma rezistențelor respective. Curențul prin circuit fiind cunoscut, se poate calcula tensiunea pe fiecare rezistență cu legea lui Ohm:

$$u_1 = R_1 i = \frac{R_1}{R_1 + R_2} u_S, \quad u_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} u_S. \quad (1.9)$$

Tensiunea totală pe rezistențele înseriate se distribuie proporțional cu valoarea fiecărei rezistențe.

Circuitul considerat se numește **divizor de tensiune**; tensiunea  $u_2$  de la ieșirea divizorului se determină cu relația (1.9) care se numește regula divizorului de tensiune.

### 1.3.2 Circuite cu mai multe surse – teorema superpoziției

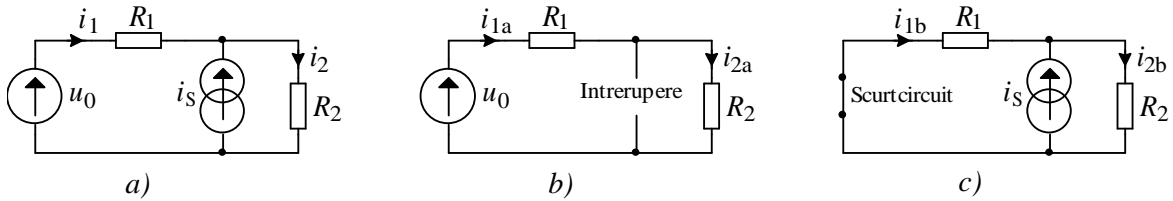
Calcularea directă a circuitelor care conțin mai multe surse poate fi o problemă dificilă. O metodă de rezolvare a acestor circuite, aplicabilă circuitelor liniare, constă din însumarea efectelor produse de fiecare sursă considerată separat. Această metodă se bazează pe teorema suprapunerii de efecte sau **teorema superpoziției** care se poate enunța astfel:

Curențul care se stabilește într-o ramură a unei rețele liniare în care acționează mai multe surse, este egal cu suma algebrică a curenților pe care i-ar stabili în acea ramură fiecare dintre surse în ipoteza că ar acționa singură în rețea, cu celelalte surse pasivizate (anulate).

Teorema superpoziției este o consecință a caracterului liniar al teoremelor lui Kirchhoff aplicate circuitelor electrice liniare. Prin aplicarea teoremei superpoziției calculele într-un circuit la care acționează mai multe surse simultan se simplifică, deoarece se consideră doar efectul unei singure surse la un moment dat.

### Exemplu de calcul

Să se determine curenții prin circuitul din figura 1.4.a.



**Fig. 1.4.** Exemplu de aplicare a teoremei superpoziției: a) Circuitul complet; b) Circuitul cu sursa de curent pasivizată; c) Circuitul cu sursa de tensiune pasivizată.

Pentru rezolvarea circuitului se calculează răspunsul fiecărei surse considerate separat, presupunând cealaltă sursă pasivizată (anulată) și apoi se însumează efectele.

a) Se anulează sursa de curent; sursa de curent se înlocuiește cu o întrerupere de circuit (se pasivizează) și circuitul se simplifică conform figurii 1.4.b. Cele două rezistențe înseriate sunt parcurse de același curent:

$$i_{1a} = i_{2a} = \frac{u_0}{R_1 + R_2}.$$

b) Pentru cazul cu sursa de tensiune anulată, circuitul rezultat este cel din figura 1.4.c, adică un divizor de curent. Conform regulii divizorului de curent aplicată succesiv celor două ramuri de circuit rezultă:

$$i_{1b} = -\frac{R_2}{R_1 + R_2} i_S, \quad i_{2b} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} i_S.$$

În final prin suprapunerea efectelor se obțin valorile totale ale curenților prin rezistențe:

$$i_1 = i_{1a} + i_{1b} = \frac{u_0 - i_S R_2}{R_1 + R_2}, \quad i_2 = i_{2a} + i_{2b} = \frac{u_0 + i_S R_1}{R_1 + R_2}.$$

Verificarea rezultatelor obținute prin aplicarea directă a teoremelor lui Kirchhoff se propune ca temă; se vor obține aceleași rezultate cu un efort de calcul mai mare (prin rezolvarea unui sistem de două ecuații cu două necunoscute).

## 1.4 CIRCUITE ECHIVALENTE ȘI TEOREME DE ECHIVALENȚĂ

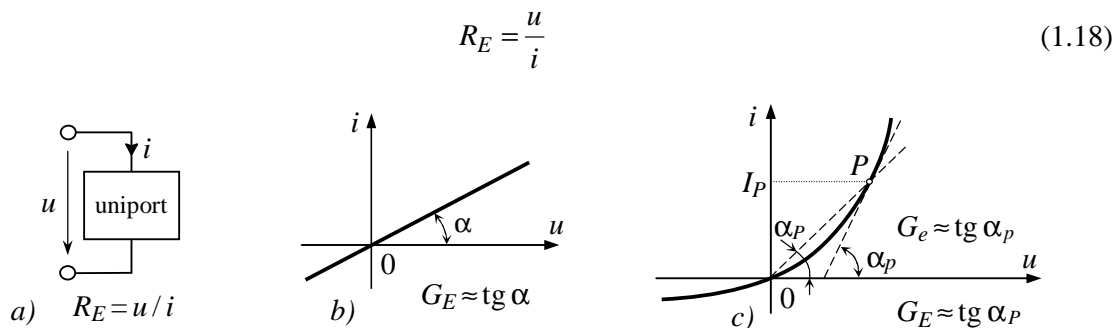
Circuitele echivalente sunt modele simplificate compuse din elemente de circuit idealizate. Se vor analiza circuitele cu o singură poartă de acces sau uniport. Prin **poartă** se înțelege o pereche de borne pentru care suma algebrică a curenților este nulă. **Circuitele** modelate pot fi **pasive** dacă primesc energie de la circuitul exterior sau **active** dacă debitează energie către circuitul extern.

Doi **uniporturi** sunt **echivalenți** dacă relația dintre curentul și tensiunea la poarta unuia este identică cu relația dintre curentul și tensiunea la poarta celuilalt.

### 1.4.1 Echivalarea unui uniport pasiv cu o rezistență

Prin aplicarea legii lui Ohm la poarta unui uniport pasiv se poate obține cel mai simplu uniport echivalent, care este rezistența echivalentă a uniportului respectiv.

Se numește **rezistență echivalentă statică**  $R_E$  a unui uniport rezistența determinată prin aplicarea legii lui Ohm în *cc* la poarta uniportului considerat:



Dacă uniportul este neliniar, caracteristica lui statică este neliniară (curbilinie), un astfel de exemplu este arătat în figura 1.7.c. Rezistența echivalentă este și ea neliniară, adică depinde de intensitatea curentului care străbate uniportul,  $I_P$ . Conductivitatea echivalentă statică este egală (mai exact proporțională) cu panta dreptei care unește originea axelor cu punctul  $P$  de pe caracteristica statică. Punctul  $P$  se numește **punct static de funcționare** (*psf*) și este definit de mărimile electrice de *cc* de la bornele uniportului.

Se numește **rezistență echivalentă diferențială**  $R_e$  a unui uniport pasiv rezistența rezultată prin aplicarea legii lui Ohm pentru diferențialele semnalelor la poarta uniportului considerat:

$$R_e = \frac{du}{di} \cong \frac{\Delta u}{\Delta i}. \quad (1.20)$$

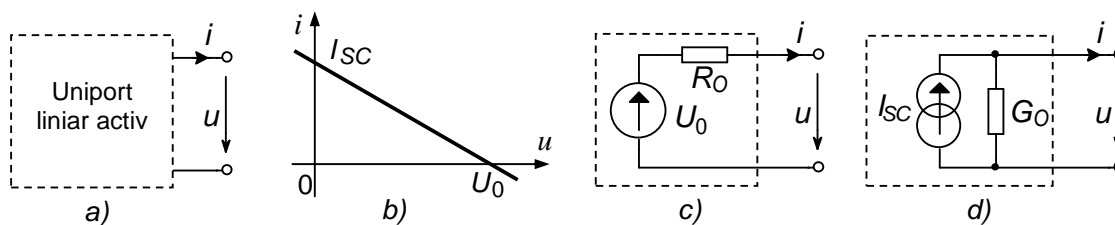
Rezistența diferențială  $R_e$  poate fi interpretată ca fiind rezistență echivalentă pentru variații mici. Pentru determinare practică a  $R_e$  se introduce o variație cunoscută a unei mărimi și se măsoară variația celeilalte mărimi.

Pentru uniportii activi liniari este frecvent folosită echivalarea lor cu un uniport format din două elemente: o sursă ideală și o rezistență, conform teoremei lui Thévenin sau Norton.

## 1.4.2 Teoremele lui Thévenin și Norton

Se consideră un uniport liniar activ oarecare cu sensurile tensiunilor și ale curentului la poarta sa asociate conform convenției de la generatoare, ca în figura 1.8.a. Deoarece uniportul este liniar, caracteristica lui (figura 1.8.b) este o dreaptă și deoarece este activ, dreapta nu trece prin origine; uniportul activ are o tensiune pozitivă  $U_0$  la un curent nul (în gol) și un curent pozitiv  $I_{SC}$  la o tensiune nulă (în scurtcircuit). Ecuația prin tăieturi a caracteristicii statice este:

$$\frac{u}{U_0} + \frac{i}{I_{SC}} = 1. \quad (1.22)$$



**Fig. 1.8.** Teoremele lui Thévenin și Norton: a) uniport liniar activ oarecare, b) caracteristica statică a uniportului liniar activ; c) sursa echivalentă Thévenin, d) sursa echivalentă Norton.

Dacă se notează:

$$R_O = \frac{U_0}{I_{SC}} \quad \text{respectiv} \quad G_O = \frac{I_{SC}}{U_0}, \quad (1.23)$$

atunci ecuația prin tăieturi poate fi scrisă sub una din următoarele două forme:

$$u = U_0 - i \cdot R_O \quad \text{sau} \quad i = I_{SC} - u \cdot G_O. \quad (1.24)$$

Aceste relații reprezintă caracteristicile statice ale uniporturilor din figura 1.8.c, respectiv figura 1.8.d. Acești uniporturi sunt echivalenți cu uniportul considerat, ceea ce se poate exprima sub forma teoremelor următoare.

**Teorema lui Thévenin:** Un uniport liniar activ oarecare este echivalent cu un uniport format dintr-o sursă de tensiune având tensiunea la borne  $U_0$ , înseriată cu o rezistență de valoare  $R_O$ . Schema din figura 1.8.c se va numi **sursă Thévenin**.

**Teorema lui Norton:** Un uniport liniar activ oarecare este echivalent cu un uniport format dintr-o sursă de curent având curentul la borne  $I_{SC}$ , legată în paralel cu o conductanță de valoare  $G_O$ . Schema din figura 1.8.d se va numi **sursă Norton**.

Poarta unui uniport activ se numește uneori **ieșire** pentru a sublinia faptul că uniportul este folosit de obicei pentru a furniza putere către exterior pe la poarta sa. Corespunzător, rezistența  $R_O$  se numește **rezistență (statică) de ieșire** (litera  $O$  este inițiala cuvântului englezesc *output* – ieșire).

Rezistența  $R_O$  are și altă interpretare decât cea din relația (1.23): este rezistența echivalentă a uniportului dat, după ce s-au pasivizat toate sursele (independente) din interiorul lui. În circuite este adesea mai simplă determinarea  $R_O$  ca fiind rezistența văzută la bornele uniportului după pasivizarea (anularea) surselor interne independente.

Aceste teoreme pot fi aplicate atât la circuitele de *cc* cât și la circuitele de *ca*; la analiza circuitelor de *ca*, în locul semnalelor de *cc* se folosesc semnale instantanee sau de *ca* iar la schema surselor echivalente se înlocuiește rezistența cu impedanța și conductanța cu admitanța.

## 1.5 NOȚIUNI ELEMENTARE DE SEMNALE ELECTRICE

Semnalul este orice mărime fizică susceptibilă de a purta informație. Semnalul electric este o mărime electrică, de obicei tensiunea sau curentul electric. Transmitanța sau factorul de transfer reprezintă raportul a două semnale (de la ieșirea, respectiv de la intrarea unui circuit electric) care au în general aceeași formă sau derivă unul din altul. Factorul de transfer poate fi adimensional (amplificare, atenuare) sau poate avea dimensiunea unei impedanțe sau a unei admitanțe.

Semnalele pot fi clasificate după mai multe criterii. Semnalele care descriu o funcție continuă în timp se numesc semnale analogice, iar cele care au valori nenule doar la valori discrete de timp sunt așa-numitele semnale discrete. Un exemplu de semnal analogic și semnalul discret corespunzător este reprezentat în figura 1.9. Dacă se reprezintă amplitudinea fiecărui eșantion al semnalului discret cu un număr finit de digiți atunci se spune despre semnal că este cuantizat sau digitalizat. rezultă amplitudinea semnalului nu ceea ce se numește un semnal digital.

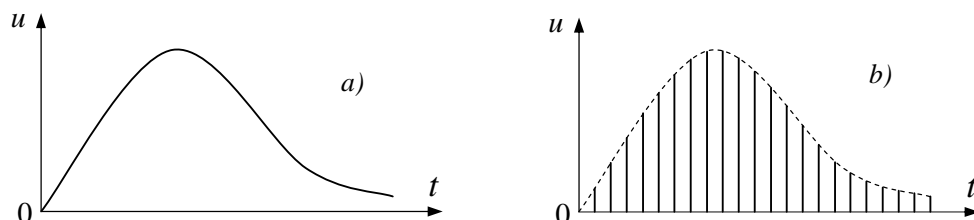
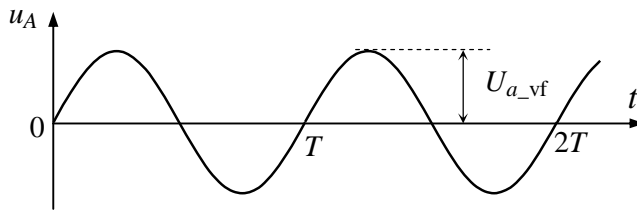


Fig. 1.9. Exemplu de semnal: a) analogic, b) discret.

În funcție de evoluția în timp semnalele pot fi periodice (sau de regim permanent), descrise de o funcție periodică (forma semnalului se repetă după o anumită perioadă, figura 1.10), de regim tranzitoriu (periodice amortizate sau aperiodice) și singulare (figura 1.9.a).

Semnalele periodice pot avea diferite forme de undă; semnalele periodice mai des întâlnite sunt cele sinusoidale, dreptunghiulare (de fapt aproximativ trapezoidale), triunghiulare, în dinți de fierăstrău sau cu formă de impulsuri scurte de comandă.

O caracterizare foarte utilă a unui semnal sau în general a oricărei funcții de timp se realizează prin spectrul său de frecvență. Descrierea semnalelor în acest mod se realizează pe baza seriilor Fourier și a transformatei Fourier, care permit reprezentarea unui semnal oarecare ca o sumă de semnale sinusoidale de amplitudini și frecvențe diferite. De aceea semnalul sinusoidal este unul dintre cele mai importante semnale.



**Figura 1.10.** Semnal sinusoidal;

Mărimi caracteristice:  
 $U_{a\_vf}$  – tensiunea de vârf,  
 $T$  – perioada semnalului.

Un semnal sinusoidal, ca cel din figura 1.10, este caracterizat de funcția:

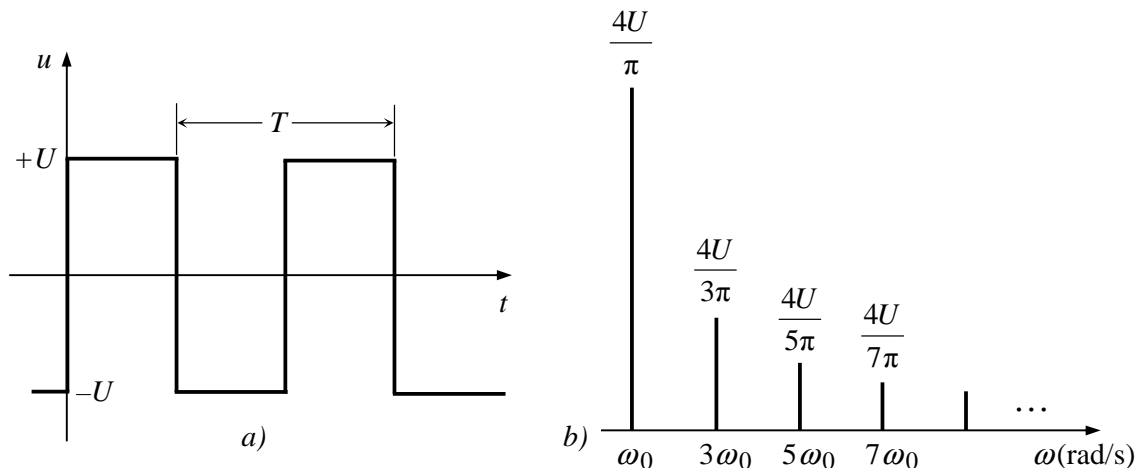
$$u_a(t) = \sqrt{2} \cdot U_a \sin \omega t = U_{a\_vf} \sin 2\pi f t. \quad (1.25)$$

unde  $U_a$  reprezintă valoarea efectivă și  $U_{a\_vf} = \sqrt{2} \cdot U_a$  valoarea de vârf (măsurate în volți), iar  $\omega$  este frecvența unghiulară în radiani pe secundă  $\omega = 2\pi f$ ,  $f$  este frecvența semnalului în hertzi și  $T = 1/f$  este perioada acestuia. Un semnal sinusoidal este complet caracterizat de amplitudine, frecvență și defazaj (față de o referință de timp aleasă arbitrar).

Un semnal periodic oarecare, poate fi exprimată ca o sumă infinită de funcții sinusoidale a căror frecvențe sunt mulți întregi ale frecvenței semnalului analizat. De exemplu semnalul dreptunghiular simetric din figura 1.11.a poate fi exprimat ca o sumă de funcții sinusoidale:

$$u(t) = \frac{4U}{\pi} \left( \sin \omega_0 t + \frac{1}{3} \sin 3\omega_0 t + \frac{1}{5} \sin 5\omega_0 t + \dots \right). \quad (1.26)$$

unde  $U$  este amplitudinea semnalului dreptunghiular și  $\omega_0 = 2\pi/T$  este frecvență unghiulară fundamentală ( $T$  fiind perioada semnalului dreptunghiular).



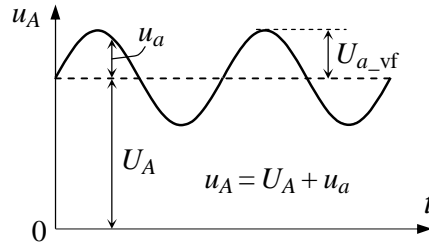
**Fig. 1.11.** Semnal dreptunghiular simetric: a) forma de undă în timp, b) spectrul de frecvență.



Componentele sinusoidale ale seriei din ecuația (1.26) reprezintă spectrul de frecvențe ale semnalului dreptunghiular. Acest spectru poate fi reprezentat grafic ca în figura 1.11.b. Semnalul dreptunghiular are foarte multe armonice superioare. Deoarece amplitudinea armonicilor scade, seria infinită poate fi trunchiată, rezultatul fiind o aproximație a semnalului dreptunghiular.

### 1.5.1 Convenția de notații

În general, o mărime electrică are o componentă de curent alternativ (sau de semnal), suprapusă peste componenta de curent continuu (sau de polarizare), ca de exemplu în figura 1.12.



**Figura 1.12.** Convenția de notații;  
Semnalul sinusoidal  $u_a$  suprapus  
peste tensiunea de polarizare  $U_A$ .

Pentru a face distincție între diferitele tipuri de semnale se va utiliza următoarea convenție de notații:

- mărimile instantanee se notează cu literă mică și indice literă mare:  $u_A, i_C$ ;
- componenta de curent continuu (*cc*) sau de polarizare, constantă în timp (sau valoarea medie a mărimii instantanee variabilă în timp), se notează cu literă mare și indice literă mare:  $U_A, I_C$ ;
- componenta de curent alternativ (*ca*) sau de semnal, variabilă în timp (care are o valoare medie nulă), se notează cu literă mică și indice literă mic:  $u_a, i_c$ ;
- valoarea efectivă a componentei de *ca* se notează cu literă mare și indice literă mică:  $U_a, I_c$ .

Semnificația acestor notații reiese din figura 1.12, în care s-a considerat un semnal sinusoidal  $u_a$  suprapus peste o tensiune de *cc*  $U_A$ .

**Referința de potențial** sau **masa** (electrică) a circuitului reprezintă traseul electric de potențial nul, față de care sunt referite în mod normal tensiunile dintr-un circuit electric. Simbolurile mai des utilizate pentru traseul de masă sunt prezentate în figura alăturată. De regulă, masa electrică este o legătură comună tuturor circuitelor care alcătuiesc un sistem electric și poate fi legată sau nu la pământ (prin borna de împământare a rețelei de alimentare cu energie electrică, de exemplu). În cazul în care traseul de masă este diferit de cel de împământare, se folosesc simboluri diferite pentru cele două trasee, de exemplu primul dintre simboluri pentru traseul de masă și cel de-al doilea pentru împământare.

