

Capitolul 1

NOȚIUNI INTRODUCTIVE

1.1.GENERALITĂȚI

1.1.1. Noțiunea de semnal electric

- Majoritatea circuitelor electronice prelucrează semnale electrice, generate de diverse surse. Prelucrarea constă în modificarea unuia sau mai multor parametri ai semnalului electric ca: amplitudine, formă, frecvență etc.
- **Semnalul electric** este o mărime electrică care variază în timp. Variația în timp a semnalului este purtătoare de informație. Cu alte cuvinte, semnalul electric este o reprezentare a informației, provenită de la o anumită sursă.

- Un semnal electric are ca suport fizic o mărime electrică. Mărimile electrice cele mai uzuale, folosite ca suport fizic pentru semnalele electrice sunt tensiunea electrică și curentul electric, pe care le vom folosi exclusiv pe parcursul cursului.
- **Observație.** Unii specialiști consideră că tensiunea continuă, respectiv curentul continuu nu reprezintă semnale, alții, în schimb, le consideră semnale, cu condiția să fie prelucrate de către unul sau mai multe circuite electronice. De exemplu, există amplificatoare de curent continuu, la care mărimea electrică prelucrată poate fi continuă, deci semnalul este reprezentat de mărimea respectivă. În acest curs, subscriem la cea de-a doua variantă.

- Semnalul electric poate fi exprimat în **domeniul timp**, când el este descris matematic prin intermediul unei funcții, care are ca argument timpul, respectiv în **domeniul frecvență**, când este descris matematic prin intermediul unei funcții, care are ca argument frecvența. În cele ce urmează, vom utiliza exprimarea temporală (în domeniul timp) a semnalelor.
- Notăm semnalul cu $s(t)$ sau \underline{S} (simbolizarea complexă).
- O clasificare a semnalelor, utilă demersului nostru este în:
 - semnale analogice;
 - semnale digitale.

- **Semnalul analogic** este semnalul la care mărimea sa variază în mod continuu în timp. Semnalele analogice sunt prelucrate de **circuite electronice analogice**.
- **Semnalul digital (numeric)** este semnalul caracterizat de tranziții bruște între două nivele aflate în două domenii disjuncte de valori, fiecărui domeniu fiindu-i asociată o valoare logică. Semnalele digitale sunt prelucrate de **circuite electronice digitale**.

Exemple de semnale electrice

- *Semnale analogice periodice*

Unul dintre cele mai importante semnale analogice periodice este **semnalul sinusoidal (semnalul armonic)**. El are o proprietate care-l face unic printre semnale și anume, este singurul semnal care, aplicat la intrarea unui sistem liniar se transmite nedistorsionat la ieșire.

La modul general:

$$s(t) = S_m \sin(\omega t + \varphi_s)$$

$$\underline{S} = S e^{j\varphi_s}$$

- Semnalul sinusoidal poate fi:
-tensiune:

$$v(t) = V_m \sin(\omega t + \varphi_V)$$

$$\underline{V} = V e^{j\varphi_V}$$

- curent:

$$i(t) = I_m \sin(\omega t + \varphi_I)$$

$$\underline{I} = I e^{j\varphi_I}$$

- Reprezentarea ca funcție de timp a semnalului sinusoidal este dată în figura 1.1, iar cea fazorială, corespunzătoare reprezentării complexe, este dată în figura 1.2.

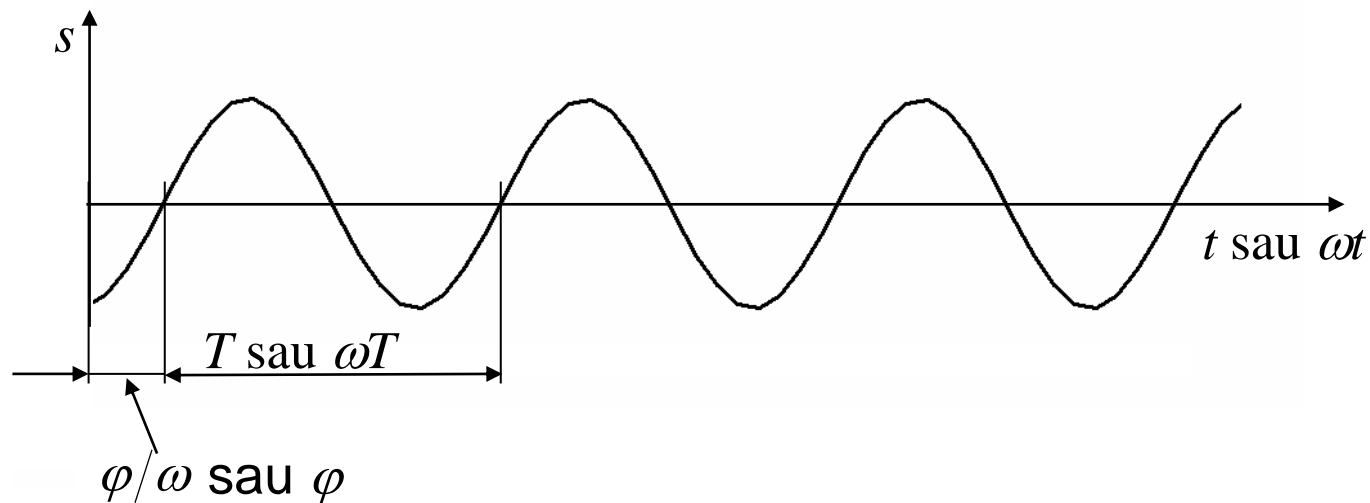


Fig. 1.1. Reprezentarea ca funcție de timp a semnalului sinusoidal

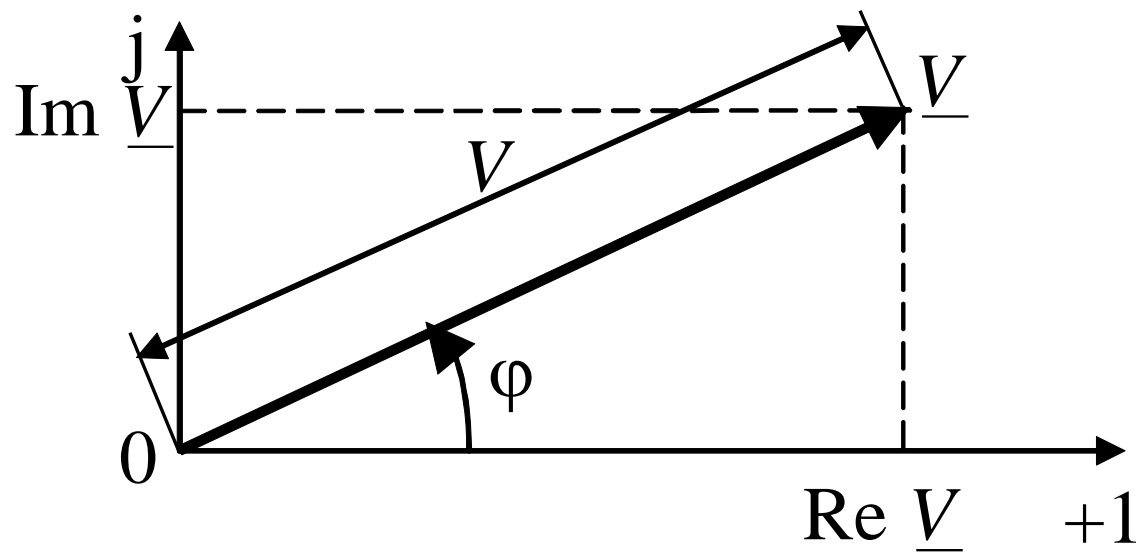


Fig. 1.2. Reprezentarea fazorială
a semnalului sinusoidal

- *b) Semnale analogice aperiodice*

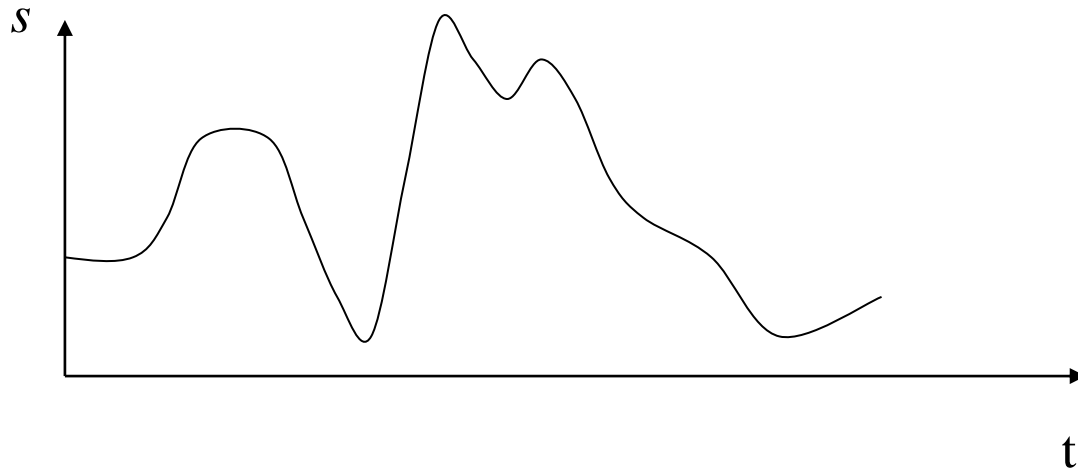


Fig. 1.3. Semnal analogic
aperiodic

c) Semnale digitale

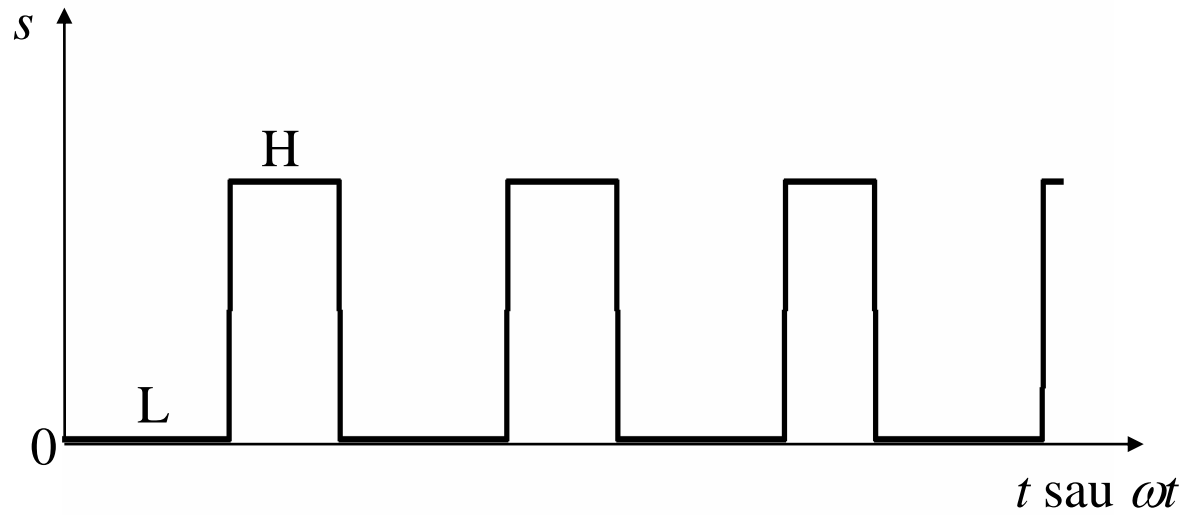


Fig. 1.4. Semnal digital

- Semnalele digitale apar ca o succesiune de impulsuri dreptunghiulare la care, cele două paliere corespund celor două nivele H (High=înalt) și L (Low=jos). Celor două nivele L și H li se pot atribui valorile booleene astfel:
- $L=0$ și $H=1$, caz în care se spune că logica este pozitivă;
- $L=1$ și $H=0$, caz în care se spune că logica este negativă.

1.1.2. Semnale modulate

- Procesul de transferare prin care caracteristicile unui semnal de joasă frecvență sunt transferate în domeniul frecvențelor înalte se numește **modulație**.
- Semnalul de joasă frecvență se numește **semnal modulator**. Celălalt semnal de intrare este un semnal sinusoidal de înaltă frecvență, căruia i se vor modifica prin modulație anumite caracteristici. El se numește **semnal purtător**. semnalul rezultat în urma modulației se numește **semnal modulat**.

- Modulația poate fi continuă sau discretă.
- În **modulația continuă** semnalul purtător este un semnal sinusoidal de frecvență înaltă, căruia i se vor modifica prin modulație anumite caracteristici.
- Prin modificarea în funcție de ritmul semnalului modulator a amplitudinii, frecvenței sau a fazei semnalului deosebim:
 - **modulație de amplitudine (MA),**
 - **modulație de frecvență (MF),**
 - **modulație de fază (MP).**

Între modulația de frecvență și cea de fază există o serie de analogii, de aceea o vom exemplifica doar pe prima.

- **Modulația discretă sau de impulsuri** constă în modificarea, în ritmul semnalului modulator, a unei succesiuni periodice de impulsuri. În funcție de parametrul afectat, deosebim:
 - **modulație de amplitudine a impulsurilor (MAI);**
 - **modulație de durată a impulsurilor (MDI);**
 - **modulație de poziție a impulsurilor (MPI);**
 - **modulația de frecvență a impulsurilor (MFI).**MDI, MPI și MFI sunt modulații temporale ale impulsurilor.

- Operația inversă modulării, prin care se extrage semnalul de joasă frecvență din semnalul modulat, se numește **demodulare**.
- În figura 1.5 sunt prezentate semnalele MA și MF.

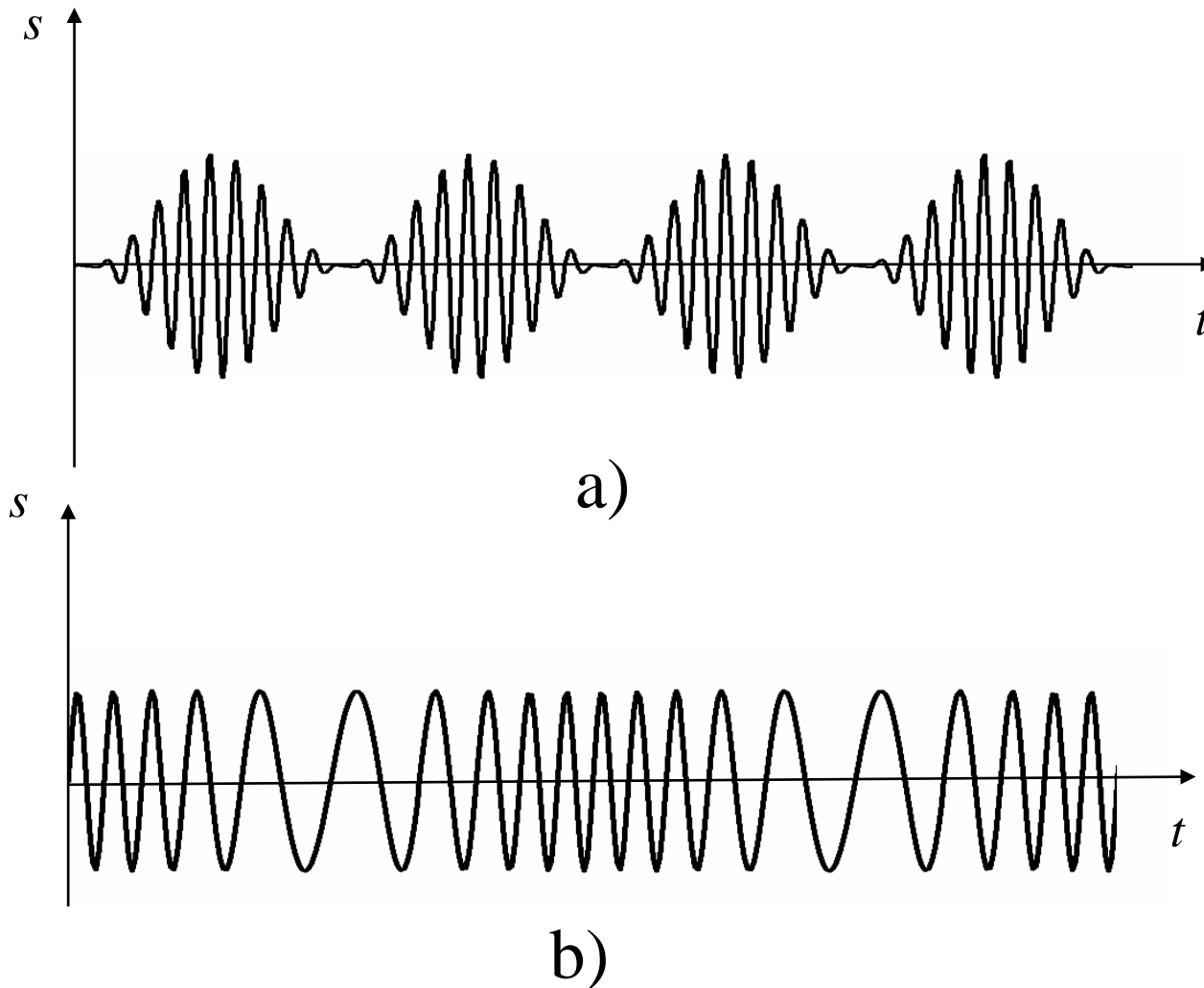


Fig. 1.5. Semnale modulate continuu:
în amplitudine; b) în frecvență

1.1.3. Componenta continuă și componenta variabilă ale unei mărimi electrice

În general, în electronică, tensiunea electrică și curentul electric sunt mărimi care variază în timp. Vom considera cazul tensiunii electrice, convențiile rămânând valabile și în cazul curentului electric. În electronică, tensiunea electrică se notează cu litera v , iar curentul electric cu litera i .

- **Tensiunea electrică totală** este:

$$v_A(t) = V_A + v_a(t)$$

unde:

- V_A este **componenta continuă** (medie, de repaus);
- $v_a(t)$ este **componenta variabilă**.
- Dacă componenta variabilă este un semnal sinusoidal, ea are expresia:

$$v_a(t) = V_a \sin \omega t$$

unde V_a este amplitudinea semnalului.

În cazul curentului electric, se poate scrie relații similare.

- Prin convenție:
 - mărimea totală** se notează cu literă mică și indicele asociat cu literă mare (tensiunea cu v_A , curentul cu i_A);
 - componenta continuă** se notează cu literă mare și indicele asociat cu literă mare (tensiunea cu V_A , curentul cu I_A);
 - componenta variabilă** se notează cu literă mică și indicele asociat cu literă mică (tensiunea cu v_a , curentul cu i_a);

- **Observație**-Cu literă mare se notează mărimile continue, ca de exemplu: tensiunile electromotoare continue, coordonatele unor puncte remarcabile (punctul static de funcționare $M(V_A, I_A)$), etc.
- Tensiunea totală și componentele sunt exprimate grafic în figura 1.6.

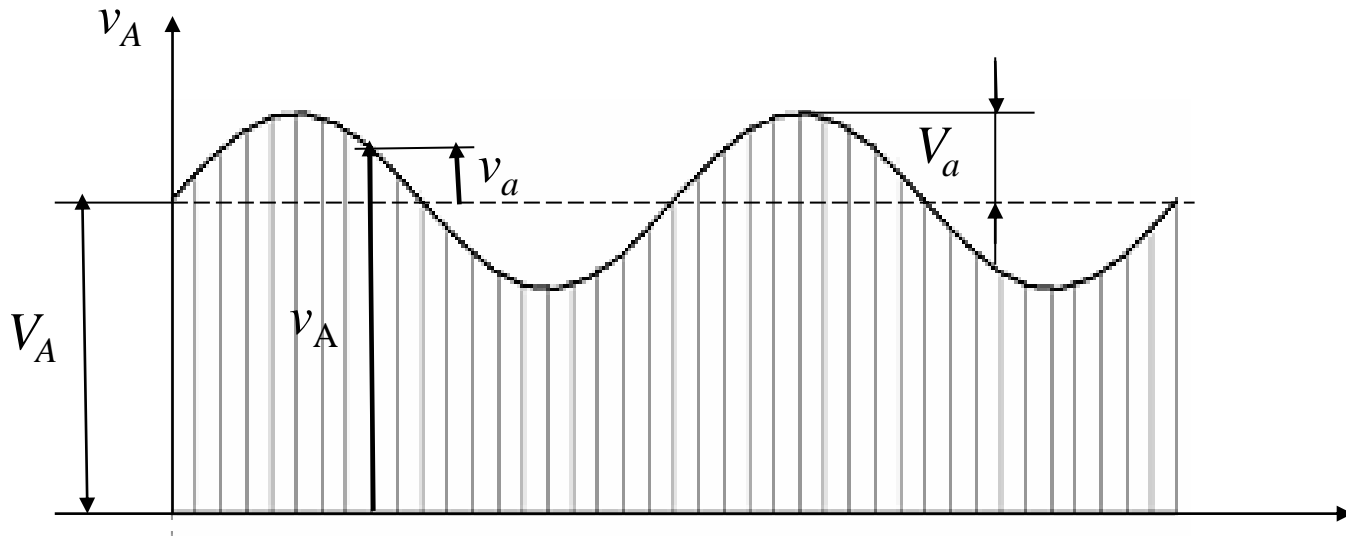


Fig. 1.6. Reprezentarea tensiunii totale
și a componentelor sale

1.2. COMPONENTE ELECTRONICE

- **Componenta electronică** este o unitate constructivă indivizibilă fizic, cu borne de interconectare proprii, care intră în alcătuirea circuitelor electronice și care apare ca un tot unitar din punctul de vedere al prezentării, nominalizării, testării și exploatării.
- Clasificarea componentelor electronice se face, în principal, după capacitatea de a prelucra sau nu semnalele. Din acest punct de vedere, componentele electronice pot fi:
 - componente pasive,
 - componente active.

- **Componentele pasive** nu pot prelucra semnalele electrice, pot conduce curentul electric și pot disipa și/sau acumula energie electrică sau magnetică. Componentele pasive sunt reprezentate, în general, prin dipoli și pot fi caracterizate complet funcțional printr-o singură mărime electrică. Ca exemple amintim: rezistoarele, condensatoarele, bobinele.
- **Componentele active** pot îndeplini funcții de prelucrare a semnalelor ca: amplificarea, redresarea, etc. Alimentate cu curent electric se comportă ca o sursă de energie electrică comandată de către o mărime electrică (curent sau tensiune). Ca exemple amintim: tranzistoarele, diodele, tiristoarele, etc.

- **Observație.** În accepțiunea unor autori, doar acele dispozitive care pot amplifica în putere sunt active, deci diodele, neavând această capacitate ar trebui să fie considerate componente pasive. Un alt argument în favoarea acestui lucru este faptul că ele sunt reprezentate ca dipoli și nu ca și cuadripoli.
- Orice descriere a comportării electrice a unei componente, considerată la bornele sale sau la punctele în care este conectat într-un circuit, constituie un circuit echivalent (model). Pentru a modela o componentă trebuie să se măsoare comportarea electrică a dispozitivului la bornele sale, iar proprietățile măsurate trebuie folosite direct pentru modelarea componentei în cauză.

- Proprietățile măsurate pot fi prezentate sub formă tabelară, formă grafică sau sub forma unor relații funcționale stabilite empiric. Orice model este o reprezentare teoretică a componentei reale pe care o reprezintă. De exemplu, în reprezentarea unui model se folosesc **elemente de circuit idealizate**, care sunt abstracții definite matematic prin relații simple între curenți și tensiuni. Astfel, dacă: rezistorul, condensatorul, bobina și bateria sunt componente, atunci: rezistența, capacitatea, inductanța și sursa de tensiune sunt elemente de circuit.

1.3. CIRCUITE LINIARE, CIRCUITE NELINIARE. REGIMURI DE SEMNAL

- Circuitele electronice, în funcție de componentele care intră în alcătuirea lor și de regimurile funcționale ale acestora pot fi circuite liniare și circuite neliniare.
- Privit prin prisma teoriei sistemelor, un circuit liniar este un **sistem liniar**, iar un circuit neliniar este un **sistem neliniar**.

- Semnalul aplicat la intrarea unui sistem (circuit) se numește **semnal de intrare** sau **excitație**, iar semnalul rezultat la ieșirea sistemului în urma aplicării unui semnal de intrare se numește **semnal de ieșire** sau **răspuns**.
- **Circuitele liniare** sunt acele circuite a căror funcționare este descrisă de o ecuație diferențială liniară între excitație și răspuns, deci o relație liniară între răspuns și excitație există.

- **Notă-O ecuație diferențială liniară** constă dintr-o sumă de termeni liniari în care variabilele (excitația și răspunsul) și derivatele lor în raport cu timpul intervin numai la puterea întâi, deci este de forma:

$$\begin{aligned} a_n \frac{d^n y}{dt^n} + a_{n-1} \frac{d^{n-1} y}{dt^{n-1}} + \dots + a_1 \frac{dy}{dt} + a_0 y(t) = \\ = b_m \frac{d^m x}{dt^m} + b_{m-1} \frac{d^{m-1} x}{dt^{m-1}} + \dots + b_1 \frac{dx}{dt} + b_0 x(t) \end{aligned}$$

- În cazul unui circuit liniar este adevărat **principiul suprapunerii efectelor**, cunoscut și sub numele de **principiul superpoziției**, exprimat astfel:

Dacă y_1 este răspunsul sistemului liniar la excitația x_1 și y_2 este răspunsul sistemului liniar la excitația x_2 , atunci răspunsul acestuia la excitația $x_1 + x_2$ va fi $y_1 + y_2$, iar răspunsul la excitația kx_1 va fi ky_1 .

- **Circuitele neliniare** sunt acele circuite a căror funcționare este descrisă de o ecuație diferențială neliniară, deci o relație neliniară între răspuns și excitație. Ecuația diferențială are următoarea formă generală:

$$\frac{d^n y}{dt^n} = f\left(y, \frac{dy}{dt}, \frac{d^2 y}{dt^2}, \dots, \frac{d^{n-1} y}{dt^{n-1}}, x, \frac{dx}{dt}, \frac{d^2 x}{dt^2}, \dots, \frac{d^m x}{dt^m}, t\right)$$

unde f este o funcție neliniară.

În cazul acestor circuite principiul superpoziției nu mai este valabil.

- Dintre componentele electronice, componentele care au un comportament electric liniar sunt cele pasive, adică: rezistoarele, condensatoarele și bobinele, modelate prin elementele de circuit: rezistență (R), capacitate (C) și inductanță (L). Circuitele electrice formate numai din componente pasive au, la rândul lor, un comportament liniar.
- Anumite componente pasive cum sunt rezistoarele neliniare precum și componentele active de tipul diodelor, tranzistoarelor, tiristoarelor au un comportament electric neliniar. În consecință, circuitele electronice care au în alcătuire astfel de componente au un comportament neliniar.

- În anumite condiții, caracteristicile statice ale dispozitivelor active pot fi liniarizate pe porțiuni, adică exprimate prin zone drepte, considerate ca **zone liniare** ale caracteristicii statice. Limitarea funcțională a unui dispozitiv la una din zonele liniare determină un **regim de funcționare liniar** al acestui dispozitiv. Un circuit electronic care are în componență dispozitive electronice cu regim de funcționare liniar este un **circuit liniar**.

- **Regimul dinamic de semnal mic**

Regimul dinamic de semnal mic este un regim funcțional întâlnit la dispozitivele electronice active, deci implicit și în circuitele electronice (ex. amplificatoare) din care acestea fac parte. El se caracterizează printr-o dependență liniară a semnalului de ieșire de semnalul de intrare. Regimul dinamic de semnal mic se caracterizează prin variații mici ale semnalului, situate într-un interval relativ restrâns în jurul unor componente continue, interval în care comportarea dispozitivului electronic poate fi descrisă prin ecuații liniare.

- În regim de semnal mic, în vederea analizei circuitului din care face parte, dispozitivul electronic poate fi înlocuit printr-un circuit echivalent, format din elemente liniare, ale căror valori depind, în general, de punctul static de funcționare (dat de componentele continue ale curenților și tensiunilor prin circuit). Variațiile semnalelor sunt mici, dar vitezele de variație în timp nu sunt neglijabile, astfel încât acumulările de sarcini electrice în dispozitiv trebuie luate în considerare. În acest regim funcțional, semnalul de ieșire nu este distorsionat în raport cu semnalul de intrare, așa cum se observă și în figura 1.7, unde răspunsul la excitație sinusoidală este tot semnal sinusoidal, între cele două semnale putând să apară un defazaj oarecare.

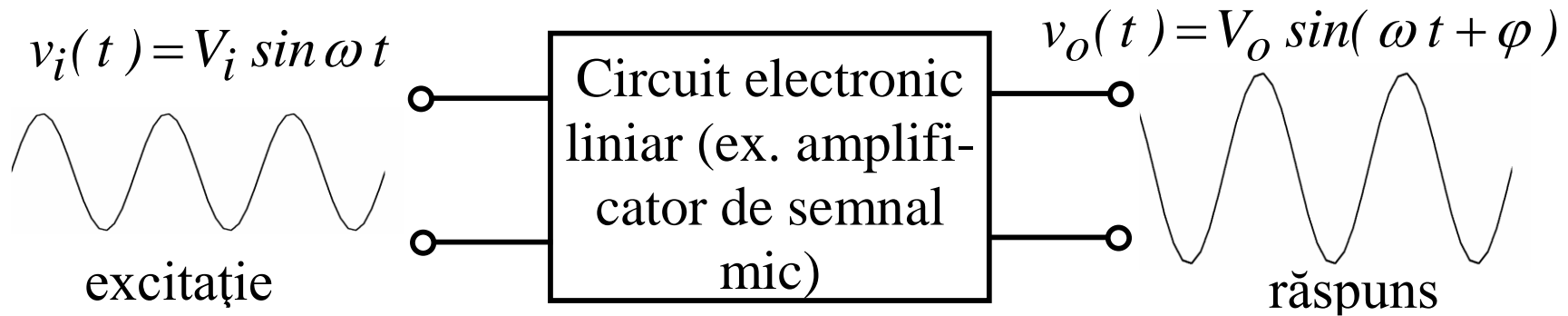


Fig. 1.7. Răspunsul circuitului electronic liniar la excitație sinusoidală în regim dinamic de semnal mic

- **Regimul dinamic de semnal mare**

Regimul dinamic de semnal mare este un regim funcțional întâlnit la dispozitivele electronice active, deci implicit și în circuitele din care fac parte dispozitivele respective. El se caracterizează printr-o dependență neliniară a semnalului de ieșire de semnalul de intrare. O altă particularitate constă în faptul că mărimea semnalului aplicat la intrare este prea mare pentru ca porțiunea de interes funcțional din caracteristica statică să mai poată fi aproximată doar cu o singură zonă liniară fără a afecta major caracteristicile răspunsului. Astfel, semnalul de ieșire rezultă distorsionat în raport cu semnalul de intrare (fig. 1.8).

- Descrierea funcțională a dispozitivelor nu mai poate fi făcută prin intermediul unor ecuații liniare, iar pentru a analiza funcționarea unui circuit, dispozitivele nu se pot înlocui prin circuite echivalente liniare. În acest regim, pentru analiza și proiectarea circuitelor, se folosesc familii de caracteristici și metode grafo-analitice.

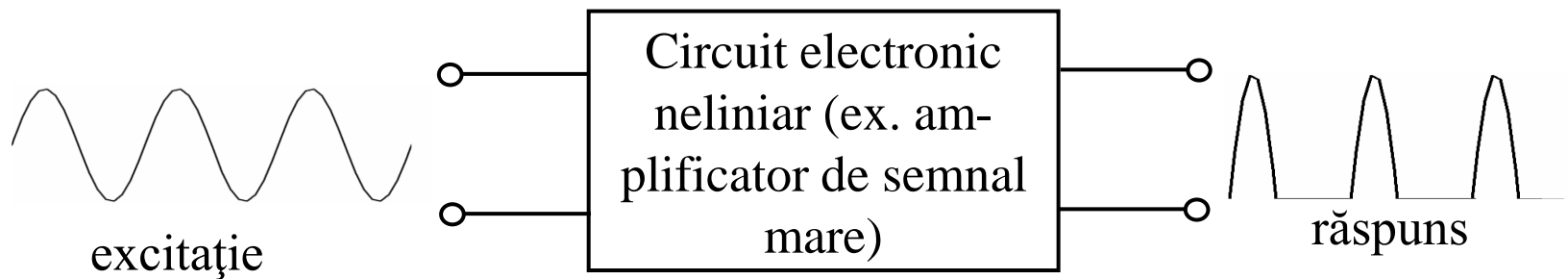


Fig. 1.8. Răspunsul circuitului electronic neliniar la excitație sinusoidală în regim dinamic de semnal mare