

1 Semnale și instrumente pentru generarea lor

1.1 Introducere (definiție, natura fizică, tipuri principale)

Semnalele reprezintă mărimi fizice utilizate pentru transmiterea sau stocarea mesajelor sau pentru testarea sistemelor. Este dificil de dat o definiție suficient de generală, dar și de convingătoare sub aspect practic.

Din prin punct de vedere matematic semnalul caracterizează o dependență de timp. În mod frecvent, semnalele utilizate pentru testarea sistemelor sunt reprezentabile prin funcții de timp.

Din punct de vedere al naturii lor fizice, există o mare varietate. Pot fi semnale de natură electrică, ce se materializează prin variații ale tensiunii sau curentului electric, semnale optice (variația intensității luminoase), semnale acustice (variația presiunii sonore). În cele ce urmează, ne vom concentra atenția asupra semnalelor electrice. Având în vedere disponibilitățile foarte mari ce există în prelucrarea, transmiterea, stocarea semnalelor electrice, prezintă interes transformarea semnalelor de diverse naturi fizice în semnale electrice și invers. Acest lucru este realizat de dispozitive numite traductori. De exemplu, un microfon transformă un semnal acustic într-un semnal electric, un difuzor efectuează transformarea inversă.

O posibilă clasificare împarte semnalele în două mari categorii:

- Semnale deterministe, a căror evoluție în timp este cunoscută, complet determinată și care pot fi de regulă descrise prin funcții de timp. În această categorie se încadrează de exemplu, semnalele utilizate în testarea circuitelor, pentru generarea cărora există instrumente specializate.
- Semnale aleatoare (întâmplătoare), care pot fi caracterizate doar prin legi statistice. Un asemenea semnal este zgomotul termic ce apare între terminalele oricărui rezistor. Conceptul de semnal aleator este foarte important în domeniul comunicațiilor, unde multe semnale cu o evoluție complexă sau imprevizibilă, cum sunt de exemplu semnalele vocale, pot fi asimilate unor semnale aleatoare (figura 1.1).

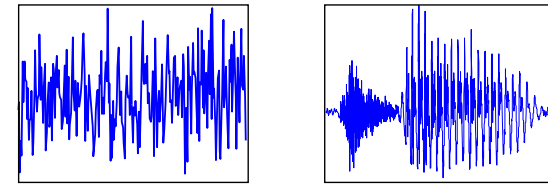


Figura 1.1. Semnale aleatoare (zgomot alb, semnal vocal etc.)

1.1.1 Semnal sinusoidal. Principalii parametri.

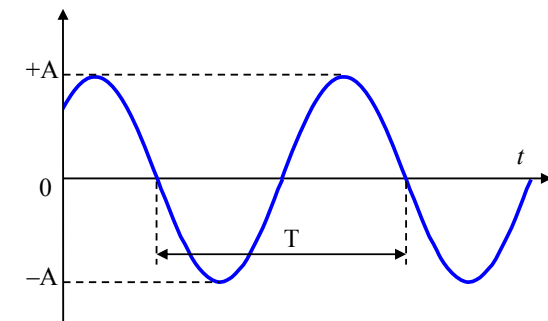


Figura 1.1. Parametrii semnalului sinusoidal

Este definit prin:

$$x(t) = A \cos(\omega t + \varphi) \quad (1.1)$$

în care

- A este amplitudinea semnalului.
- ω este frecvența unghiulară, exprimată în radiani/sec.
- T este perioada semnalului. Între frecvența unghiulară ω , frecvența f și perioada T a semnalului există relațiile

$$\begin{aligned} \omega &= 2\pi f \\ f &= \frac{1}{T} \end{aligned} \quad (1.2)$$

- φ este faza inițială. Importanța acestui parametru devine semnificativă atunci când se compară două semnale sinusoidale de aceeași frecvență

$$\begin{aligned} x_1(t) &= A_1 \cos(\omega t + \varphi_1) \\ x_2(t) &= A_2 \cos(\omega t + \varphi_2) \end{aligned} \quad (1.3)$$

În acest caz diferența $\varphi = \varphi_1 - \varphi_2$ reprezintă defazajul dintre cele două semnale.

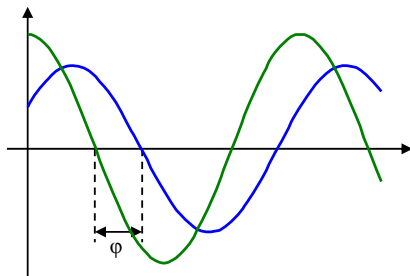


Figura 1.2. Două sinusoide defazate

În afară de parametrii prezentați mai sus și cuprinși în relația de definiție, mai prezintă interes:

- Valoarea eficace, care în cazul semnalului sinusoidal este dată de

$$A_{ef} = \frac{A}{\sqrt{2}} \quad (1.4)$$

- Amplitudinea vârf-vârf

$$A_{vv} = 2A \quad (1.5)$$

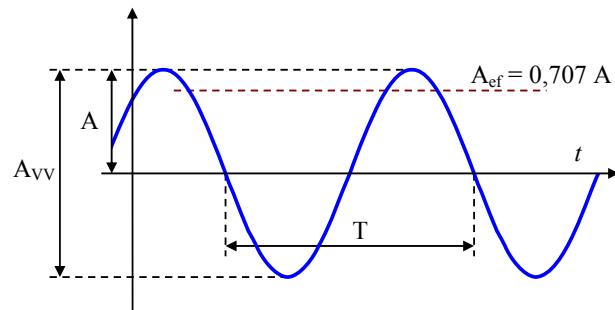


Figura 1.3. Amplitudinea eficace și amplitudinea vârf-vârf

Semnalele utilizate în electronică acoperă un domeniu foarte larg de frecvențe. De exemplu:

- Oscilațiile cu frecvențe cuprinse între câteva zeci de Hz și circa 20 kHz pot fi percepute de urechea umană, motiv pentru care acest domeniu este considerat al frecvențelor audio (AF- audiofrecvență).
- Oscilațiile de frecvențe mai mari ca 100kHz pot fi folosite pentru transmiterea informației prin mijloace radio, putând fi radiate în spațiu cu ajutorul unor antene. De aceea sunt uneori numite semnale de radiofrecvență (RF). Limita superioară a acestui domeniu a crescut mult, ajungând în domeniul zecilor de gigahertzi.

- Semnalele de frecvențe foarte mari necesită o tratare specifică, făcând apel la conceptul de *circuite cu constante distribuite*. Acest concept se aplică în cazul când lungimea de undă $\lambda = \frac{c}{f}$ devine comparabilă cu dimensiunile fizice ale circuitelor. Pentru circuitele de dimensiuni uzuale aceasta înseamnă circa 0,5-1 GHz. Semnalele aparținând acestui domeniu sunt frecvent numite *microunde*. În acest curs nu ne vom referi la acest domeniu.

O particularitate interesantă a acestui tip de semnale constă în faptul că aplicând un semnal sinusoidal de o anumită frecvență la intrarea unui circuit liniar, se obține la ieșirea acestuia tot un semnal sinusoidal, de aceeași frecvență, dar eventual de altă amplitudine și de altă fază.

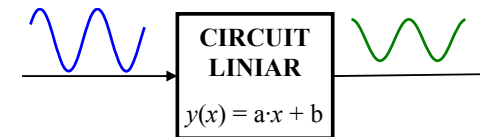


Figura 1.4. Comportarea circuitelor liniare la semnal sinusoidal

Nu la fel stau lucrurile în cazul unui circuit neliniar.

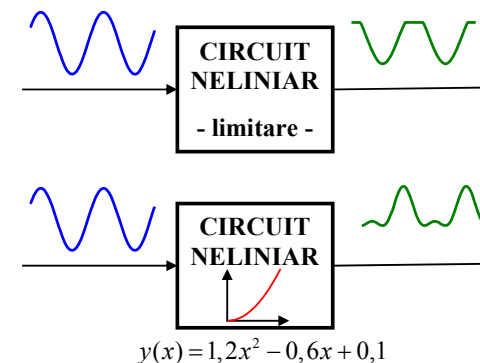


Figura 1.5. Comportarea circuitelor neliniare la semnal sinusoidal

1.2 Semnale periodice

1.2.1 Definiție

Semnalele periodice sunt semnalele care se repetă după un interval de timp T numit *perioada* semnalului

$$x(t + kT) = x(t), \quad \forall k \in \mathbb{Z} \quad (1.6)$$

1.2.2 Exemple

În continuare sunt prezentate câteva exemple frecvent întâlnite.

- **Semnalul sinusoidal** prezentat mai înainte este periodic cu perioada T .
- **Semnal sinusoidal redresat monoalternanță.**

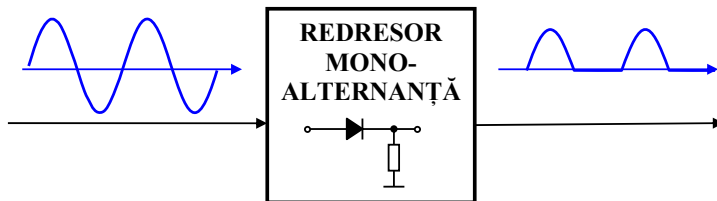


Figura 1.6. Semnal sinusoidal redresat monoalternanță

Redresarea este operația de transformare a unui curent alternativ într-unul continuu. Semnalul de la ieșirea schemei din figură nu este continuu, dar are o componentă continuă și componente alternative. Acestea din urmă pot fi eliminate prin filtrare.

- **Semnal sinusoidal redresat dublă alternanță.**

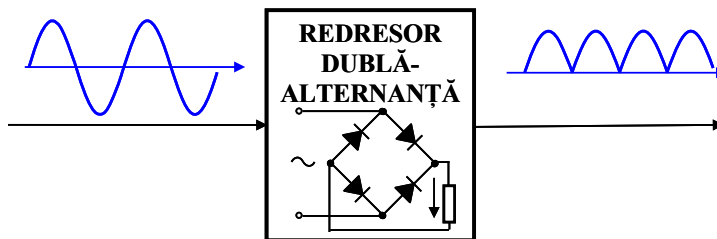


Figura 1.7. Semnal sinusoidal redresat dublă alternanță

- **Semnale dreptunghiulare.** Semnalul dreptunghiular, fiind caracterizat prin două nivele, poate constitui suportul fizic pentru reprezentarea în formă binară a semnalelor numerice. Cele două nivele vor corespunde celor două valori logice: “0” și “1”. Semnalul dreptunghiular simetric este caracterizat prin $A_+ = A_-$ și durate egale pentru cele două stări.
- **Semnale triunghiulare și dinte de fierăstrău** (saw-tooth).

În figura 1.8 sunt prezentate principalele tipuri de semnale periodice:

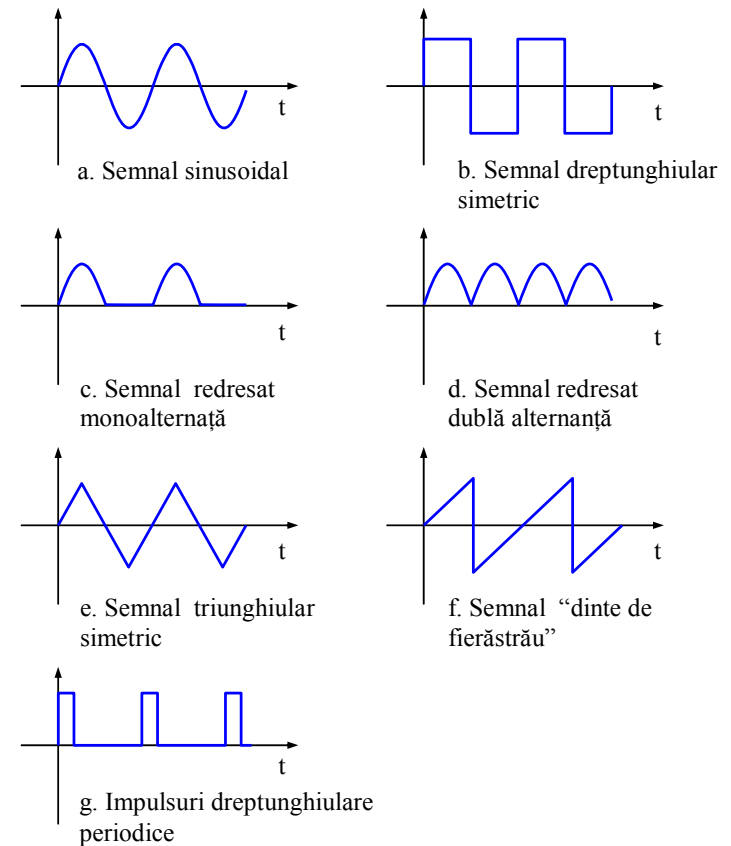


Figura 1.9. Tipuri de semnale periodice

1.2.3 Parametrii semnalelor periodice

Următorii parametri pot fi utilizați pentru caracterizarea semnalelor periodice:

- T – perioada de repetiție;
- A_+ – amplitudinea vârfului pozitiv – valoarea maximă a semnalului raportată la nivelul de zero;
- A_- – amplitudinea vârfului negativ – valoarea minimă a semnalului raportată la nivelul de zero;
- A_{vv} – amplitudinea vârf-vârf – diferența între valoarea maximă și valoarea minimă a semnalului;

$$A_{vv} = A_+ - A_- \quad (1.7)$$

- Valoarea efectivă (RMS – root mean square) – definită prin

$$A_{ef} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_t^{t+T} x^2(t) dt} \quad (1.8)$$

Tensiunea efectivă este tensiunea continuă care dezvoltă aceeași putere medie printr-o rezistență de 1Ω ca și semnalul periodic respectiv.

Pentru semnal sinusoidal $A_{ef} = \frac{A}{\sqrt{2}}$.

- Valoarea medie

$$A_0 = \frac{1}{T} \int_t^{t+T} x(t) dt \quad (1.9)$$

Reprezintă componenta continuă a semnalului.

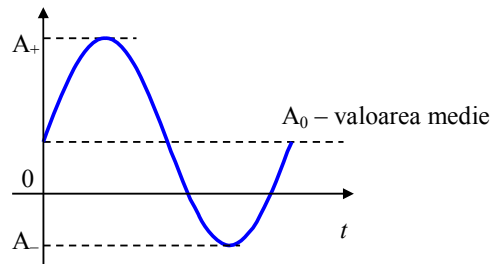


Figura 1.10. Valoarea medie a unui semnal sinusoidal cu componentă continuă

Pentru cazul particular al impulsurilor dreptunghiulare, se mai pot defini:

- η - factorul de umplere – este raportul între durată impulsului și perioada de repetiție, $\eta = \frac{\tau}{T}$

- t_c - timpul de creștere. Semnalul dreptunghiular real nu are fronturi perfecte, tranziția între cele două nivele se face într-un timp diferit de zero. Timpul de creștere sau durata frontului este timpul în care semnalul crește de la $A_1=0,1 \cdot A$ până la $A_2=0,9 \cdot A$

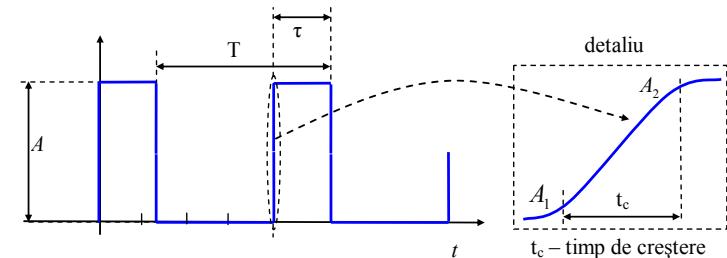


Figura 1.11. Parametrii semnalului dreptunghiular

1.3 Semnale modulate

Un semnal vocal sau un semnal audio nu ar putea fi radiat în spațiu de o antenă, datorită frecvenței relativ joase. Pentru a putea fi transmis prin mijloace radio, semnalul respectiv va modifica unul din parametrii unui semnal sinusoidal de frecvență mult mai mare, numit *purțătoare*. Procesul respectiv se numește *modulație*. Semnalul modulat astfel obținut este de frecvență mare și poartă și informația asupra semnalului util, pe care îl vom numi semnal modulator. În funcție de parametrul semnalului purtător care este dependent de semnalul modulator, pot exista:

- Modulație de amplitudine (MA);
- Modulație de frecvență (MF);
- Modulație de fază (MP).

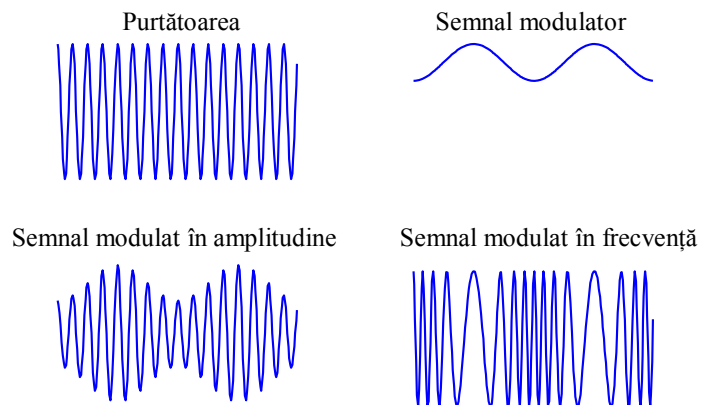


Figura 1.12. Tipuri de semnale modulate

1.4 Generatoare de semnal sinusoidal

Două categorii sunt frecvent întâlnite.

1.4.1 Generatoare de audio-frecvență

De cele mai multe ori acestea furnizează semnale cu frecvențe situate într-un domeniu mult mai larg decât domeniul audio, ceea ce face ca denumirea să fie oarecum improprie. Frecvent, ele acoperă domeniul de la 0,1 Hz la 1MHz (uneori chiar 10MHz). Sunt generatoare relativ simple, având de obicei două elemente de reglaj:

- Frecvența, în trepte decadice și continuu
- Amplitudinea, în trepte decadice și continuu.

Principalii parametri de calitate ai unui asemenea generator sunt:

- Factorul de distorsiuni, care caracterizează măsura în care semnalul generat se apropie de un semnal sinusoidal pur;
- Precizia și rezoluția gradării scării de frecvență. Evident, acest parametru poate fi controlat și cu un frecvențmetru extern;
- Stabilitatea frecvenței generate;
- Posibilitatea controlului amplitudinii generate. Variația tensiunii generate se face cu ajutorul unui atenuator variabil, care nu este întotdeauna etalonat în valori ale amplitudinii. Prezintă interes constanța amplitudinii semnalului generat în toată banda de frecvențe acoperită.

- Impedanța de ieșire, care în mod uzual este de ordinul zecilor sau sutelor de ohmi.

Uneori, mai dispun și de un formator de impulsuri dreptunghiulare.

1.4.2 Generatoare de radio-frecvență

Aceste aparate generează semnale în domeniul de frecvențe cuprins între 100kHz și în mod curent circa 100MHz. Eventual, limita maximă poate fi mai ridicată. Au posibilitatea de modulare în amplitudine și în frecvență.

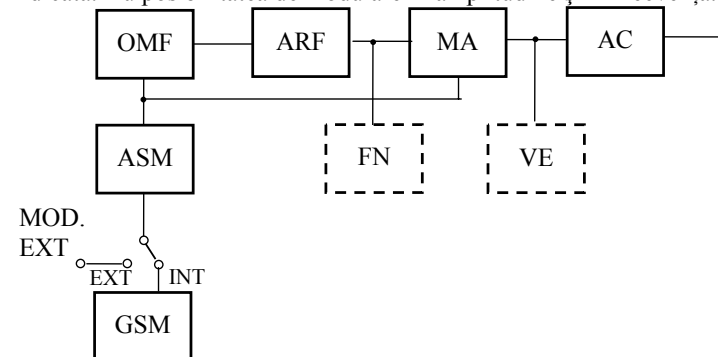


Figura 1.13. Schema bloc a unui generator de radio frecvență

O schemă bloc foarte simplificată este dată în figura 1.13, în care

OMF – oscilator cu modulație de frecvență;
 GSM – generator pentru semnalul modulator;
 ASM – amplificator pentru semnalul modulator;
 ARF – amplificator pentru semnalul de radiofrecvență;
 MA – modulator de amplitudine;
 AC – atenuator calibrat;
 FN – frecvențmetru numeric.
 VE – voltmetru electronic.

Se poate observa că există un generator de joasă frecvență pentru producerea semnalului modulator. În unele aparate mai simple acesta generează doar câteva frecvențe fixe (de exemplu 400Hz și 1KHz).

Există posibilitatea de a realiza modulația cu un semnal extern aplicat la intrarea notată MOD.EXT. Este foarte important controlul cât mai precis al frecvenței purtătoare, generată de OMF, și posibilitatea unor variații foarte fine. De aceea aparatele moderne utilizează un frecvențmetru numeric încorporat (FN).

Foarte important este și un control cât mai precis al nivelului semnalului de ieșire. În acest scop se utilizează un atenuator calibrat (AC) în trepte și continuu și un voltmetru electronic (VE).

Există posibilitatea reglării parametrilor de modulație (gradul de modulație pentru MA și deviația de frecvență, pentru MF). Acestea se fac prin reglarea nivelului semnalului modulator preluat de la ASM.

1.5 Generatoare de funcții

Generatorul de funcții este un aparat capabil să furnizeze o varietate de semnale periodice, cum ar fi:

- Semnal triunghiular simetric;
- Semnal sinusoidal;
- Impulsuri dreptunghiulare, cu factor de umplere reglabil;
- Semnal triunghiular nesimetric (dinte de fierăstrău) cu ajutorul reglajului de simetrie.

La aceste funcțiuni de bază se adaugă în mod frecvent:

- posibilitatea de modulare în amplitudine sau în frecvență cu semnal modulator extern sau (uneori) intern, produs de un al doilea generator;
- controlul frecvenței cu ajutorul unei tensiuni aplicate din exterior (*oscilator cu frecvență comandată* – în engleză *voltage controlled oscillator* – VCF);
- posibilitatea reglării nivelului, dar și a tensiunii continue suprapuse peste semnal.
- Eventual, frecvențmetru numeric încorporat.

Domeniul de frecvențe acoperit este de obicei cuprins între 0,1 Hz și câțiva MHz, eventual câteva zeci de MHz.

Observație. Un semnal sinusoidal de frecvență audio poate fi generat atât cu un generator de semnal sinusoidal, cât și cu un generator de funcții. Trebuie reținut că datorită modului specific în care este produs semnalul sinusoidal în generatorul de funcții (cu ajutorul unui circuit neliniar, pornind de la semnal triunghiular), factorul de distorsiuni este mai mare decât în cazul unui generator de semnal sinusoidal.