

### PROBLEME GENERALE

Circuitele de impulsuri generează, prelucrează și transmit semnale electrice sub formă de impulsuri. Un caz particular sunt circuitele digitale sau numerice, semnalele în acest caz fiind impulsuri dreptunghiulare cu două nivele cărora le sunt atașate cele două cifre ale sistemului binar de numerație. Acestea din urmă funcționează urmând principiile algebrei (logicii) booleene fiind denumite și circuite logice.

#### Semnale sub forma de impulsuri

O categorie distinctă de semnale sunt semnalele sub forma 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 inițial. Trecherile se numesc fronturi, crescător sau descrescător iar intervalele sunt palierale impulsurilor, ridicat sau coborât.

În varianta idealizată fronturile sunt fie salturi, trecerea se face instantaneu fie are o evoluție liniară. Corespunzător există două tipuri de impulsuri elementare, impulsul dreptunghiular și impulsul rampa. Prin combinații ale acestora se obțin diverse alte variante, câteva fiind prezentate în figura 1.8.

Cele mai utilizate sunt impulsurile dreptunghiulare.

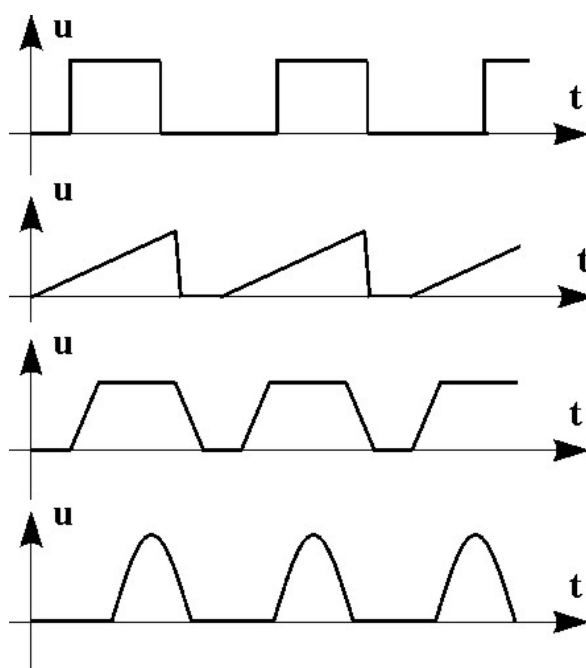


Fig. 1.8. Semnale sub forma de impulsuri

### 1.1.2. Semnale analogice si semnale discrete

O alta clasificare imparte semnalele care sunt generate, prelucrate sau transmise de către circuitele electronice în două mari categorii :

- semnale analogice;
- semnale discrete.

clasificare care imparte chiar domeniul, electronica, in doua mari parti, functie de tipul de semnale generate si prelucrate:

- electronica analogica;
- electronica discretă.

Semnale analogice sunt functii continue in timp, derivata in functie de timp este deasemenea o functie continua. Nu exista salturi și nici puncte unghiulare sau de întoarcere (figura 1.9.a).

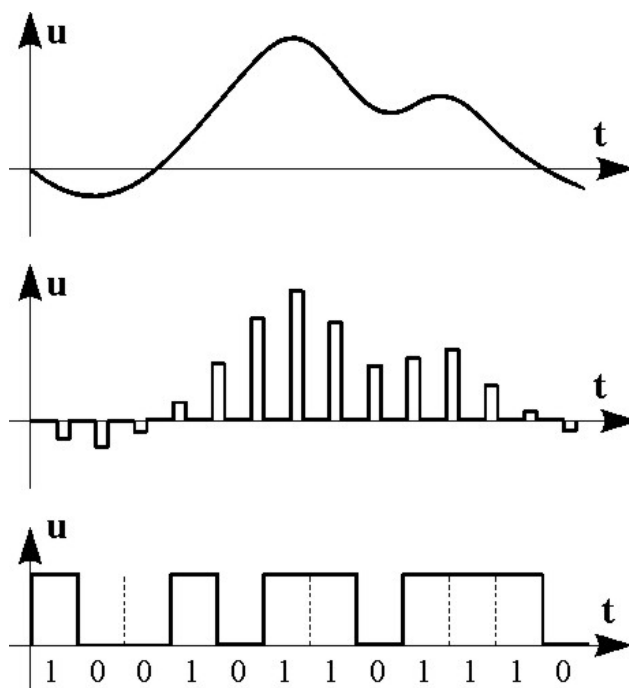


Fig. 1.9. Semnale analogice, discrete, numerice.

Semnale discrete; semnalele sunt functii discontinue. Exista salturi (figura 1.9.b, c), derivatele in functie de timp tind teoretic la infinit

Semnalele discrete se impart de asemenea in doua parti:

- semnale sub forma de impulsuri;
- semnale digitale (numerice, binare).

Aceste tipuri de semnale sunt prezentate în figura 1.9.

Semnalele digitale sunt o categorie de impulsuri, de amplitudine constanta si latime constanta, carora li se asociaza doua cifre, 0 si 1 conform sistemului de

numerație binară, una din cifre este asociată prezentei impulsului, a doua absentei acestuia, astfel ca unei succesiuni ca aceea prezentată în figura 1.9.c îi corespunde o cifră în sistemul binar, 0100010001. Domeniul de utilizare este acela al calculatoarelor numerice. Prin codificarea cifrelor binare se pot asocia acestora diverse alte semne, cifre în alte baze de numerație, litere, alte semne utilizate în texte cât și diverse alte lucruri cum ar fi comenzile standard ale calculatoarelor, Ctrl, Enter etc.

### Discretizarea semnalelor analogice

Un semnal analogic poate fi discretizat pe cele două coordonate principale, timp și amplitudine după cum se vede în figura 1.2.

- discret timp, figura 1.10a
- discret amplitudine, figura 1.10b
- discret timp și amplitudine, figura 1.10c

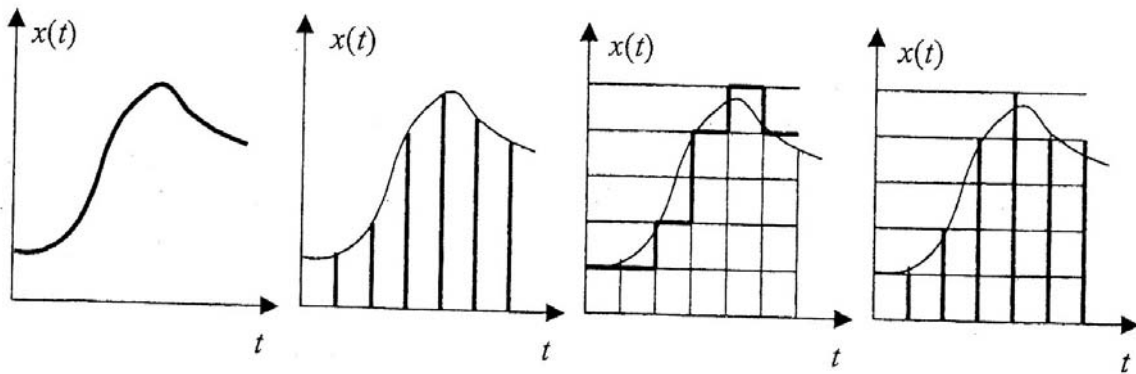


Fig. 1.10. Discretizarea semnalelor analogice



Fig. 1.11. Impulsuri fără discontinuități

Semnalele prezentate sunt semnale ideale. Nu există însă în semnalele reale discontinuități ideale, salturile au panta mare dar finită, astfel că nici derivatele nu sunt infinite.

Împărțirea nu este atât de netă. Există impulsuri care nu au discontinuități ci puncte unghiulare sau de întoarcere (figura 1.11, impulsuri semi-sinusoidale) care se pot asocia și semnalelor analogice

### Semnale digitale

Dintre impulsurile utilizate curent cele mai des întâlnite sunt în esență semnale dreptunghiulare care au două nivele de tensiune care, la rândul lor, sunt asociate cifrelor 0 și 1 ale sistemului de numerație binar denumite și biți (**binary digit**) și care se numesc semnale digitale sau numerice.

O astfel de reprezentare binară a numerelor conduce la cele mai simple circuite

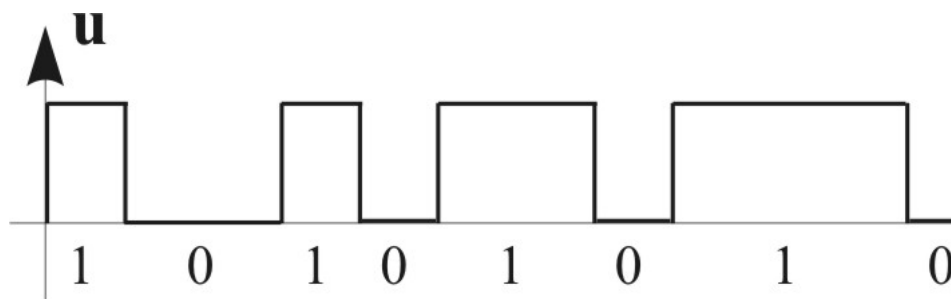


Fig. 1.11. Semnal digital în logică pozitivă

de generare și prelucrare a datelor numerice.

Un semnal digital are de cele mai multe ori unul dintre nivelele de tensiune chiar nivelul zero, căruia îi corespunde cifra 0, cel de-al doilea fiind un nivel de tensiune pozitivă căruia îi corespunde cifra 1, iar alocarea cifrelor în acest mod se numește logică pozitivă (figura 1.11). Situațiile care nu corespund acestui model sunt rare și vor fi, când este cazul, semnalate.

### 1.1.3. Semnale sub forma 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 inițial (figura 1.12).

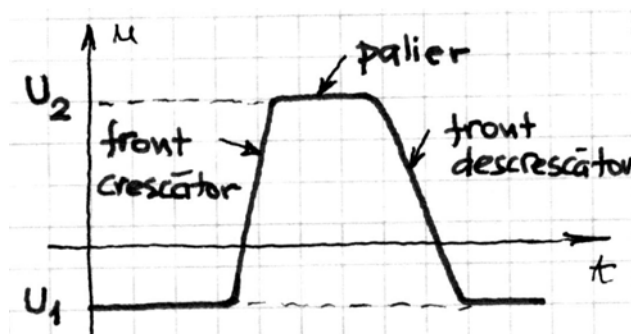


Fig. 1.12. Elementele impulsului

Intervalul de timp în care impulsul trece de la nivelul coborat ( $U_1$ ) la nivelul ridicat ( $U_2$ ) poartă numele de front crescător, intervalul de timp în care impulsul rămâne la nivelul ridicat se numește palierul impulsului iar intervalul de timp în care impulsul trece de la nivelul ridicat ( $U_2$ ) la nivelul coborat ( $U_1$ ) poartă numele de front descrescător.

### Clasificarea impulsurilor

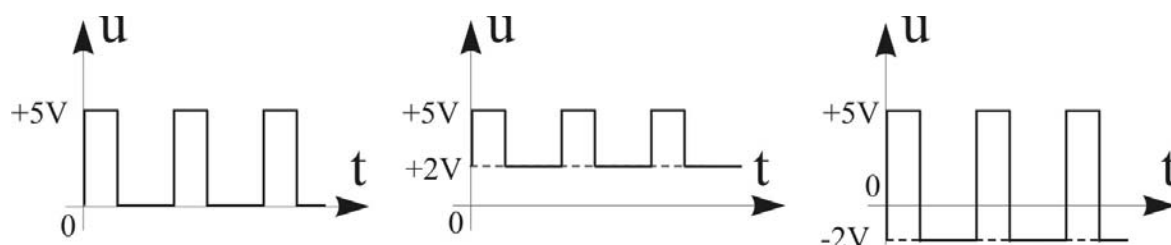
Impulsurile se clasifică după modul de generare, după polaritatea valorilor după formă și după complexitate.

După modul de generare:

- Impulsuri de tensiune, generate de generatoare de tensiune (cele mai utilizate și din acest motiv, fără precizare prealabilă impulsurile se vor considera de tensiune);
- Impulsuri de curent, generate de generatoare de curent

După polaritate (figura 1.13):

- Impulsuri unipolare (a);
- Impulsuri unipolare cu ambele nivele diferite de zero (b);
- Impulsuri bipolare (c).



1.13. Tipuri de impulsuri după polaritate

După formă și complexitate există:

- Impulsuri elementare;
- Impulsuri complexe, care nu sunt altceva decât combinații complexe de impulsuri elementare

La rândul lor impulsurile elementare principale sunt (figura 1.14):

- Dreptunghiulare (sau rectangulare, a, care au ca fronturi salturi ideale);
- Rampă (sau liniar variabile, b, care au unul din fronturi variabil liniar cu timpul);

- Sinusoidale, (cu unul din fronturi sinusoidal, c, sau cosinusoidal, d);
- Exponențiale, (cu unul din fronturi variabil exponențial crescător, e, sau descrescător, f).

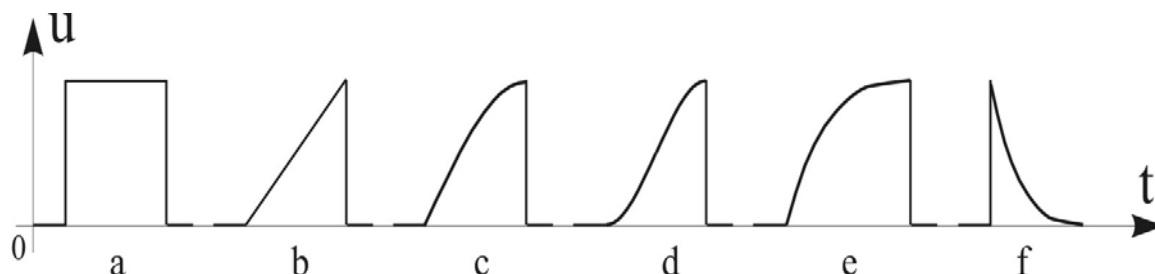


Fig. 1.14. Impulsuri elementare

Exista nenumarate alte forme destul de utilizate, care pot fi reduse la combinații simple de impulsuri elementare. Printre acestea impulsurile triunghiulare, dinte de fierăstrău sau trapezoidale, provenite din cele rampă. Similar există variante cu fronturi sinusoidale sau exponențiale.

Cât despre impulsurile complexe, acestea sunt într-adevar nenumărate. Ca exemplu sunt prezentate în figura 1.15 doar cateva dintre impulsurile utilizate în electroeroziune, provenite din combinații de impulsuri dreptunghiulare. Electroeroziunea este un procedeu de prelucrare a materialelor (indeosebi a acelor foarte dure) cu ajutorul unui electrod alimentat cu impulsuri electrice, care provoacă scântei electrice și care desprind puțin câte puțin din masa materialului.

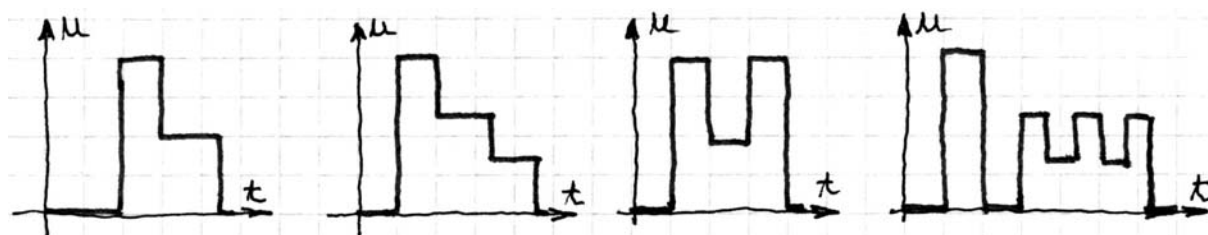


Fig. 1.15. Impulsuri utilizate în electroeroziune

### Impulsuri ideale, cvasiideale și reale

În numeroase situații de analiză impulsurile sunt idealizate. La impulsurile ideale trecerea de la un nivel la altul se face printr-o formă ideală, fronturile fiind salt într-un interval de timp teoretic zero, variație perfect liniară, sinusoidală neamortizată sau exponențială ideală iar palierul este constant.

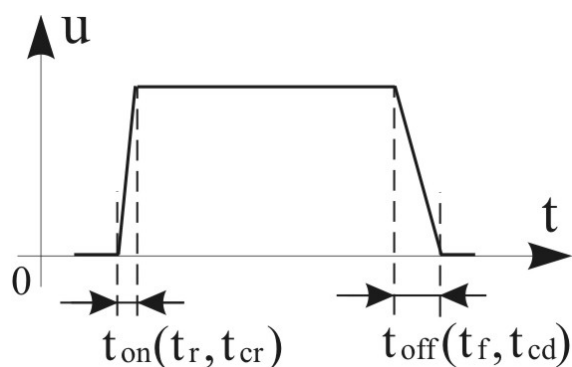


Fig. 1.16. Impuls dreptunghiular cvasi-ideal

Pentru semnalele reale fronturile nu sunt zero, palierul poate sa nu fie de valoare constanta, rampa poate sa fie neliniara. Abaterile pot sa fie importante, dar obisnuit într-un al doilea grad de aproximare se utilizează pentru analiză impulsuri cvasi-ideale, pentru care doar deosebirile mai importante sunt luate în considerare. În sfârșit, analize de precizie trebuie sa tina cont de multiplele abateri de la forma ideală. Acestea apar mai ales la frecvențe de lucru ridicate.

Se va prezenta varianta cvasi-ideala și cea reala pentru impulsurile cele mai utilizate, impulsurile dreptunghiulare.

Varianta cvasi-ideală ține cont doar de timpii de crestere,  $t_{cr}$ , si cadere,  $t_{cd}$ , mai mari decât zero și considera fronturile liniare (figura 1.9).

S-au pus în 1.9 și denumirile prescurtate uzuale care provin din literatura engleză. Indicele  $r$  semnifică *rise*,  $f$  semnifică *fall*. Cele mai utilizate abrevieri sunt însă *on* și *off* care semnifică obișnuit comutație directă sau conectare și comutație inversă sau deconectare. Denumirile provin de la faptul că fenomenele asociate cu fronturile sunt direct legate de acțiunea unor dispozitive electronice ce funcționează în regim de comutație.

Din acest motiv circuitele care funcționează în regim de impulsuri mai sunt denumite și circuite de comutație

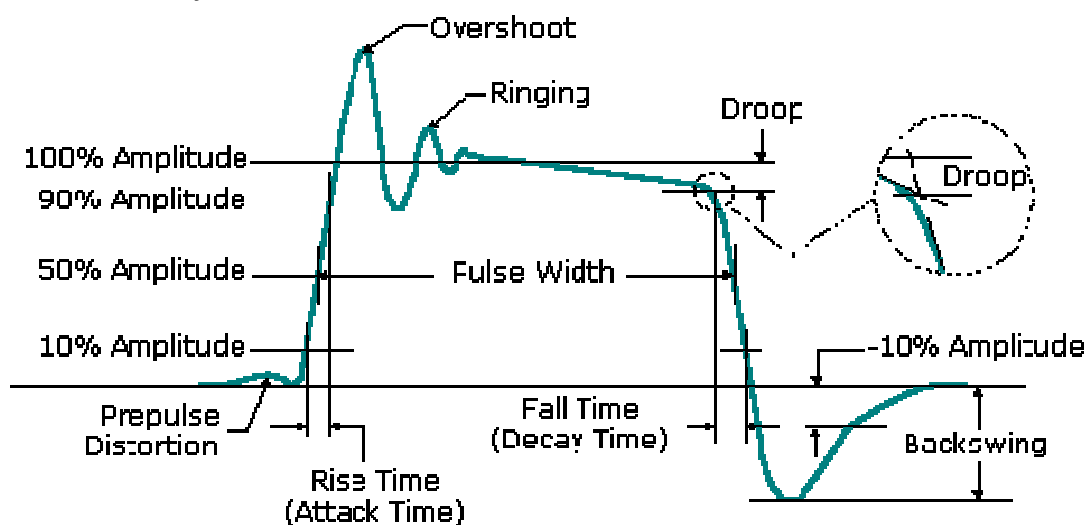


Fig. 1.17. Impuls dreptunghiular real

Cum arată un impuls real cu toate deosebirile față de cazurile simplificate se poate vedea în figura 1.17. Apar aici o serie de parametri specifici, cei mai importanți cât fiind marcați pe figură o dată cu modul de evaluare.

Mai trebuie reamintită observația că în cele mai multe dintre aplicațiile obișnuite de frecvențe joase sau medii impulsurile dreptunghiulare reale sunt mai apropiate ca formă de cele ideale sau cvasi-ideale.

### Parametrii unei succesiuni de impulsuri

Situațiile în care impulsul este singular, ca în unele dintre cazurile prezentate anterior, sunt relativ rare. De obicei există o succesiune de impulsuri de aceeași formă. O astfel de succesiune de impulsuri dreptunghiulare cvasi-ideale este prezentată în figura 1.18.

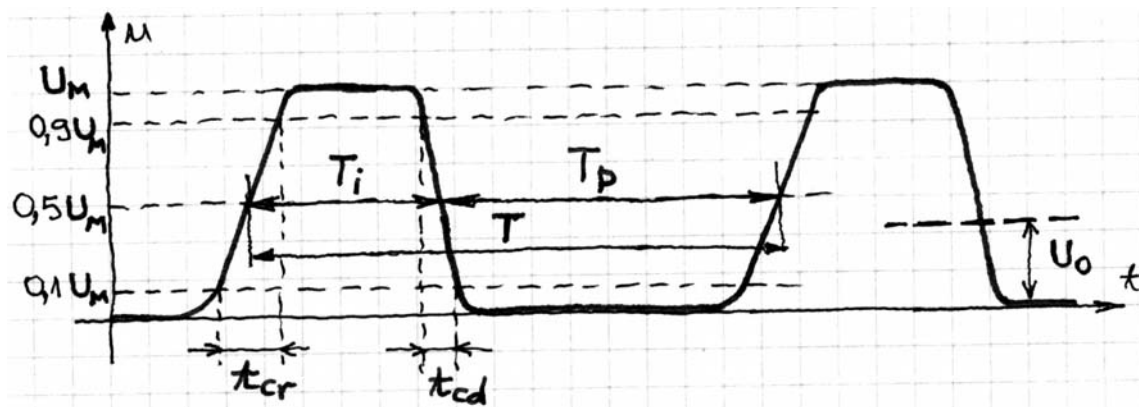


Fig. 1.18. Parametrii unei succesiuni de impulsuri

O succesiune de impulsuri este caracterizată de un număr de parametri. Cei mai importanți sunt prezentați în continuare:

- $U_M$  – amplitudinea impulsului;
- $T$  – perioada succesiunii de impulsuri;
- $f = 1/T$  – frecvența succesiunii de impulsuri;
- $T_i$  – durata impulsului;
- $T_p$  – durata pauzei;
- $t_{cr}$  – timpul de creștere al impulsului;
- $t_{cd}$  – timpul de descreștere al impulsului;
- $K = T_i / T$  – factorul de umplere al succesiunii de impulsuri
- $U_0 = K U_M$  – valoarea medie (componenta continuă) a succesiunii de impulsuri



### 1.1.4. 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.

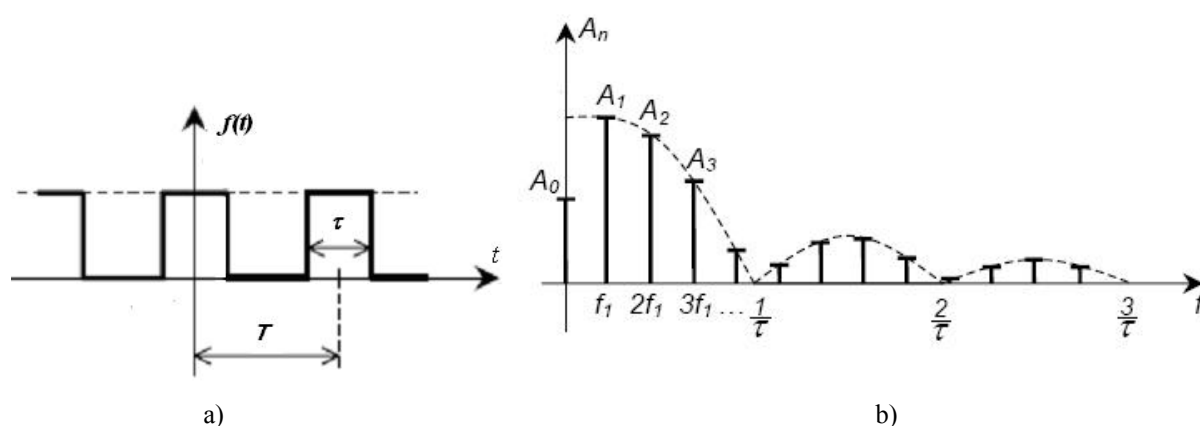


Fig. 19. Spectrul unui semnal periodic dreptunghiular.

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 19b este reprezentată această funcție, denumită *funcție spectrală*, pentru semnalul periodic dreptunghiular din figura 19a (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.

### 1.1.5. Modulația semnalelor

Semnalele modulate sunt combinații specifice formate din două tipuri de semnale și sunt utilizate în special în transmiterea informației: radio, TV, telefonie, transmisii de date.

Unul dintre semnale, de frecvență mare, se numește purtătoare și așa cum îi spune numele el este semnalul care îl poartă pe cel de al doilea care se

numeste semnal modulator. De fapt semnalele modulate utilizeaza semnalele purtatoare, de frecventa mare, pentru ca ele pot fi transmise mai bine la distanta.

Dupa tipul purtatoarei exista doua categorii mari de modulatii:

- modulatie armonica, in care purtatoarea este un semnal sinusoidal;
- modulatie in impulsuri, in care purtatoarea este un semnal sub forma de impulsuri.

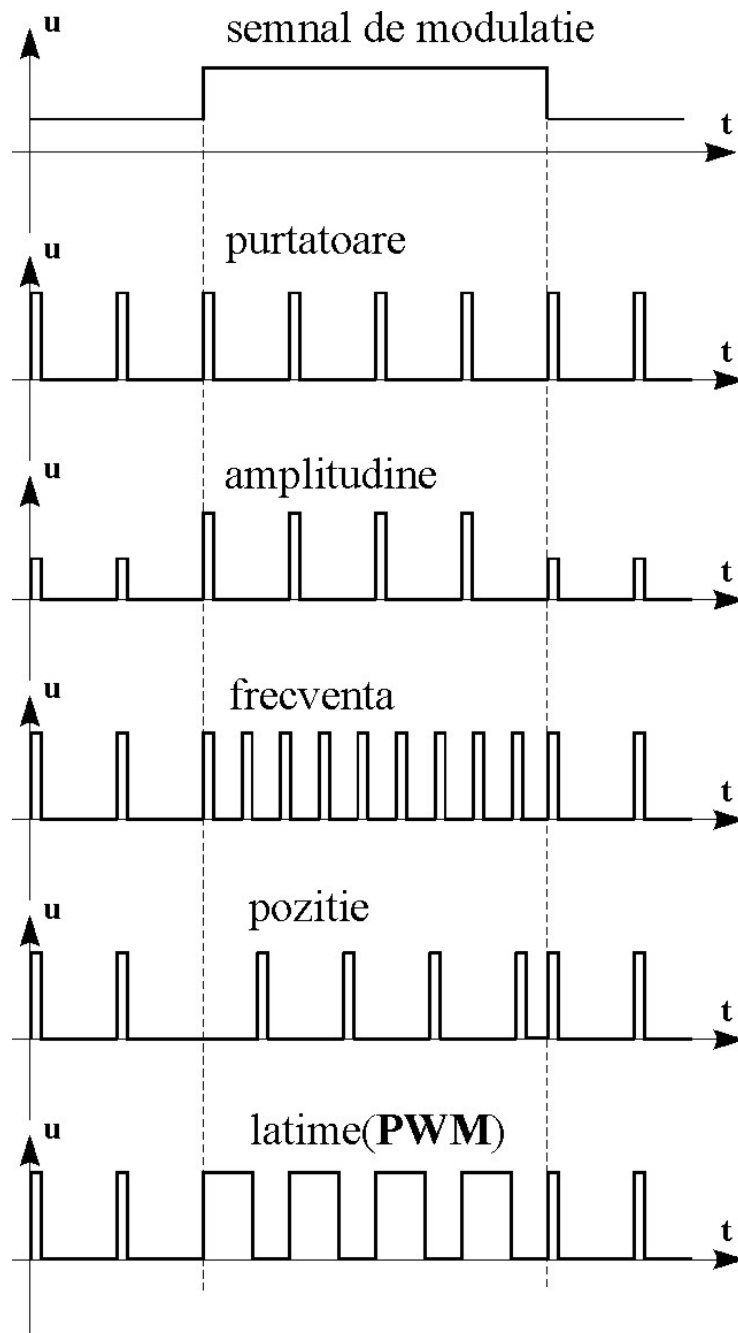


Fig. 1.21. Modularea impulsurilor

În modulatia de impulsuri purtatoarea este o succesiune de impulsuri dreptunghiulare. Semnalul modulator acționează de asemenea asupra parametrilor succesiunii de impulsuri și corespunzător există următoarele tipuri principale de modulație a impulsurilor (figura 1.21):

- modulație de amplitudine, semnalul modulator modifică amplitudinea impulsurilor (figura 1.21.a.);
- modulație de frecvență, semnalul modulator modifică frecvența impulsurilor (figura 1.21.b.);
- modulație de poziție, semnalul modulator modifică poziția impulsurilor (figura 1.21.c.).
- modulație de lățime, semnalul modulator modifică lățimea impulsurilor (figura 1.21.d.).

Dintre acestea primele două sunt foarte puțin utilizate iar cea mai utilizată este modulația în lățime. De multe ori în literatură apare sub forma unui acronim derivat din denumirea în engleză, PWM (Pulse Width Modulation – modulație în lățime a impulsurilor).

### 1.1.6. Prelucrarea semnalelor

#### Conversia semnalelor

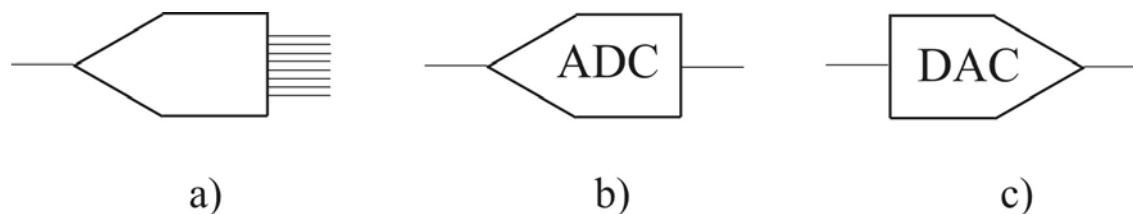


Fig. 1.22. Simbolurile ADC și DAC

În sistemele de măsură se utilizează foarte mult conversia semnalelor, din analogic în digital sau invers. Circuitele corespunzătoare au denumirile: convertor analog-digital (DAC – digital to analog converter), convertor digital-analog (ADC – analog to digital converter),

În cazul simbolurilor utilizate pentru convertitoare partea ascuțită corespunde semnalului analogic iar cea lată semnalului digital deoarece acesta este transmis în multe situații pe mai multe căi (figura 1.22) astfel ca simbolurile simplificite sunt prezentate în figurile 1.22b,c.

Operația de conversie se scrie simplificat conversie A/D, respectiv conversie D/A

## Esantionarea semnalelor

Procedura de eşantionare a semnalelor este legată de conversia A/D a semnalelor dar si de modurile de transmisie a semnalelor. Prin eşantionare se înţelege transformarea semnalului analog în succesiune de eşantioane. Acesta este

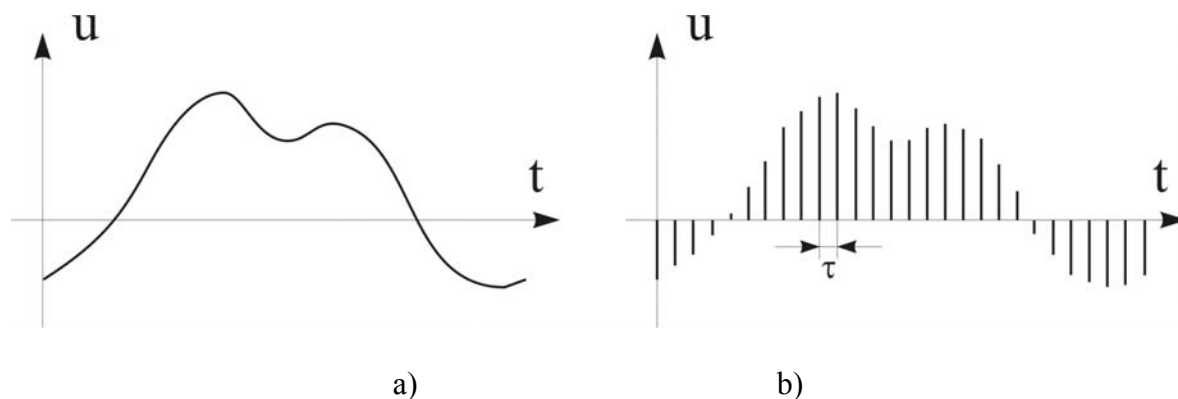


Fig.1.23. Semnal analogic (a) şi semnalul eşantionat (b)

evaluat în amplitudine periodic şi se extrage valoarea instantanee a momentului (eşantion) aşa cum se poate observa în figura 1.23.

Intervalul de timp între două eşantioane este  $\tau$  iar  $1/\tau$  este frecvenţa de esantionare,  $f_\tau$ .

O problemă care apare în acest proces este alegerea frecvenţei de eşantionare pentru ca semnalul astfel transformat să poată fi reconstruit cu o preciziei cât mai bună.

Este uşor de înţeles că o frecvenţă mai mare duce la o precizie mai mare dar exista o teorema care spune că un semnal poate fi reprodus cu precizie dacă frecvenţa de esantionare este de doua ori mai mare decât a celei mai mari armonici a semnalului.

Pentru un semnal sinusoidal se prezintă în figura 1.24 situatia în care eşantionarea se face la o frecvenţa de  $1$ ;  $4/3$  şi  $2$  şi rezultatele care se obţin prin simpla unire a valorilor esantioanelor.

Reconstituirea nu se face în acest mod simplu ci prin extragerea armonicilor egale sau mai mici decât frecvenţa semnalului din succesiunea de impulsuri şi se poate evalua că prin acest procedeu se obţine semnalul original doar în cazul trei, armonica principala a semnalului triunghiular fiind chiar semnalul iniţial

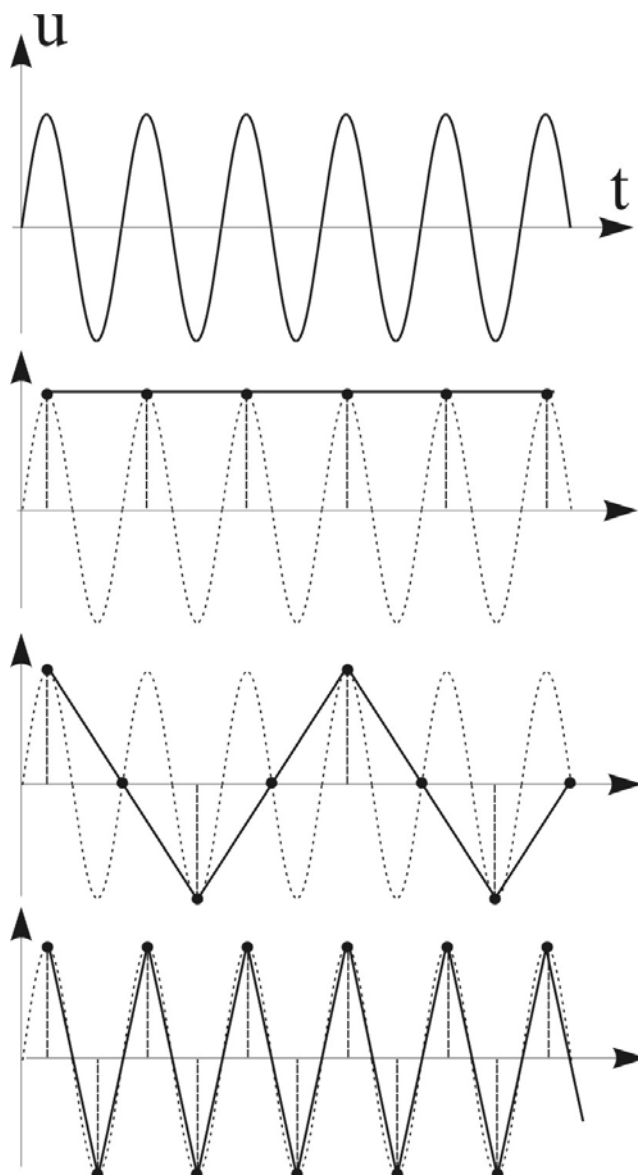


Fig. 1.24. Eșantionare la frecvențe diferite

## Multiplexare și demultiplexare

Atunci când un sistem de măsură are mai multe marimi de măsurat ce trebuie transmise la distanță pentru procesare un procedeu utilizat curent este multiplexarea și apoi demultiplexarea semnalelor.

Un multiplexor, simplificat MUX, este un circuit cu mai multe intrări și o singură ieșire. El selectează doar una dintre intrări și o conectează la ieșire și poate selecta pe rând oricare intrare cu ajutorul unui semnal de selecție potrivit. El face posibilă utilizarea unei singure linii pentru transmiterea mai multor semnale eșantionate în prealabil

Demultiplexorul, simplificat DEMUX, face operația inversă. El are o intrare și mai multe ieșiri și, la fel ca multiplexorul, cu care lucrează împreună, face selecția cu ajutorul unui semnal de selecție.

O schemă simplificată a unui sistem MUX-DEMUX pentru trei semnale este prezentată în figura 1.25.

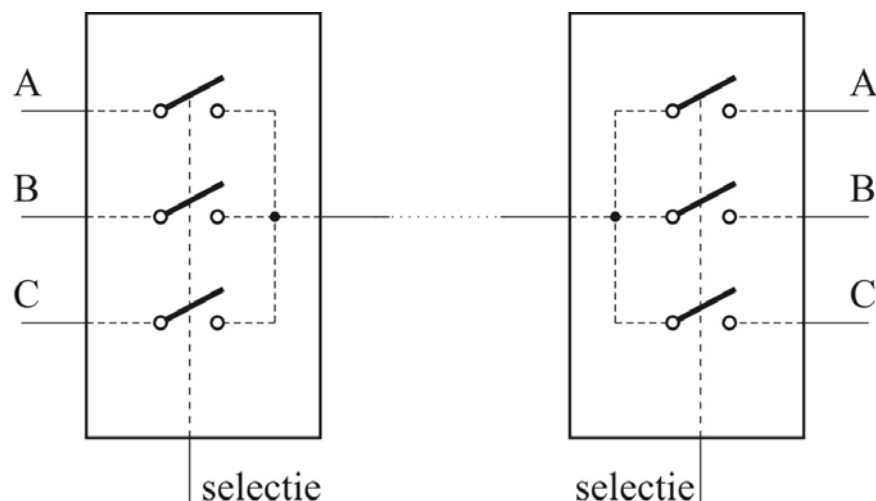


Fig. 1.25. Multiplexor și demultiplexor

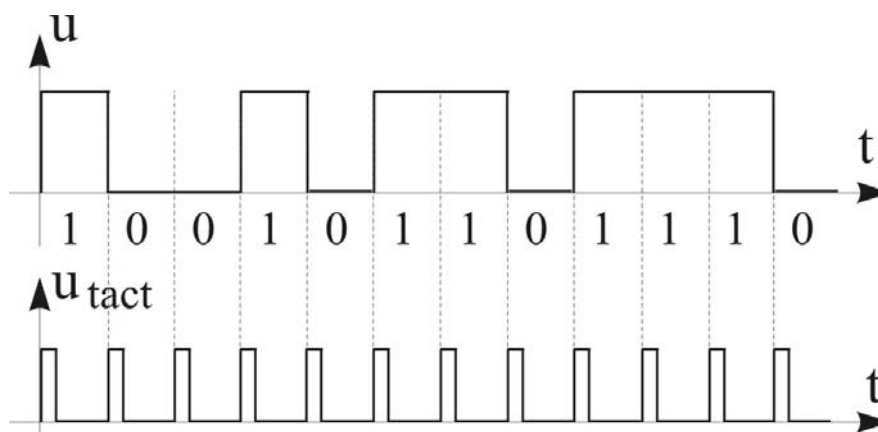
### 1.1.7. Transmisia semnalelor digitale

Informația cuprinsă într-un semnal de acest tip la un moment oarecare de timp este formată din doar două posibilități, 0 sau 1 și reprezintă chiar unitatea de măsură a informației, un bit.

Pentru a transmite mai multă informație se pot utiliza mai multe linii și astfel, la un anumit moment, vor fi pentru  $n$  linii numere formate din  $n$  cifre binare. Momentele la care este preluată informația pot să fie aleatoare dar de cele mai multe ori acestea sunt bine stabilite prin impulsuri denumite de tact care provoacă sincronizarea preluării. Transmisia de acest fel se numește paralelă.

Cu ajutorul sincronizării prin impulsuri de tact se poate transmite mai multă informație și pe o singură linie așa cum se poate vedea pe figura 1.26. Semnalul din figura fiind sincronizat, transmite un număr binar de 12 cifre. Transmisia se numește serială și are dezavantajul că este mai lentă, viteza fiind de  $n$  ori mai mică decât la o transmisie paralelă pe  $n$  linii.

Domeniul de utilizare este acela al calculatoarelor numerice. Prin codificarea cifrelor binare se pot asocia acestora diverse alte semne, cifre în alte baze de numerație, litere, semne utilizate în texte cât și diverse lucruri cum ar fi comenzile standard ale calculatoarelor, Ctrl, Enter etc



1.26. Semnal digital serial sincronizat

## 1.2. Elemente de logica booleana

### Funcții logice

Circuitele logice sunt o clasă de circuite capabile să efectueze operații logice. Funcționarea acestor circuite poate fi descrisă prin funcții logice. Algebra logică sau booleană, fundamentată de matematicianul englez G.Boole în anul 1854, permite studiul matematic al relațiilor logice care operează cu variabile și funcții cu valori în mulțimi cu două elemente (adevăr/fals, da/nu, 1/0, etc).

Funcțiile logice sunt operații în algebra Boole efectuate asupra mărimilor binare. Există trei operații binare fundamentale: inversiunea, produsul logic și suma logică. Acestor operații le corespund funcțiile logice NU, șiI, respectiv SAU.

Inversiunea (funcția NU) sau operația de negare transformă o variabilă logică în opusul ei. Astfel, dacă A este o variabilă logică, A negat se scrie  $\bar{A}$  (citește non A).

Tabelul 1, numit tabel de adevăr conține valorile variabilei A și ale funcției

$$X = \bar{A} \quad (10)$$

Tabelul 1.

A	X=A
0	1
1	0

Inversiunea are proprietatea de involuție:

$$\overline{\overline{A}} = A \quad (11)$$

Elementul logic care realizează operația (10) se numește element NU sau inversor și are simbolul din figura 1.27.a.

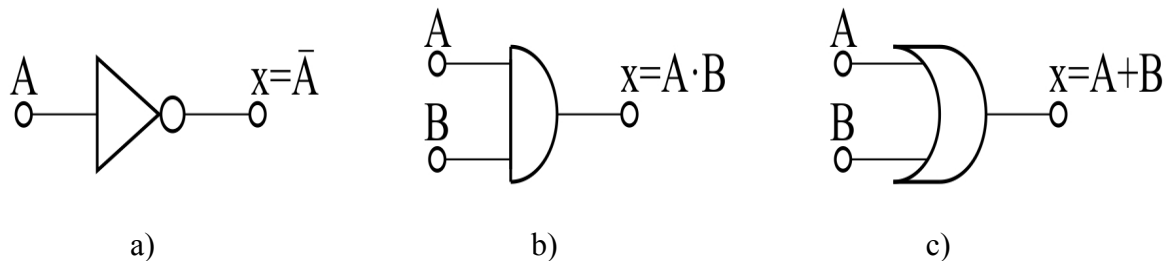


Fig. 1.27. Elemente logice

Produsul logic (funcția SI) sau conjuncția a două sau mai multor variabile logice se notează cu  $(\cdot)$  sau  $\cap$  (12) și corespunde tabelului de adevăr 2, alcătuit pentru două variabile.

$$X = A \cdot B \cdot C \dots = A \cap B \cap C \dots \quad (12)$$

Tabelul 2.

A	B	$X = A \cdot B$
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

Conjuncția are proprietățile de comutativitate :

$$A \cdot B = B \cdot A$$

și asociativitate :

$$A \cdot (B \cdot C) = (A \cdot B) \cdot C = (A \cdot C) \cdot B$$

Elementul logic care realizează operația de produs logic se numește element SI și are simbolul din figura 1.27.b.



Suma logică (funcția SAU) sau disjuncția se notează cu + sau  $\cup$  și corespunde tabelului de adevăr 3, alcătuit pentru două variabile.

$$X=A+B+C+\dots=A\cup B\cup C\dots \quad (13)$$

Tabelul 3.

A	B	X=A+B
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

Suma logică are următoarele proprietăți :

- comutativitate  $A+B= B+A$
- asociativitate  $A+(B +C)= (A+B) +C= (A+C) +B$
- distributivitatea sumei față de sumă:  $A \cdot (B +C)= A \cdot B+ A \cdot C$
- distributivitatea sumei față de produs:  $(A+B) \cdot (C+D)= A \cdot C+ A \cdot D+ B \cdot C+ B \cdot D$

Cu ajutorul operațiilor elementare descrise mai sus se pot defini altele mai complexe: dintre acestea mai frecvent întâlnite sunt cele care corespund următoarelor funcții:

- NUMAI (NAND) – obținută prin negarea funcției SI

$$X = \overline{A \cdot B} \quad (14)$$

- NICI (NOR) – obținută prin negarea funcției SAU

$$X = \overline{A + B} \quad (15)$$

- SAU EXCLUSIV – suma disjunctivă a două variabile

$$X = \overline{A \oplus B} = (A + B)(\overline{A} + \overline{B}) \quad (16)$$

Reducerea expresiilor unei funcții logice complexe se poate face apelând la teoremele algebrei booleene, dintre care mai importante sunt teoremele de dualitate ale lui De Morgan (17), teoremele de absorbție (18) și teoremele de distributivitate.

$$\overline{A+B} = \overline{A} \cdot \overline{B} \quad \overline{A \cdot B} = \overline{A} + \overline{B} \quad (17)$$

$$A+A \cdot B=A \quad A \cdot (A+B)=A \quad (18)$$

Apelând la aceste teoreme, orice funcție logică se poate exprima cu ajutorul funcțiilor NICI și NUMAI.

În general, sinteza unui circuit logic pornește de la condițiile pe care trebuie să le îndeplinească acesta, condiții care sunt transpuse, mai întâi, în tabelul de adevăr.

Tabelul 4.

A	B	C	X=f(A,B,C)
0	0	0	0
0	0	1	0
0	1	0	1
0	1	1	0
1	0	0	0
1	0	1	1
1	1	0	0
1	1	1	1

Pentru a obține funcția logică corespunzătoare unui tabel de adevăr se procedează ca în exemplul următor.

Fie tabelul de adevăr 4 corespunzător unei funcții de trei variabile A, B și C. Se consideră combinațiile variabilelor A, B și C care apar în pozițiile corespunzătoare lui X=1. Se formează, pentru acestea, produsele logice de variabile, negate sau nu, care conduc la X=1 și apoi se însumează logic.

Se obține funcția logică :

$$X = \overline{A} \cdot \overline{B} \cdot \overline{C} + \overline{A} \cdot \overline{B} \cdot C + A \cdot B \cdot C \quad (19)$$