



A XV-a Conferință internațională – multidisciplinară  
„Profesorul Dorin Pavel – fondatorul hidroenergeticii românești”  
SEBEȘ, 2015

## MODULAȚIA IMPULSURILOR ÎN COD (MIC)

Florica VARI

### PULSE-CODE MODULATION (PCM)

Pulse-code modulation (PCM) is a method used to digitally represent sampled analog signals. It is the standard form of digital audio in computers, Compact Discs, digital telephony and other digital audio applications. In a PCM stream, the amplitude of the analog signal is sampled regularly at uniform intervals, and each sample is quantized to the nearest value within a range of digital steps. A PCM stream has two basic properties that determine the stream's fidelity to the original analog signal: the sampling rate, which is the number of times per second that samples are taken; and the bit depth, which determines the number of possible digital values that can be used to represent each sample.

Keywords: sampling, telecommunications, digital transmission, analogy, pulse code, quantization, coding

Cuvinte cheie: eșantionare, telecomunicații, transmisii digitale, analogice, impulsuri în cod, cuantizare, codare

### 1. Introducere

Perioada telecomunicațiilor numerice se consideră că a început în anul 1853, odată cu apariția telegrafiei, care asigura transmiterea informațiilor prin prezența sau absența impulsurilor. Au mai trebuit să treacă încă 50 de ani până când W.M. Miner a aplicat comutația temporală în telefonie și a obținut cuvinte inteligibile prin canale eșantionate de la 3500-4300 Hz, iar în 1948 C. Shannon a dezvoltat teoria informației pentru semnale continue.

În cazul semnalului telefonic, cele mai răspândite metode de conversie sunt modulația impulsurilor în cod (MIC).

Modularea impulsurilor în cod fiind o formă de codare a semnalelor analogice în numere (cuvinte) binare, include eșantionarea, cuantizarea și codarea numerică a semnalului original. Așadar, MIC este de fapt o formă de conversie analog digitală.

Transmișiile digitale au avantaje majore față de cele analogice.

În transmișiile digitale, semnalele analogice sunt transformate, codate, în semnale digitale prin acest ansamblu de prelucrări numit modularea impulsurilor în cod.

Modularea impulsurilor în cod se bazează pe eșantionarea semnalelor. Determinarea condițiilor în care semnalul eșantionat reproduce semnalul util, va constă în faptul ca la recepție să se poată reface semnalul original, acestea fiind stabilite prin teorema eșantionării Shannon.

Cu alte cuvinte, din semnalul eșantionat se poate extrage semnalul util dacă frecvența de eșantionare este mai mare sau egală cu dublul frecvenței maxime din spectrul semnalului analogic. Așadar, numai semnalele cu spectru limitat pot fi refăcute din semnalul eșantionat.

În telecomunicații, întotdeauna semnalele sunt cu spectru limitat sau sunt formate astfel prin filtrare, ceea ce permite determinarea vitezei de eșantionare potrivite și refacerea semnalelor cu erori satisfăcător de mici.

Obținerea impulsurilor modulate în cod presupune parcurgerea următoarelor etape:

- Eșantionarea semnalului pentru obținerea semnalului de IMA.
- Cuantizarea semnalului eșantionat urmată de codare, pentru obținerea semnalului digital, transmis sub formă de impulsuri.
- Codarea.

## **2. Eșantionarea**

### **2.1. Teorema eșantionării**

Teorema eșantionării arată că un semnal continuu, ca cel din figura 1, poate fi reconstituit fără distorsiuni din eșantioanele sale (reprezentate prin săgeți) dacă

$$f_A \geq 2f_M \quad (1)$$

unde  $f_M$  este frecvența maximă din spectrul semnalului continuu,

$$f_A = 1/T_A \quad (2)$$

este frecvența de eșantionare iar  $T_A$  este perioada de eșantionare.

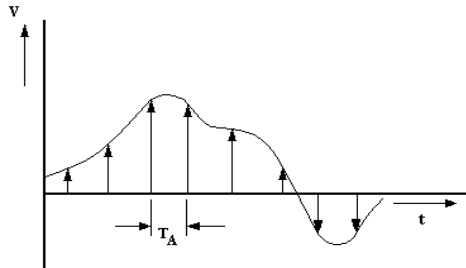


Fig. 1 Eșantionarea periodică a unui semnal continuu

## 2.2. Eșantionarea semnalelor telefonice

Pentru un semnal telefonic cu spectrul între 300 Hz și 3400 Hz, eșantionarea trebuie făcută (conform teoremei) de cel puțin 6800 de ori pe secundă. Pentru a exista și unele rezerve, frecvența de eșantionare unanim acceptată internațional este de 8000 Hz.

Perioada de eșantionare corespunzătoare este :

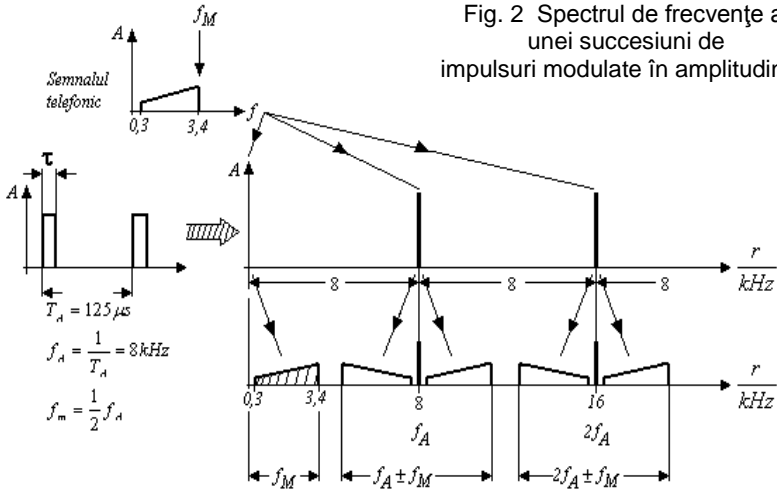
$$T_A = \frac{1}{f_A} = \frac{1}{8000 \text{ Hz}} = 125 \text{ } \mu\text{s} \quad (3)$$

O succesiune de impulsuri scurte ( $\tau < T_A$ ) cu amplitudine constantă prezintă (în domeniul frecvență) un spectru de linii echidistante având între ele un ecart  $f_A = 1/T_A = 8 \text{ kHz}$  (figura 2).

Dacă amplitudinea impulsurilor nu rămâne constantă ci este modulată de un semnal telefonic având  $f_M = 3,4 \text{ kHz}$  atunci, de o parte și de alta a liniilor spectrale situate la frecvențele  $nf_A$ , apar benzi laterale care se întind până la frecvențele  $nf_A \pm f_M$ .

Succesiunea de impulsuri modulate în amplitudine va fi denumită în continuare (IMA).

Fig. 2 Spectrul de frecvențe al unei succesiuni de impulsuri modulate în amplitudine



Privind spectrul semnalului IMA (figura 2) ne putem ușor explica teorema eșantionării. Este evident că, pentru recupera din acest spectru larg pe acela al semnalului telefonic modulator (hașurat), este necesar ca acesta din urmă să nu se „amestece” cu prima bandă laterală inferioară situată în imediata sa vecinătate. Cu alte cuvinte, este necesar ca

$$f_M \leq f_A - f_M \quad (4)$$

de unde rezultă imediat

$$f_A \geq 2f_M \quad (5)$$

De aici reținem și concluzia importantă că, în cazul transmisiunilor cu IMA banda semnalului telefonic modulator trebuie obligatoriu să fie limitată, cu ajutorul unui filtru trece-jos, la o frecvență care să nu depășească jumătatea frecvenței de eșantionare.

În figura 3, este reprezentat procesul prin care un semnal telefonic este transformat într-un semnal IMA cu frecvența de eșantionare de 8 kHz.

Între impulsurile (eșantionale) semnalului IMA există pauze.

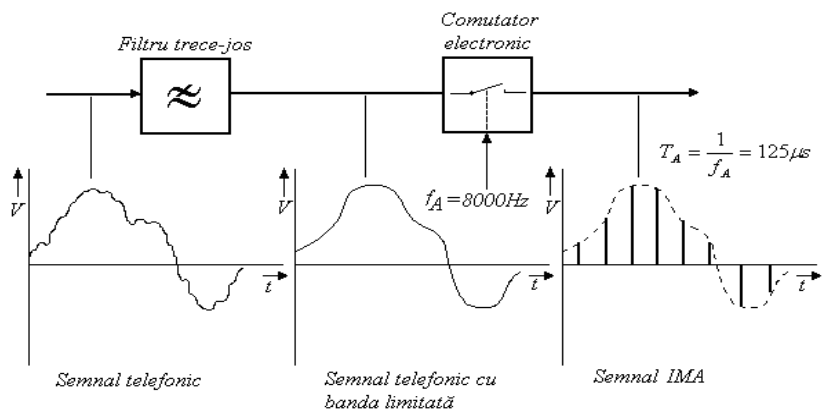


Fig. 3 Generarea unui semnal IMA

În aceste pauze pot fi transmise, „întrețesut” în timp, eşantioanele mai multor semnale telefonice distincte, obținându-se astfel un „semnal multiplex IMA” ca cel reprezentat în figura 4.

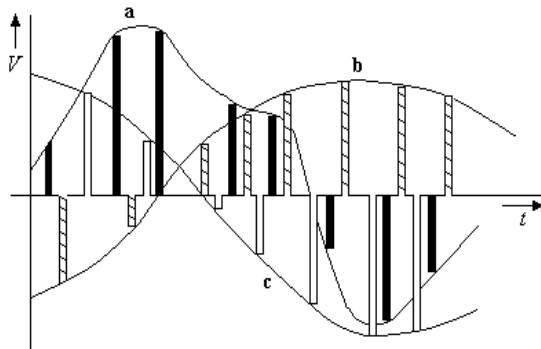


Fig. 4

Semnal multiplex IMA  
constituit din  
eşantioanele întrețesute  
ciclic a trei semnale  
telefonice a, b și c

### 3. Cuantizarea

#### 3.1. Cuantizarea uniformă

Ca și semnalul modulator original, semnalul IMA este de tip analog. Înțelegem prin aceasta că amplitudinea eşantioanelor, care este de fapt purtătoarea informației, rămâne egală sau proporțională cu amplitudinea semnalului modulator și poate lua orice valoare dintr-un domeniu continuu de valori. Prin urmare, semnalul IMA rămâne la fel

de sensibil ca și semnalul original la perturbațiile cauzate în principal de salturile de amplitudine și de fază ce apar de-a lungul canalului de transmisiune.

Acest neajuns poate fi corectat dacă amplitudinile eșantioanelor vor fi transformate în „cifre” care să fie transmise și prelucrate în continuare sub formă digitală.

Primul pas în efectuarea acestei transformări îl constituie împărțirea domeniului continuu de valori pe care îl acoperă amplitudinile eșantioanelor într-un număr finit de intervale de cuantizare. Astfel în figura 5, întregul domeniu a fost împărțit în numai 16 intervale, din care 8 în domeniul valorilor pozitive (+1 până la +8) iar alte 8 în domeniul valorilor negative (-1 până la -8).

Intervalele sunt despărțite unul de altul prin niveluri de decizie.

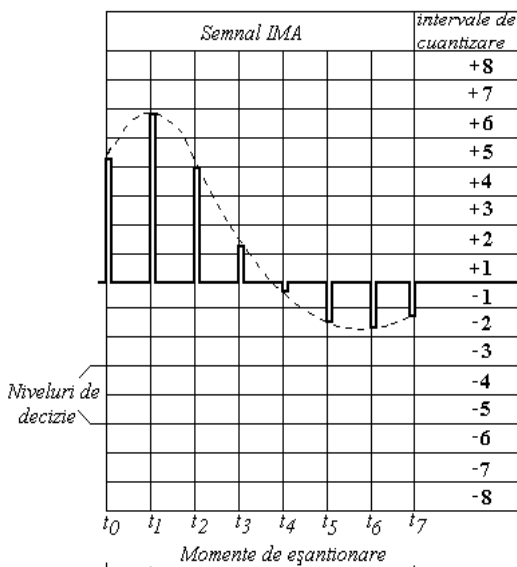


Fig. 5 Cuantizarea uniformă a amplitudinii eșantioanelor unui semnal analog

Odată stabilite intervalele de cuantizare, se poate ușor determina căruia interval de cuantizare îi aparține amplitudinea fiecărui eșantion.

În continuare, pe canalul de transmisie este emis numărul de ordine al intervalului respectiv și nu eșantionul propriu-zis.

În cazul cuantizării cu intervale egale (denumită și uniformă sau liniară), distorsiunea de cuantizare acționează foarte puternic asupra semnalelor de mică amplitudine.

Analiza statistică a semnalului vocal arată că, din păcate, tocmai amplitudinile mici sunt acelea care apar mult mai frecvent decât cele mari. De aceea, ar fi cu totul neeconomic ca, odată obținut un raport semnal/zgomot satisfăcător pentru amplitudinile mici, să lăsăm ca acest raport să crească pentru amplitudinile mari; economic ar fi ca acest raport să se păstreze aproximativ constant. Acest lucru poate fi obținut prin cuantizarea neuniformă.

#### 4. Codarea

În urma cuantizării, amplitudinea fiecărui eșantion IMA este transformată într-un număr, în speță numărul de ordine al intervalului de cuantizare în care „cade” eșantionul respectiv. Această transformare este realizată într-un convertor analog-digital și are ca rezultat cuvinte de cod alcătuite din mai multe simboluri binare (biți) care pot avea fie valoarea binară „0” fie valoarea „1”.

Pentru transmiterea fidelă a unei voci sunt necesare 256 intervale de cuantizare.

Pentru a atribui fiecărui interval un cuvânt de cod, este necesar ca acesta să aibă în sistemul de numerație binar 8 biți ( $2^8 = 256$ ).

Vom numerota intervalele de cuantizare, începând de la abscisă, cu +0 până la +127 pentru domeniul pozitiv și cu -0 până la -127 pentru domeniul negativ ; în plus, vom hotărî ca primul din cei 8 biți să aibă valoarea 1 pentru domeniul pozitiv și valoarea 0 pentru domeniul negativ. Am definit prin aceasta codul „binar simetric” ale cărui prime intervale de lângă abscisă vor fi:

<i>Intervalul de cuantizare</i>	<i>Cuvântul de cod</i>
+1	1 0 0 0 0 0 0 1
+0	1 0 0 0 0 0 0 0
-0	0 0 0 0 0 0 0 0
-1	0 0 0 0 0 0 0 1

## 5. Concluzii

■ S-a arătat că amplitudinile mici intervin foarte frecvent în semnalul vocal, ceea ce face ca probabilitatea de apariție a cuvintelor de cod corespunzătoare intervalelor -1, -0, +0, și +1 să fie ridicată.

■ În consecință, apar frecvent succesiuni lungi de zerouri, ceea ce în transmisiunile digitale este dezavantajos deoarece face dificilă regenerarea la recepție a semnalului de tact.

■ De aceea, în practică se utilizează codul binar simetric cu inversarea alternată a biților, mai precis, valoarea fiecărui bit cu număr de ordine par (în cuvântul de cod) este înlocuită cu opusul ei.

## BIBLIOGRAFIE

- [1] Vasilescu, A., *Transmisiuni PCM*, Editura Tehnică, București, 1992.  
[2] Mărgheșcu, C.I., *Transmisiuni analogice și digitale*, Editura Teora, București, 1995.  
[3] Cruceru, C., *Tehnica măsurărilor în telecomunicații*, Editura Tehnică București, 1990.

Prof. Ing. Florica VARI  
Colegiul Tehnic "Traian Vuia", Oradea  
membru AGIR  
e-mail: florica.vari@yahoo.com