

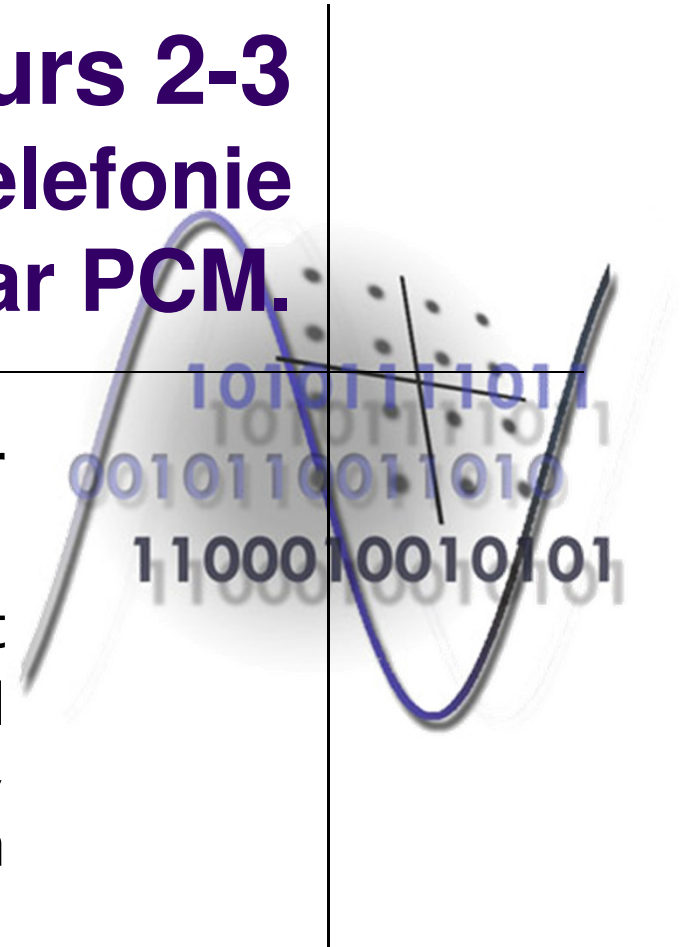
# Curs 2-3

## Noțiuni fundamentale de telefonie digitală. Multiplexul primar PCM.

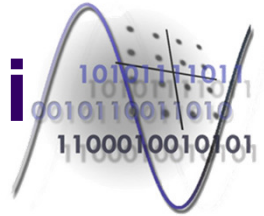
---

Zsolt Polgar

Communications Department  
Faculty of Electronics and  
Telecommunications,  
Technical University of Cluj-Napoca



# Conținutul cursului



- Noțiuni fundamentale de telefonie digitală;
  - Modulația PCM;
  - Modulația Delta;
- Multiplexul PCM primar;
  - Multiplexul primar E1;
  - Multiplexul primar T1;
  - Sincronizare de cadru;
  - Alarmer;
  - Interfețe de linie;
- Interfețe terminale de date - multiplexoare;

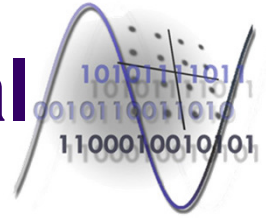
# Conversia A/D a semnalului vocal



- Tehnica de transmisie utilizată în telefonia digitală fixă:
  - PCM (“Pulse Coded Modulation”) – modulația impulsurilor în cod;
    - Reprezintă o conversie A/D neuniformă cu 8 biți/eșantion urmată de transmiterea pe linie a biților asociați cuvintelor de cod.
  - Debitul obținut pentru un canal telefonic este de 64kbps;
  - Există și tehnici de codare mai avansate de codare a semnalului vocal pot asigura o reducere substanțială a debitului;
    - ADPCM (“Adaptive Differential PCM”) și tehnici de codare parametrică - țin cont de caracteristicile particulare ale semnalului vocal;
      - Se pot utiliza numai pentru codarea semnalului vocal – nu este posibilă transmisia de date prin modem pe rețeaua telefonică;
      - Tehnici de codare a vocii:

Standard ITU-T	Tip codare	Debit semnal codat (kbps)
G.711	PCM	64
G.721	ADPCM	32, 16, 24, 40
G.728	LD-CELP	16
G.729	CS-ACELP	8
G.723.1	Multirate CELP	6.3, 5.3

# Conversia A/D a semnalului vocal



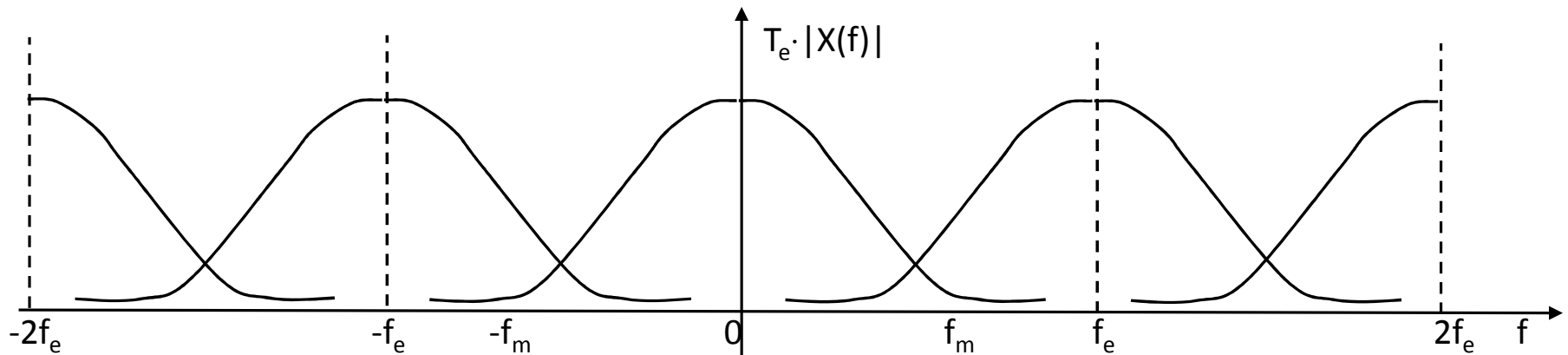
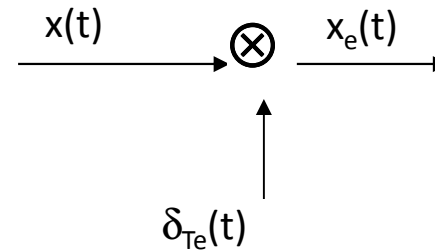
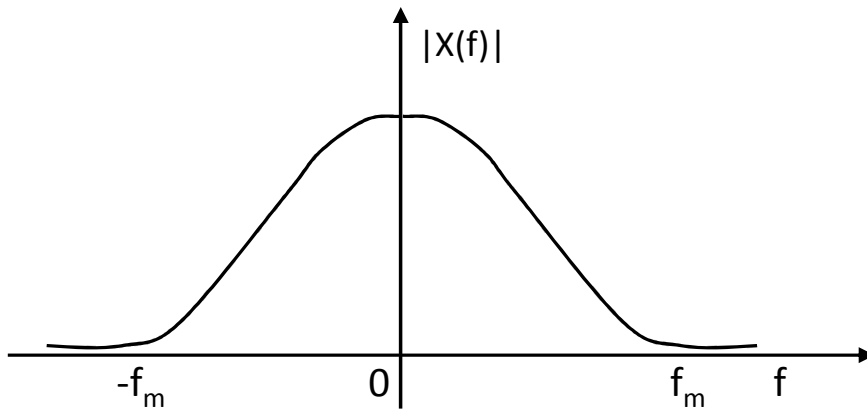
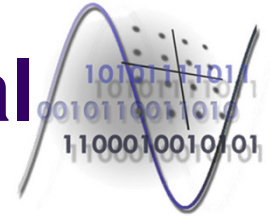
- Procesări cerute de PCM:
  - Eșantionare;
  - Cuantizare;
  - Codare;
- Teorema eșantionării - relații de bază, fenomenul de aliere

$$x_e(t) = x(t) \cdot \delta_{T_e}(t) = x(t) \cdot \sum_{n=-\infty}^{\infty} \delta(t - nT_e) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} x(nT_e) \cdot \delta(t - nT_e)$$

$$X_e(\omega) = \frac{1}{T_e} \cdot \sum_{k=-\infty}^{\infty} X(\omega - k \cdot \omega_e)$$

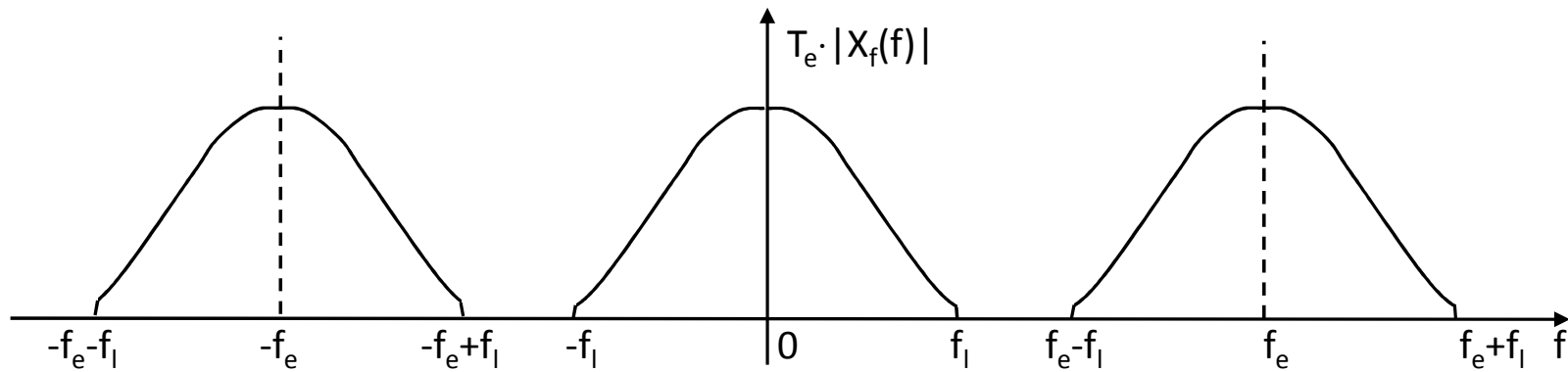
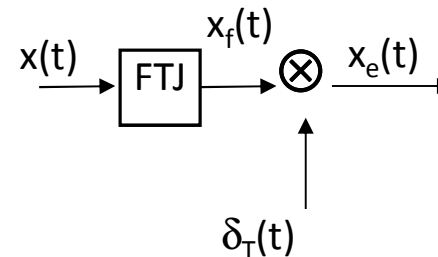
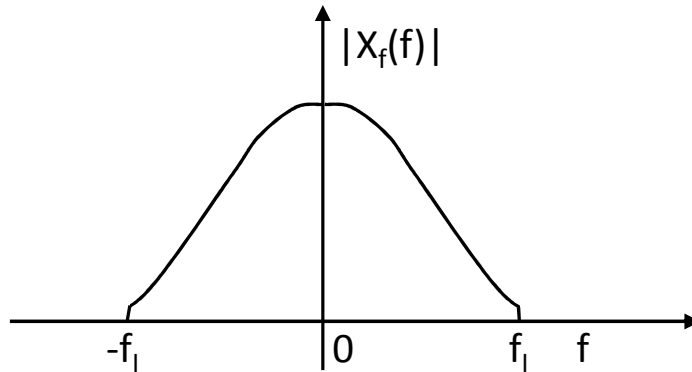
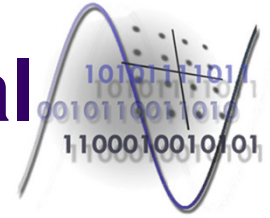
- Teorema eșantionării (Teorema lui Shannon):
  - Orice semnal  $x(t)$  cu funcția de densitate spectrală  $X(\omega)$  pe suport mărginit ( $X(\omega)=0, \forall |\omega|>\omega_M$ ) este complet definit prin eșantioanele sale  $\{x(nT)\}$ , dacă  $T=(\pi/\omega_M)$ ;

# Conversia A/D a semnalului vocal



Proprietățile spectrale ale semnalelor eșantionate și fenomenul de aliere spectrală

# Conversia A/D a semnalului vocal



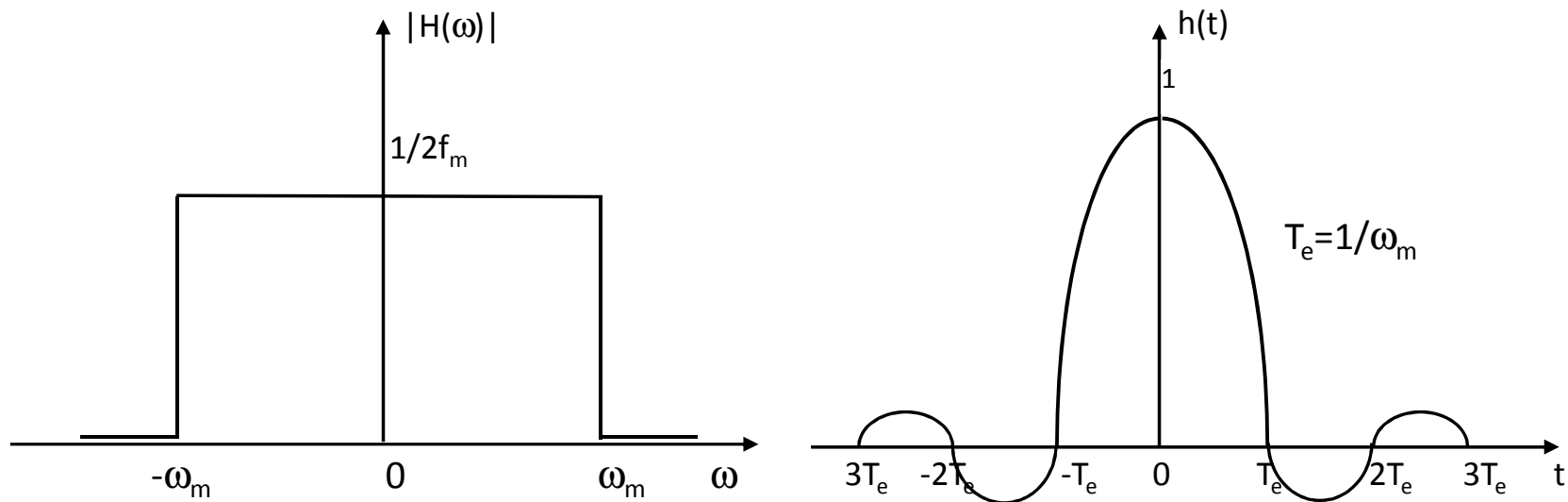
Proprietățile spectrale ale semnalelor eșantionate și eliminarea fenomenului de aliere

# Conversia A/D a semnalului vocal



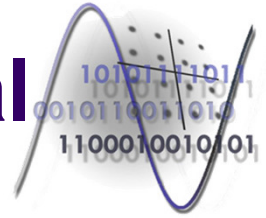
- Reconstituirea semnalelor eșantionate prin filtrare trece jos;
  - Relații de bază pentru filtrarea ideală:

$$H(\omega) = \begin{cases} T_e = \frac{1}{2f_M}, \forall |\omega| < \omega_M \\ 0, \forall |\omega| > \omega_M \end{cases} ; \quad h(t) = \text{sinc}(\omega_M t)$$

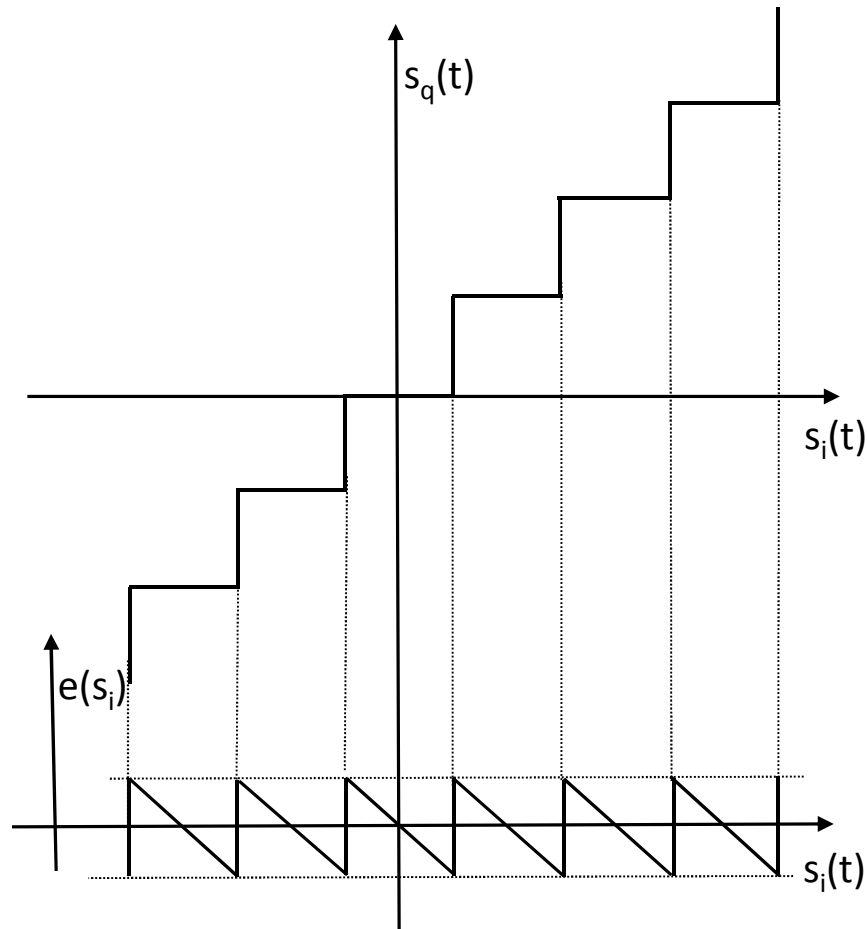


Caracteristica de frecvență și răspunsul la impuls al unui filtru de reconstrucție ideal

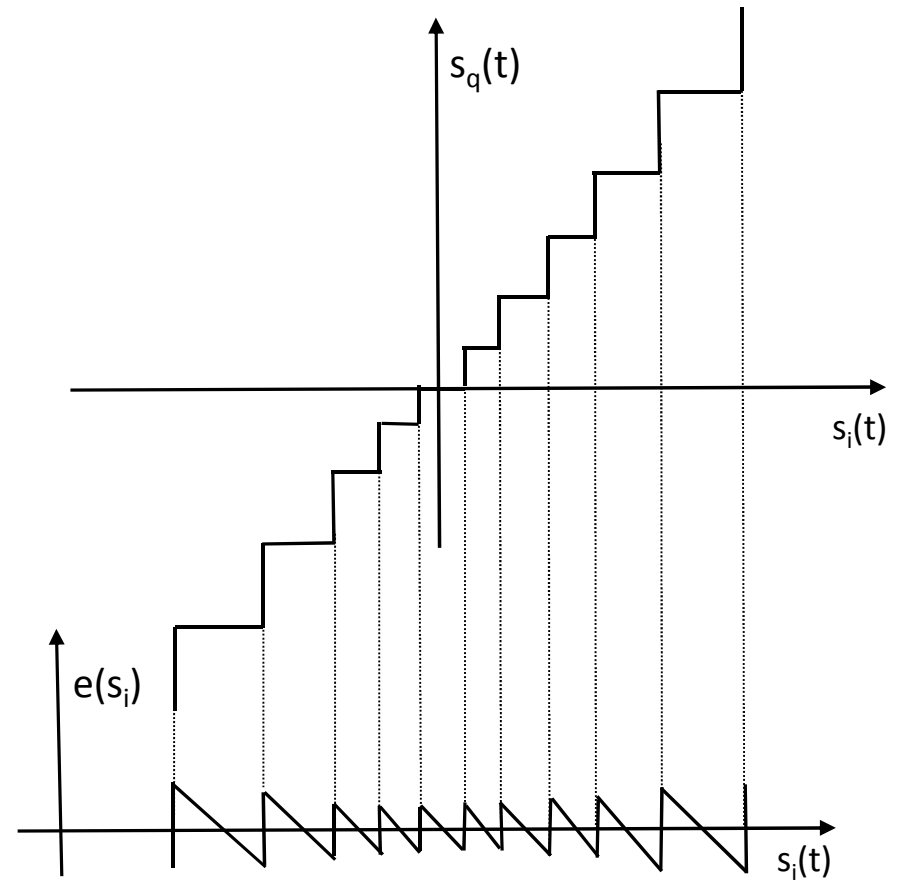
# Conversia A/D a semnalului vocal



- Cuantizarea uniformă și neuniformă



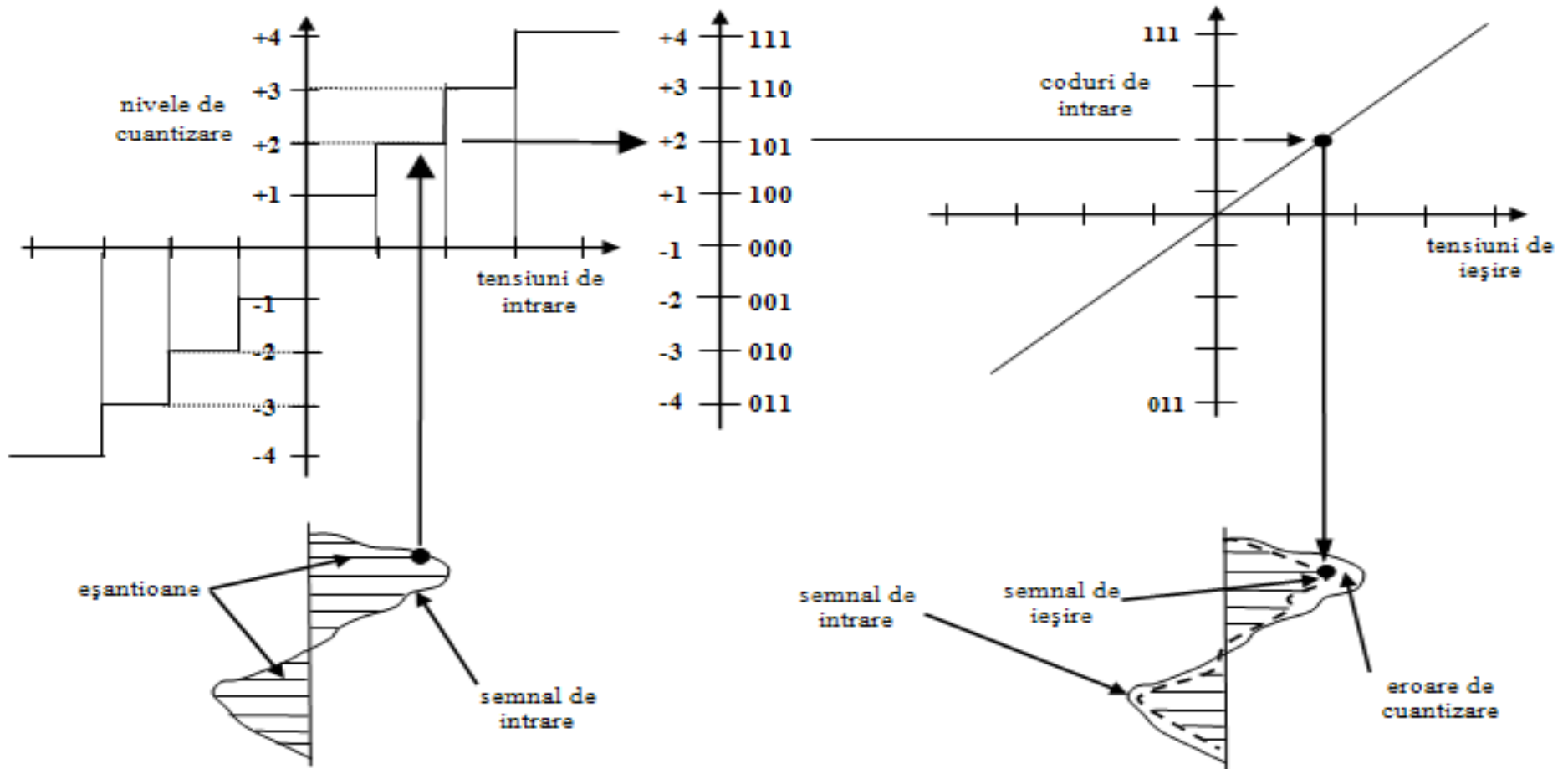
Tehnici de cuantizare a) cuantizare uniformă.



b) cuantizare neuniformă

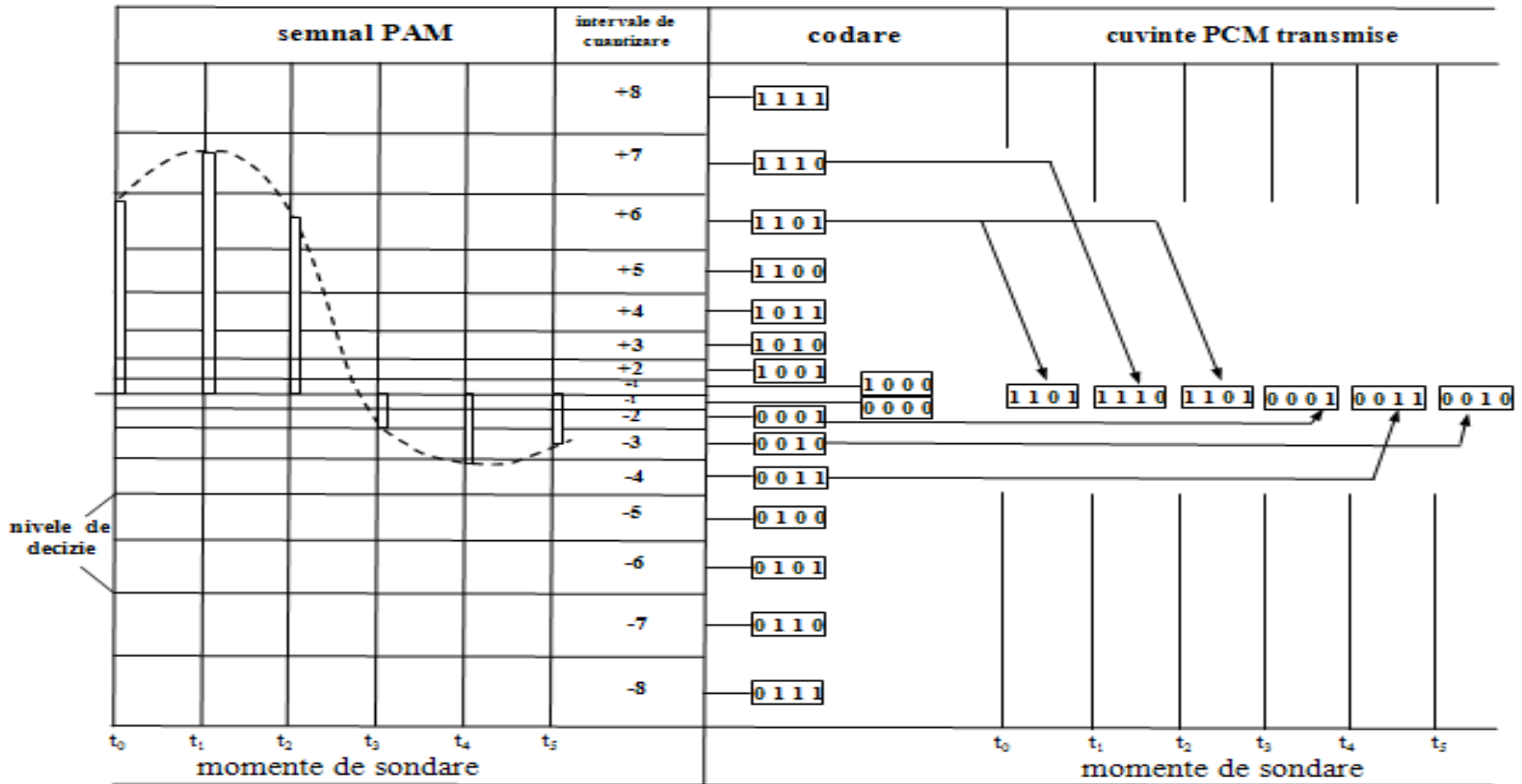


# Conversia A/D a semnalului vocal



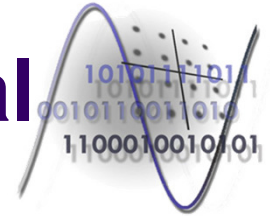
Ilustrarea procesului de modulare (codare) și demodulare (decodare) PCM, în cazul cuantizării uniforme cu 3 biți/eșantion

# Conversia A/D a semnalului vocal



Ilustrarea procesului de modulare (codare) și demodulare (decodare) PCM, în cazul cuantizării neuniforme cu 3 biți/eșantion.

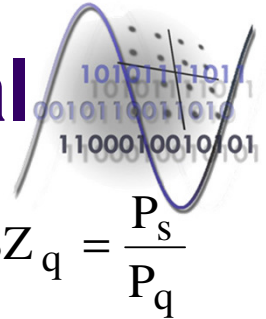
# Conversia A/D a semnalului vocal



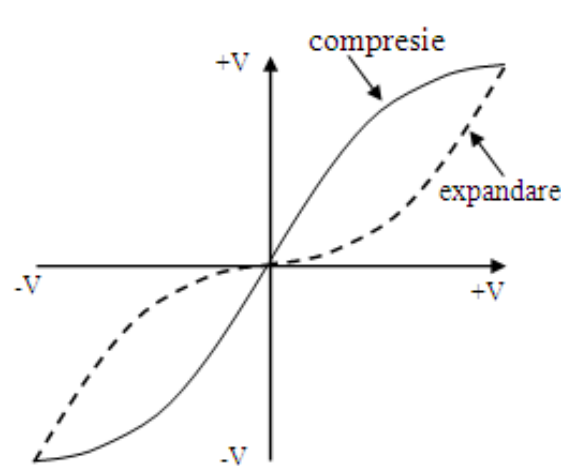
- Raportul semnal/zgomot de cuantizare;
  - Eroarea de cuantizare este considerat ca și un zgomot;
  - O expresie generală a valorii medii a puterii zgomotului de cuantizare este dată de relația:
$$P_q = \sum_{i=1}^N p_i \cdot P_{qi}$$
    - N este numărul intervalelor de cuantizare;
    - $p_i$  este probabilitatea ca semnalul de transmis să cadă în intervalul de cuantizare i;
    - $P_{qi}$  este puterea zgomotului de cuantizare în intervalul i.
  - Dacă gama dinamică a semnalului de transmis este 2V și lățimile intervalelor de cuantizare sunt  $\Delta_i$ , atunci probabilitățile  $p_i$  sunt:  $p_i = \frac{\Delta_i}{2V}$
  - Eroarea de cuantizare este distribuită uniform într-un interval de cuantizare și puterea zgomotului de cuantizare în intervalul i este dată de relația:

$$P_{qi} = \int_{-\frac{\Delta_i}{2}}^{+\frac{\Delta_i}{2}} \frac{1}{\Delta_i} \cdot e^{-r^2} \cdot de_r = \frac{\Delta_i^2}{12}$$

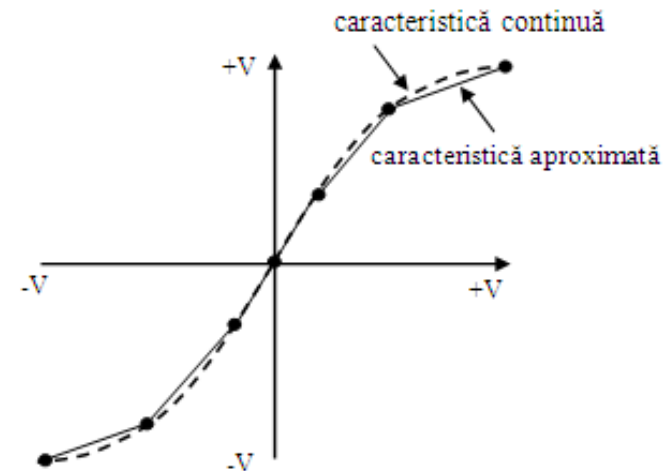
# Conversia A/D a semnalului vocal



- Raportul semnal/zgomot de cuantizare,  $RSZ_q$  se definește:  $RSZ_q = \frac{P_s}{P_q}$
- Implementarea cuantizării neuniforme:
  - Utilizarea unor convertoare cu cuantizare neuniforme;
  - Utilizarea unor convertoare cu cuantizare liniară combinate cu circuite de compresie/expandare a semnalului de voce/semnalului decodat;
  - Caracteristicile de compresie/expandare pot fi continue sau segmentate



a) Caracteristică continuă



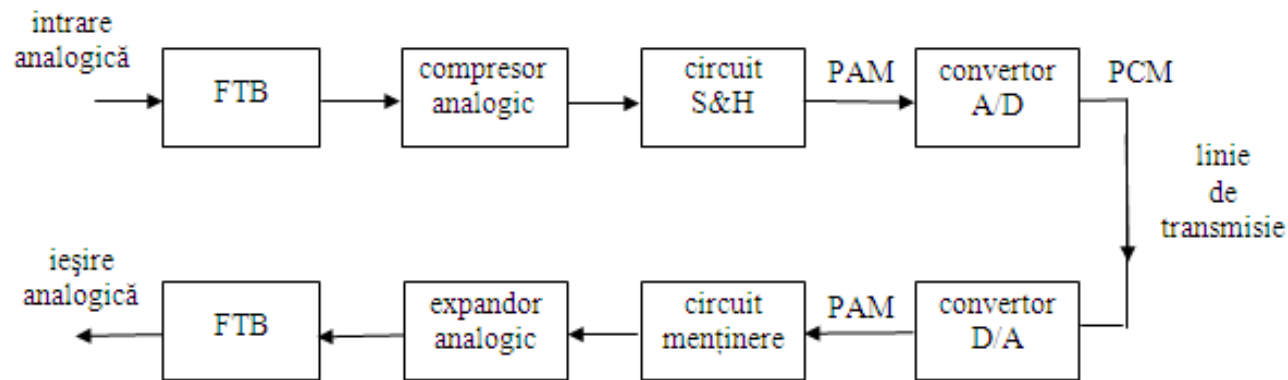
b) Caracteristică segmentată

Caracteristici de compresie și expandare continue și segmentate

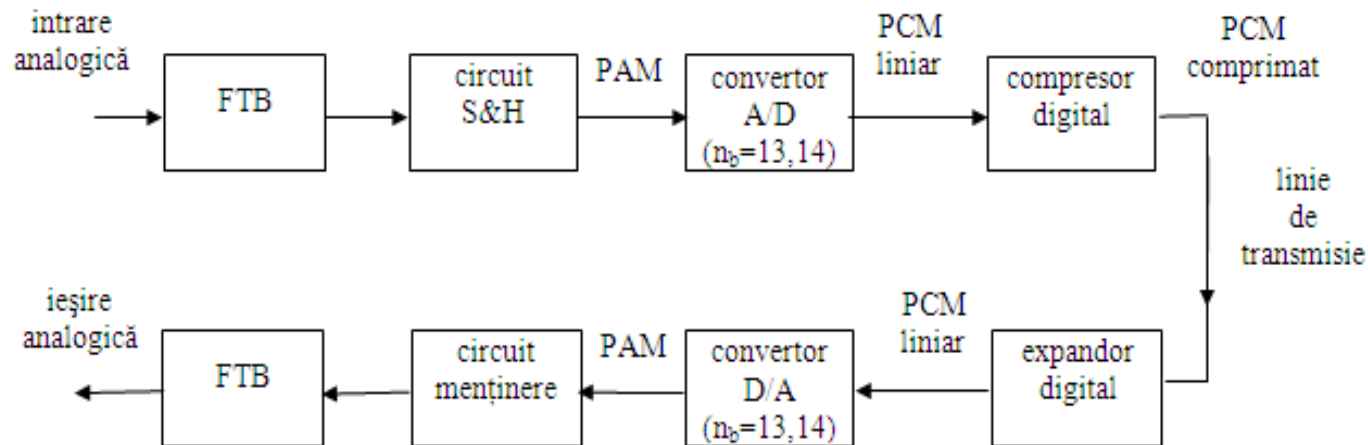
# Conversia A/D a semnalului vocal



- Realizarea cuantizării neuniforme se poate realiza prin compandare la nivel analogic sau digital:

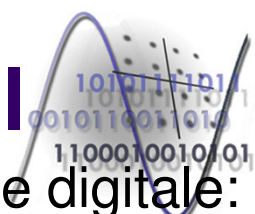


Secvența de procesări necesară modulării – demodulării PCM în cazul compandării analogice



Secvența de procesări necesară modulării – demodulării PCM în cazul compandării digitale

# Conversia A/D a semnalului vocal



- Legi de compandare și expandare utilizate în sisteme telefonice digitale:
  - Legea de compresie  $\mu$  este descrisă de relația următoare:

$$y = \frac{\text{sgn}(x) \cdot \ln(1 + \mu \cdot |x|)}{\ln(1 + \mu)} \quad ; \quad -1 \leq x \leq 1 \quad \quad x = \text{sgn}(y) \cdot \frac{1}{\mu} \cdot \left[ (1 + \mu)^{|y|} - 1 \right] \quad ; \quad -1 \leq y \leq 1$$

- Legea de compresie A este descrisă de relația următoare, pentru valori de intrare  $x \geq 0$ :

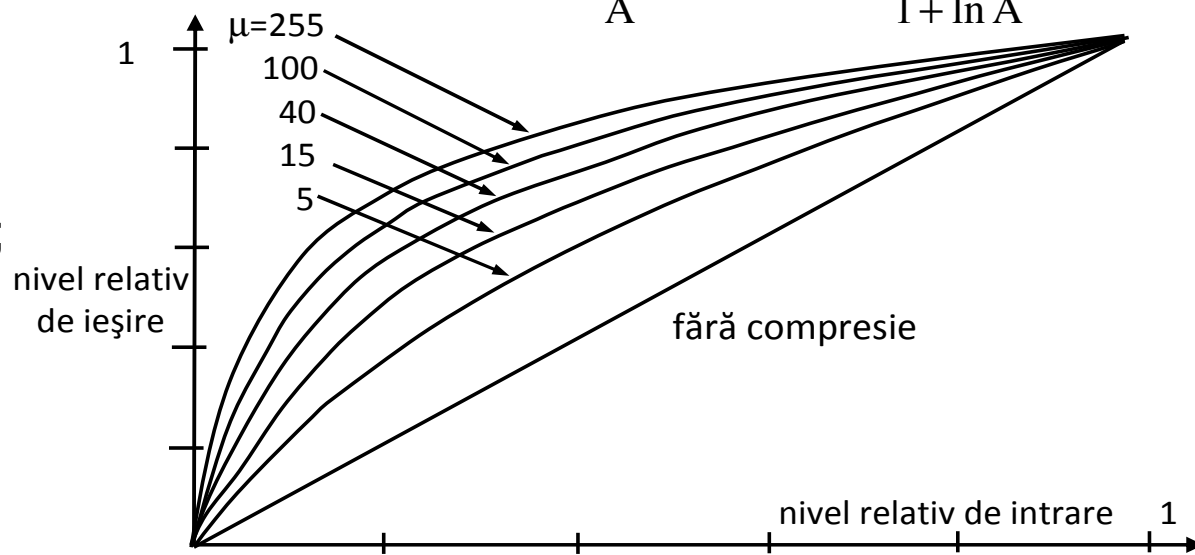
$$y = \frac{1 + \ln(Ax)}{1 + \ln(A)} \quad ; \quad \text{pentru } \frac{1}{A} < x < 1$$

$$y = \frac{Ax}{1 + \ln(A)} \quad ; \quad \text{pentru } 0 < x < \frac{1}{A}$$

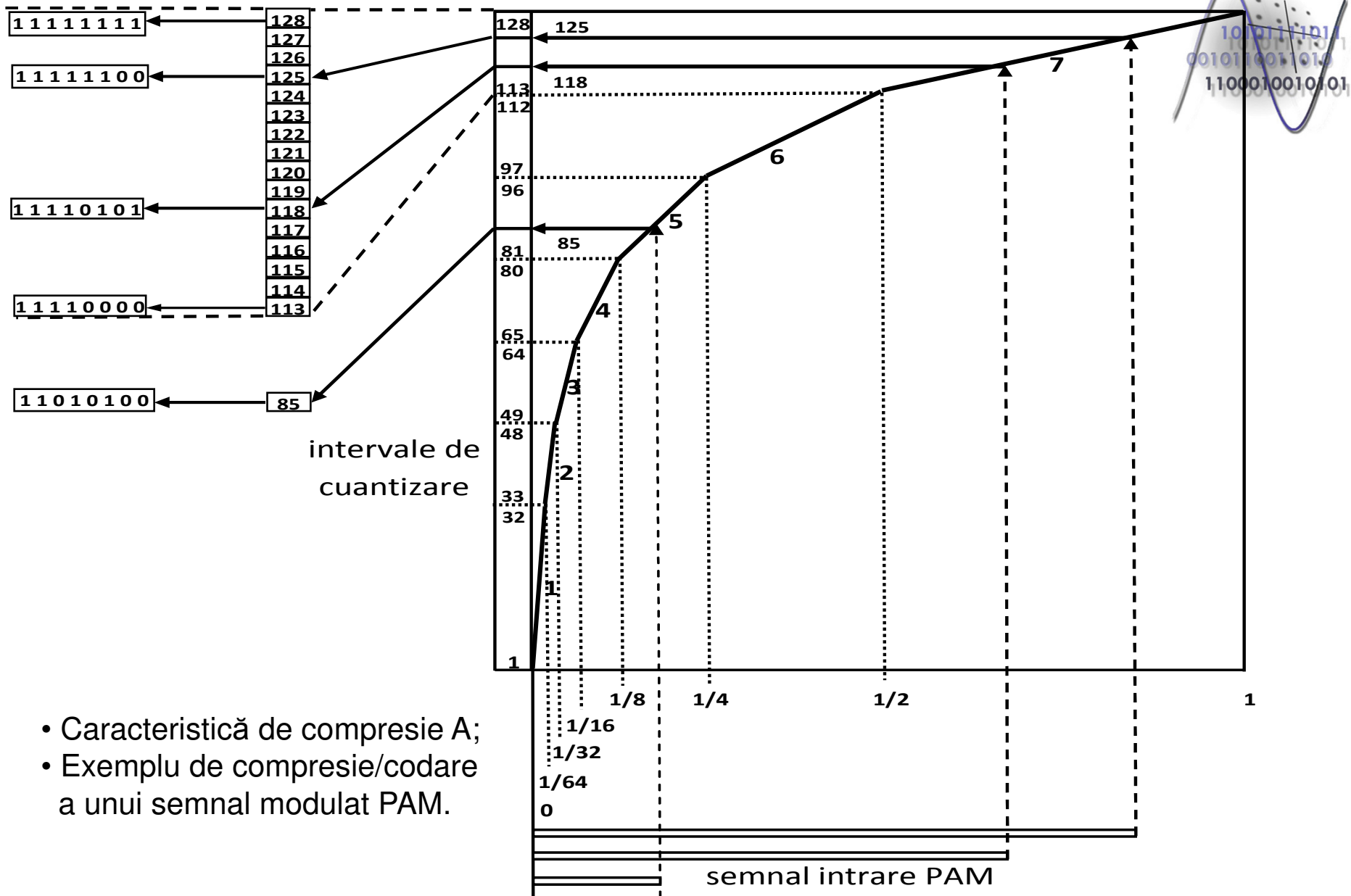
$$x = \frac{y \cdot (1 + \ln(A))}{A} \quad ; \quad 0 \leq y \leq \frac{1}{1 + \ln A}$$

$$x = \frac{\exp(y \cdot (1 + \ln(A))) - 1}{A} \quad ; \quad \frac{1}{1 + \ln A} \leq y \leq 1$$

- Caracteristica de compresie  $\mu$ ;
- Efectul parametrului  $\mu$  asupra caracteristicii de compresie.



# Conversia A/D a semnalului vocal



- Caracteristică de compresie A;
- Exemplant de compresie/codare a unui semnal modulat PAM.

# Modulația DPCM



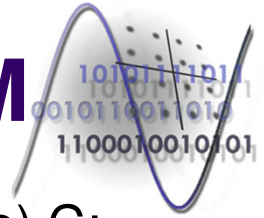
- Dezavantaj modulație PCM:
  - Banda necesară transmisiei este mare – eficiență spectrală scăzută;
  - Reducerea benzii de transmisie se poate realiza prin exploatarea corelației dintre eșantioanele semnalului transmis;
    - Utilizarea corelației dintre eșantioane reprezintă ideea de bază a modulației PCM diferențiale;
- Modulația DPCM:
  - Se prezice eșantionul următor pe baza eșantioanelor anterioare și se codează (cuantizează) doar diferența dintre eșantionul curent,  $x(kT_e) = x_k$ , și cel prezis,  $\hat{x}_k(kT_e) = \hat{x}_k$ ;
  - Dacă semnalul diferență are o gamă dinamică mai redusă cuantizarea se poate realiza pe mai puțini biți;
    - debitul de transmisie se reduce;

$$d_k = x_k - x_{k-1}$$

$$\overline{d_k^2} = \overline{(x_k - x_{k-1})^2} = \overline{x_k^2 + x_{k-1}^2 - 2x_k \cdot x_{k-1}} = \overline{2x_k^2} - \overline{2x_k \cdot x_{k-1}}$$



# Modulația DPCM



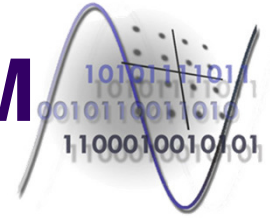
- Se definește coeficientul de corelație (sau factorul de corelație)  $C$ :

$$C = \frac{\overline{x_k \cdot x_{k-1}}}{\overline{x_k^2}} \Rightarrow \overline{d_k^2} = 2\overline{x_k^2} \cdot (1 - C)$$

$$\begin{cases} 1. \text{daca } C > 0.5 \Rightarrow \overline{d_k^2} < \overline{x_k^2} \\ 2. \text{daca } C < 0.5 \Rightarrow \overline{d_k^2} > \overline{x_k^2} \end{cases}$$

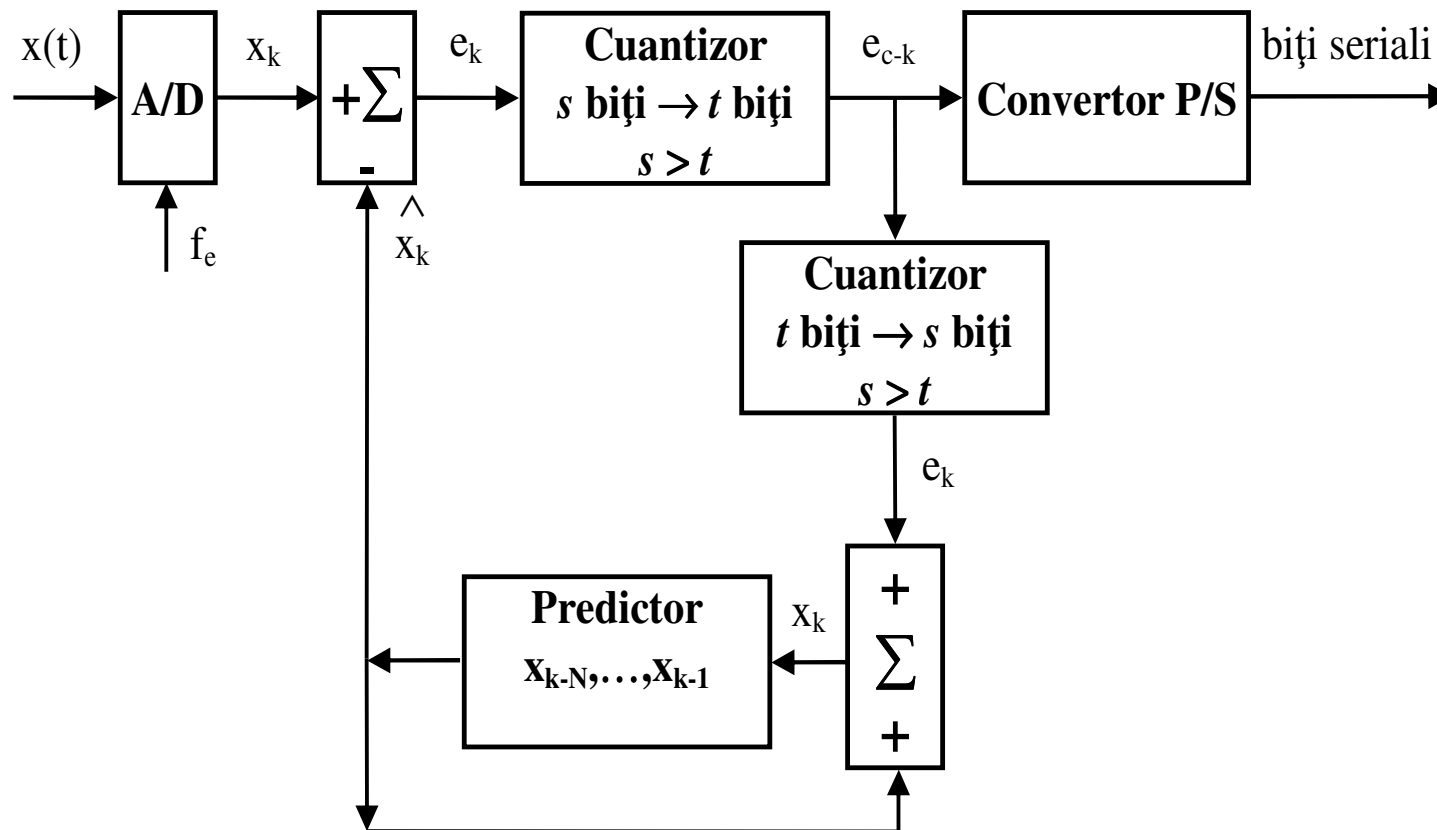
- Dacă  $C < 0.5$  nu merită utilizat DPCM;
  - eșantioanele sunt decorelate și reducerea de debit este mică;
- Dacă  $C > 0.5$  DPCM merită utilizat DPCM;
  - eșantioanele sunt corelate și reducerea de debit poate fi semnificativă;
- Dezavantajele DPCM față de transmisia PCM:
  - este mai complexă – este necesar un circuit de predicție a eșantionului curent pe baza eșantioanelor anterioare;
  - nu se poate utiliza cu aceeași parametrii pentru transmisii de voce și date;
  - dacă apar erori pe linie sunt afectate mai multe eșantioane.

# Modulația DPCM

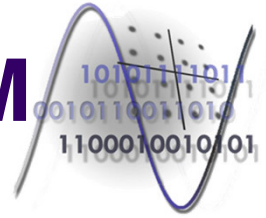


- Schema bloc a codorului DPCM:

- Predictorul lucrează cu N eșantioane;

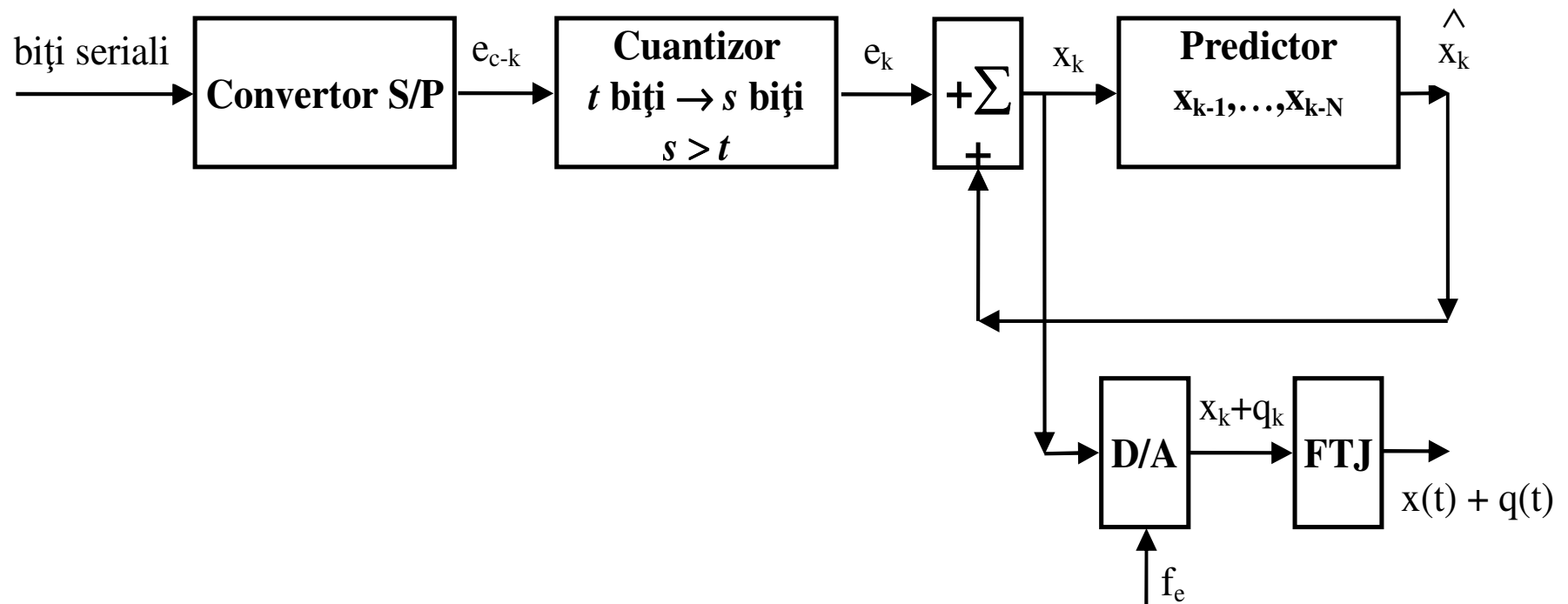


# Modulația DPCM

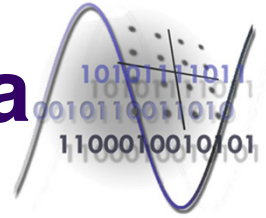


- Schema bloc a decodorului DPCM:

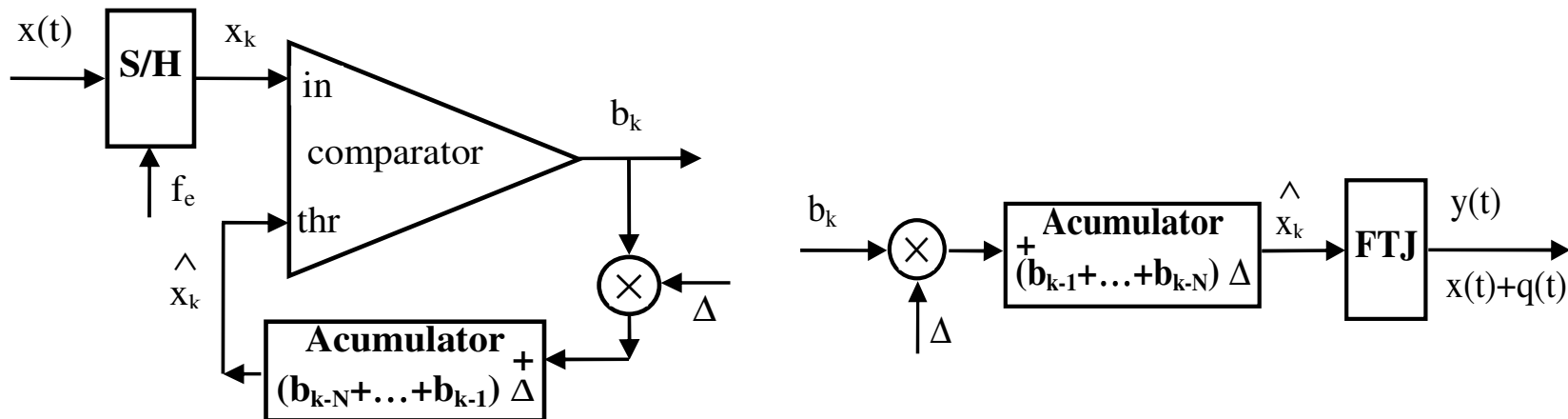
- Predictorul lucrează cu  $N$  eșantioane;
- $q_k$  – eroarea de cuantizare;



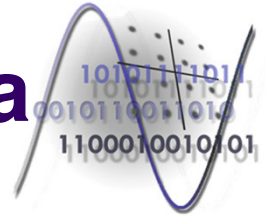
# Modulația Delta



- Modulația Delta liniară;
  - Caz particular de modulație DPCM;
  - Cuantizarea semnalului de eroare se face pe un singur bit;
  - Este necesară o corelație puternică între eșantioanele consecutive;
  - Actualizarea semnalului prezis se realizează pe baza unei metode fixe, independente de legea de variație a eșantioanelor anterioare;
  - Schema bloc a modulatorului și a demodulatorului:



# Modulația Delta



- Relațiile de bază;

- Descriu modul de calcul de bitului curent, a semnalului prezis și a cuantei:

- calculul bitului curent transmis:
 
$$\begin{cases} x_k \geq \hat{x}_k = y_k \Rightarrow b_k = '1' (+1) \\ x_k < \hat{x}_k = y_k \Rightarrow b_k = '0' (-1) \end{cases}$$

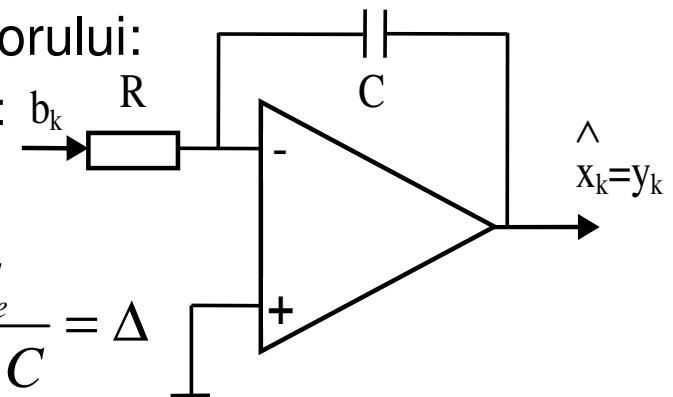
- calculul semnalului prezis (ecuația acumulatorului):  $y_{k+1} = y_k + b_k \cdot \Delta_k$

- calculul pasului de cuantizare:  $\Delta_k = f(\Delta_{k-1}, b_k, b_{k-1}, \dots, b_{k-N})$

- În cazul modulației Delta fixe pasul de cuantizare este constant =  $\Delta$ ;

- Moduri posibile de implementare a acumulatorului:

- implementare analogică utilizând un integrator:



$$|\Delta V_c| = \frac{1}{R \cdot C} \int_0^{T_e} b_k dt = \frac{b_k \cdot T_e}{R \cdot C} = \Delta; \text{daca } b_k = 1 \Rightarrow \frac{T_e}{R \cdot C} = \Delta$$

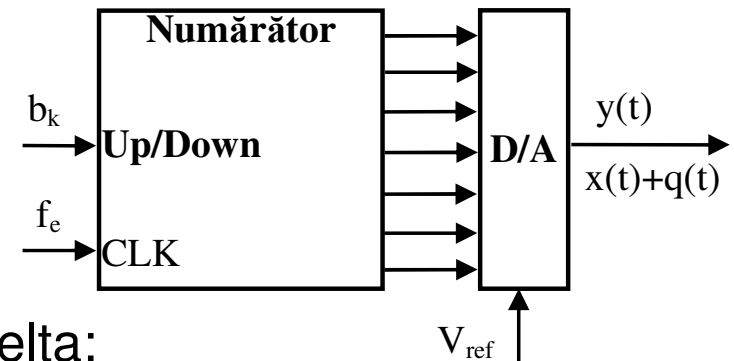
# Modulația Delta



- implementarea utilizând un numărător și convertor D/A:

- $N$  – numărul de biți ai convertorului D/A;

$$\Delta_{Delta} = \Delta_{convertor\ D/A} = \frac{V_{ref}}{2^N}$$



- Distorsiunile caracteristice modulației Delta:

- distorsiunea de neurmărire de pantă:

- apare în situația în care viteza de variație a semnalului sursă este mai mare decât viteza de variație a semnalului prezis;

- distorsiunea de granularitate:

- reprezintă un zgomot de cuantizare;
  - apare în momentul în care viteza de variație a semnalului sursă este mai mică decât viteza de variație a semnalului prezis;

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{panta semnal sursa} = \left| \frac{dx(t)}{dt} \right| \\ \text{panta semnal Delta} = \frac{\Delta}{T_e} \end{array} \right.$$

- Calculul puterii zgomotului de cuantizare și a RSZ cuantizare:

- se consideră  $f_e = 2f_m$  ( $f_m$  - frecvența maximă din spectru);

# Modulația Delta



- se consideră că nu avem distorsiune de neurmărire de pantă și că puterea semnalului,  $P$ , se poate exprima în funcție de panta acestuia:

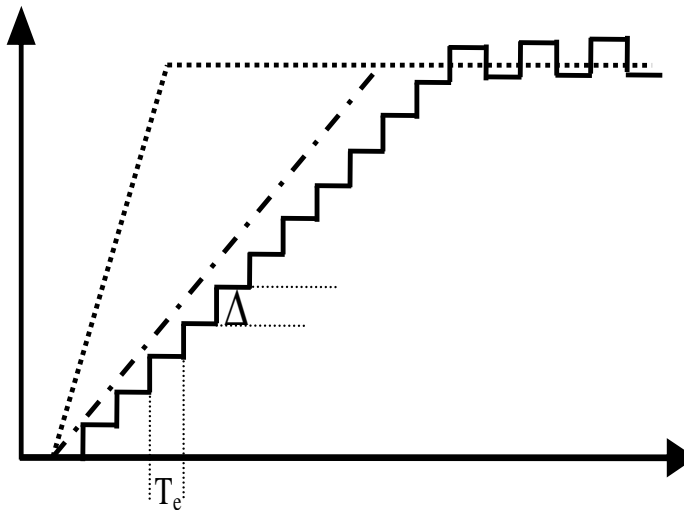
- zgomotul de cuantizare se calculează astfel:

$$P_{zg-q} = \frac{\Delta^2}{12} \cdot \frac{f_e}{f_e} = \frac{\Delta^2}{12} \cdot \frac{2f_m}{f_e} = \frac{\Delta^2 \cdot f_m}{6f_e}$$

$$SNR_{Delta} = \frac{P}{P_{zg-q}} = \frac{6 \cdot f_e^3}{K^2 \cdot f_m}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \left| \frac{dx(t)}{dt} \right| = \Delta \cdot f_e \\ \left| \frac{dx(t)}{dt} \right| \approx K \cdot \sqrt{P} \end{array} \right.$$

- ilustrarea distorsiunilor ce afectează modulația Delta:

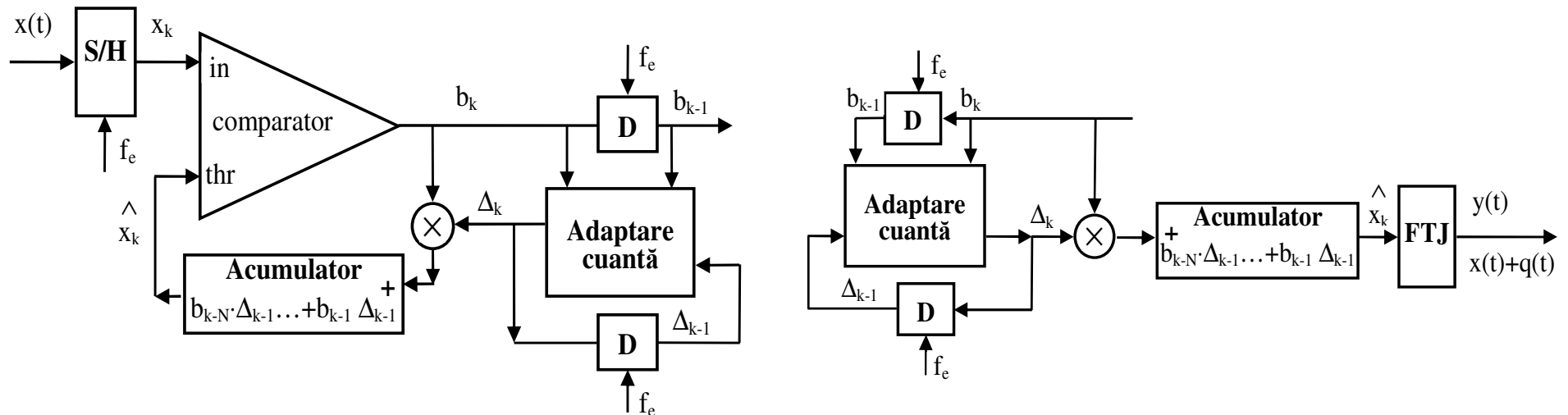


$$\left\{ \begin{array}{l} P = \frac{\Delta^2 \cdot f_e^2}{K^2} \\ P_{zg-q} = \frac{\Delta^2}{12} \end{array} \right.$$

# Modulația Delta



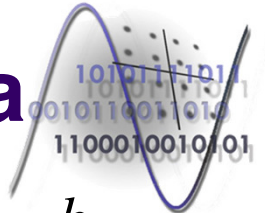
- Modulația Delta adaptivă;
  - Se modifică adaptiv cuanta în funcție de viteza de variație a semnalului sursă;
  - Măsurarea pantei se realizează pe baza biților modulați;
  - Schema codorului și a decodorului Delta adaptiv:



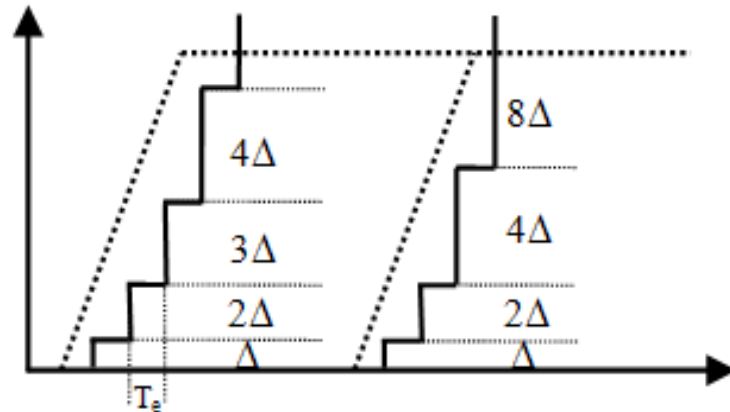
- Tipuri de modulații Delta adaptive – în funcție de regula de modificare a cuantei:
  - Modulația Song;
  - Modulația Jayant;



# Modulația Delta



- Modulația Song;
  - Regula de modificare a cuantei:
- Modulația Jayant;
  - Regula de modificare a cuantei:



$$\begin{cases} \Delta_k = \Delta_{k-1} + \Delta & \text{daca } b_k = b_{k-1} \\ \Delta_k = \Delta_{k-1} - \Delta & \text{daca } b_k \neq b_{k-1} \\ \text{daca } \Delta_k < \Delta \Rightarrow \Delta_k = \Delta \end{cases}$$

$$\Delta_k = \Delta_{k-1} \cdot p^{\text{sgn}(b_k \cdot b_{k-1})}$$

$$\begin{cases} \Delta_k = \Delta_{k-1} \cdot p & \text{daca } b_k = b_{k-1} \\ \Delta_k = \Delta_{k-1} / p & \text{daca } b_k \neq b_{k-1} \end{cases}$$

- Determinarea zgomotului de cuantizare a modulației Delta:
  - Se poate utiliza eroarea medie pătratică dintre semnalul sursă și cel prezis:

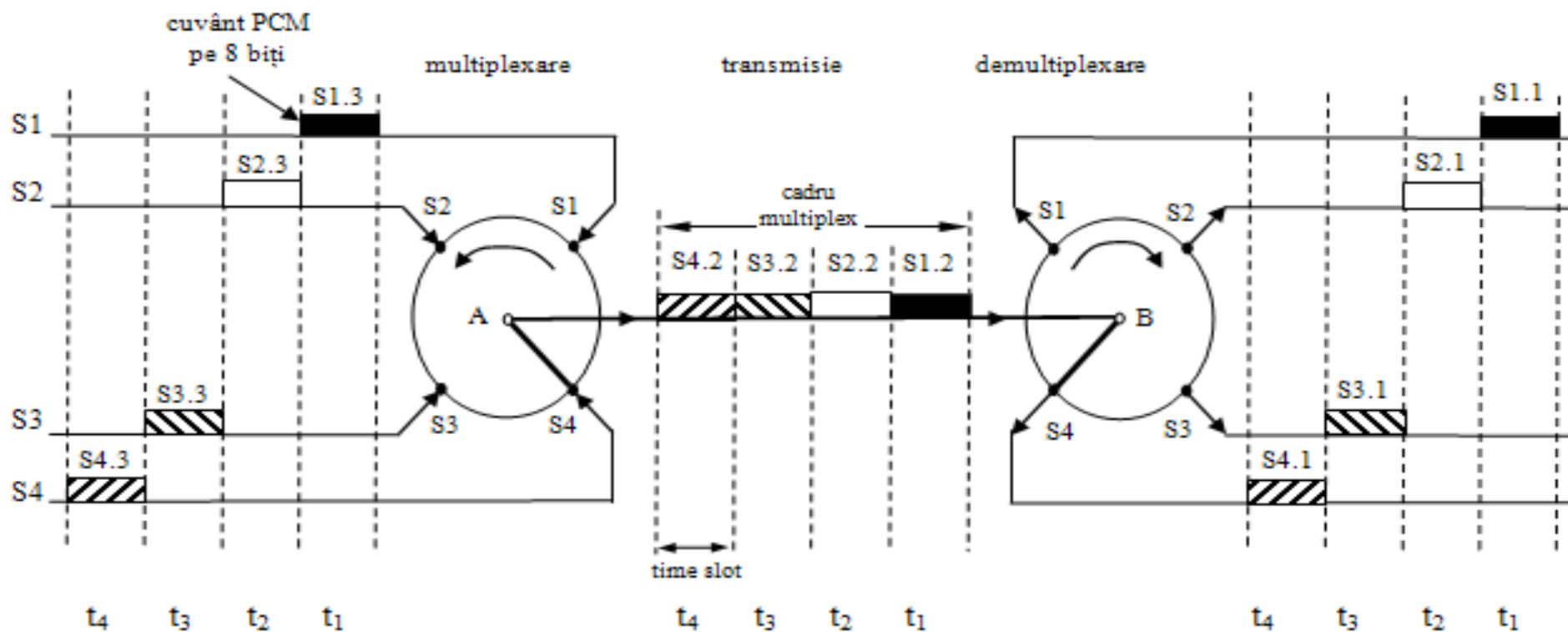
$$epm = \frac{\sum_{k=1}^M (x_k - \bar{x}_k)^2}{M}$$

- semnalul prezis reprezintă practic semnalul demodulat;

# Multiplexul primar PCM

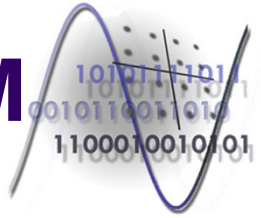


- Principiul multiplexării PCM:



- Multiplexarea PCM este primul nivel de multiplexare;
  - se utilizează multiplexarea în timp la nivel de canal telefonic, procesul de multiplexare fiind strâns legat și de procesul de comutație;

# Multiplexul primar PCM

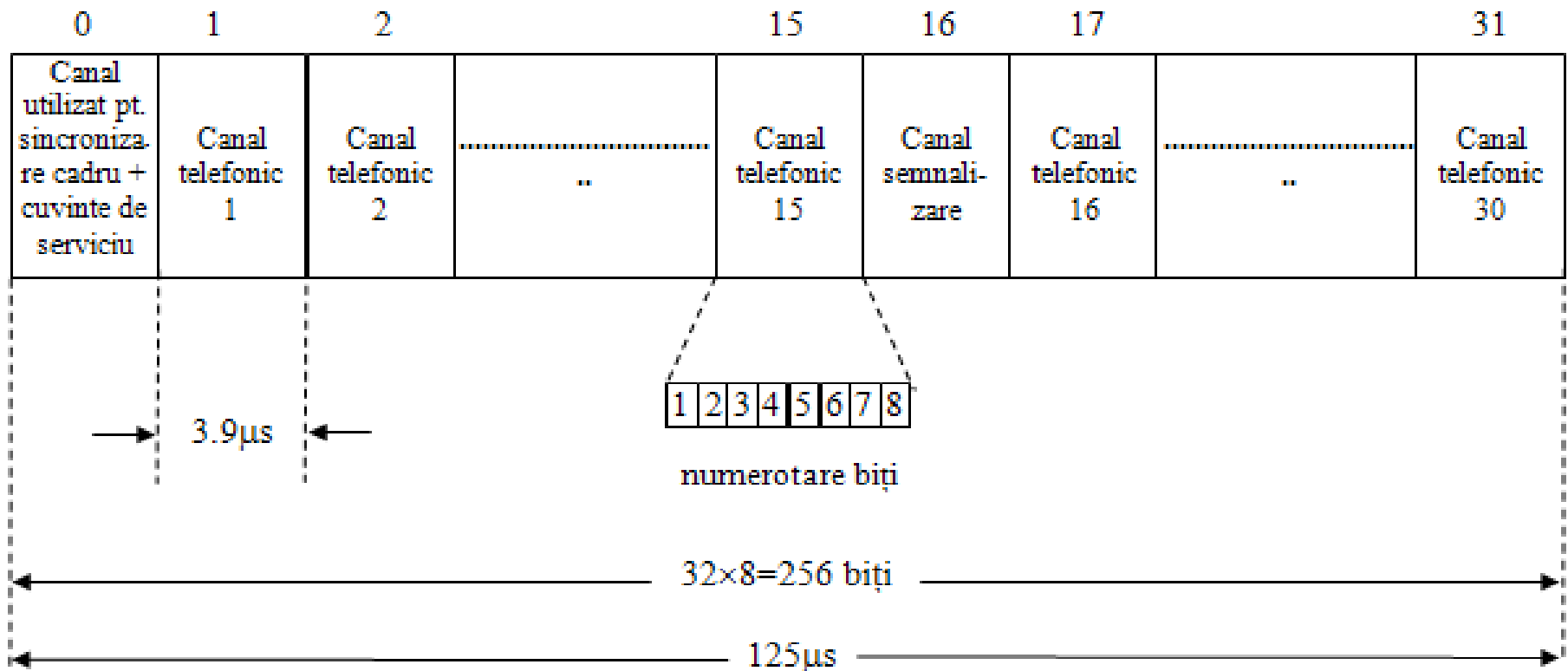


- cuvintelor PCM pe 8 biți este alocat un interval de timp – *time slot*, interval în care este transmis;
- cuvintele PCM generate de surse diferite sunt intercalate, fiecărui cuvânt corespunzând un „slot” de timp separat;
- debitul asociat cadrului multiplex trebuie să fie de N ori mai mare decât debitul caracteristic unui canal multiplexat, N fiind numărul de canale multiplexate;
- demultiplexarea implică identificarea intervalelor de timp alocate diferitelor canale și trimiterea cuvintelor extrase din „sloturile” de timp la destinație cu debitul caracteristic echipamentelor de la destinație;

# Cadrul PCM E1. Structură și operații

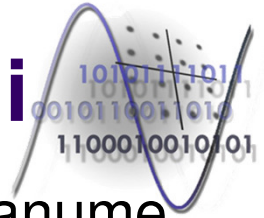


- Structură cadrului E1:



- Cadrul E1 conține un număr de 32 de canale de 64kbps;
  - debitul asociat acestui cadru este de 2,048Mbps; precizie tact: ±50ppm;
  - se pot defini și cadre parțiale cu un număr mai mic de canale disponibile;

# Cadrul PCM E1. Structura și operații



- 30 de canale sunt utilizate pentru transmisiile de voce și anume canalele 1 ÷ 15 și 17 ÷ 31;
- Canalul („slotul”) 0 este utilizat pentru sincronizare cadru și biți de serviciu;
- Canalul 16 este utilizat pentru sincronizare multicadru, biți de serviciu și semnalizări;
  - este un canal dedicat semnalizărilor;
- Există două moduri de operare pe canalul 16 și anume:
  - semnalizare asociată canalului – CAS (*Channel Associated Signaling*);
  - semnalizare cu canal comun CCS (*Common Channel Signaling*);
  - pentru gestionarea semnalizărilor CAS se alcătuește un multicadru format din 16 cadre PCM;
- Dacă legătura E1 se utilizează pentru transmisiile de date, (de ex. transportul de cadre Ethernet) nu se definesc canale/sloturi;
  - este vorba doar un flux de biți de 2.048Mbps la dispoziția utilizatorului;

# Cadrul PCM E1. Structura și operații



- Există două moduri de operare pe canalul 0 și anume:
  - mod normal fără CRC (*Cyclic Redundancy Check*);
  - mod CRC-4, care utilizează control al erorilor de tip CRC;
- Structura multicadrului PCM E1:
  - operare normală pe „slot” 0 și semnalizare CAS pe „slot” 16;

Număr cadru	Slot de timp 0 număr bit								Slot de timp 16 număr bit							
	1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	5	6	7	8
0	Y	0	0	1	1	0	1	1	0	0	0	0	X	Z	X	X
1	Y	1	Z	X	X	X	X	X	Semnaliz. can. 1	Semnaliz. can. 16						
2	Y	0	0	1	1	0	1	1	Semnaliz. can. 2	Semnaliz. can. 17						
3	Y	1	Z	X	X	X	X	X	Semnaliz. can. 3	Semnaliz. can. 18						
4	Y	0	0	1	1	0	1	1	Semnaliz. can. 4	Semnaliz. can. 19						
5	Y	1	Z	X	X	X	X	X	Semnaliz. can. 5	Semnaliz. can. 20						
6	Y	0	0	1	1	0	1	1	Semnaliz. can. 6	Semnaliz. can. 21						
7	Y	1	Z	X	X	X	X	X	Semnaliz. can. 7	Semnaliz. can. 22						
8	Y	0	0	1	1	0	1	1	Semnaliz. can. 8	Semnaliz. can. 23						
9	Y	1	Z	X	X	X	X	X	Semnaliz. can. 9	Semnaliz. can. 24						
10	Y	0	0	1	1	0	1	1	Semnaliz. can. 10	Semnaliz. can. 25						
11	Y	1	Z	X	X	X	X	X	Semnaliz. can. 11	Semnaliz. can. 26						
12	Y	0	0	1	1	0	1	1	Semnaliz. can. 12	Semnaliz. can. 27						
13	Y	1	Z	X	X	X	X	X	Semnaliz. can. 13	Semnaliz. can. 28						
14	Y	0	0	1	1	0	1	1	Semnaliz. can. 14	Semnaliz. can. 29						
15	Y	1	Z	X	X	X	X	X	Semnaliz. can. 15	Semnaliz. can. 30						

- TS0 în cadre pare : Y0011011 – cuvânt sincronizare cadru;
- TS0 în cadre impare: Y1ZXXXX;
- Y bit internațional;
- Z bit de alarmă pierdere sincronizare cadru;
- X bit neutilizat;
- TS16 în cadrul 0 : 0000XZXX ;
- TS16 în cadrele 1 – 15 : semnalizare pentru canalele de voce;
- 0000 – sincronizare multicadru ;
- Z – indicator pierdere sincronizare multicadru ;
- X – neutilizat (biți naționali);

# Cadrul PCM E1. Structura și operații



- Structura multicadrului PCM E1:
  - mod CRC-4 pe „slot” 0;

Număr sub-multicadru	Număr cadru	Tip cadru	Slot de timp 0 număr bit							
			1	2	3	4	5	6	7	8
I	0	FAS	C <sub>1</sub>	0	0	1	1	0	1	1
	1	NFAS	0	1	Z	X	X	X	X	X
	2	FAS	C <sub>2</sub>	0	0	1	1	0	1	1
	3	NFAS	0	1	Z	X	X	X	X	X
	4	FAS	C <sub>3</sub>	0	0	1	1	0	1	1
	5	NFAS	1	1	Z	X	X	X	X	X
	6	FAS	C <sub>4</sub>	0	0	1	1	0	1	1
	7	NFAS	0	1	Z	X	X	X	X	X
II	8	FAS	C <sub>1</sub>	0	0	1	1	0	1	1
	9	NFAS	1	1	Z	X	X	X	X	X
	10	FAS	C <sub>2</sub>	0	0	1	1	0	1	1
	11	NFAS	1	1	Z	X	X	X	X	X
	12	FAS	C <sub>3</sub>	0	0	1	1	0	1	1
	13	NFAS	E	1	Z	X	X	X	X	X
	14	FAS	C <sub>4</sub>	0	0	1	1	0	1	1
	15	NFAS	E	1	Z	X	X	X	X	X

FAS – “Frame Alignment Signal” = 0011011;

NFAS – “Not Frame Alignment Signal”;

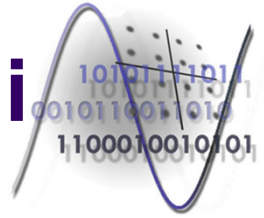
C<sub>1</sub> – C<sub>4</sub> – biți “Cyclic Redundancy Check-4”;

E – biți indicatori de eroare CRC-4;

Z – bit alarmă;

X – biți neutilizați;

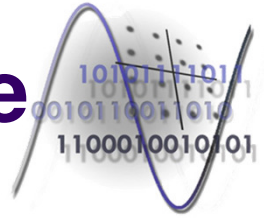
# Cadrul PCM E1. Structura și operații



- În modul CRC-4 pe „slotul” 0 biții Y din cadrele cu număr par din multicadru se folosesc pentru transmiterea unor secvențe CRC pe 4 biți;
  - pe biții Y din cadrele 0, 2, 4 și 6 se transmite o secvență  $C_1 C_2 C_3 C_4$  utilizată pentru detecția erorilor de bit din cadrele 0 – 7 ai multicadrului anterior;
  - pe biții Y din cadrele 8, 10, 12 și 14 se transmite o secvență  $C_1 C_2 C_3 C_4$  utilizată pentru detecția erorilor de bit în cadrele 8 – 15 ai multicadrului anterior;
  - polinomul generator utilizat pentru calculul CRC-4:  $p(x) = x^4 + x + 1$ 
    - probabilitatea de nedetecție pachetelor de erori cu mai mult de 4 erori este 6.25%;
    - probabilitatea de detecție a acestor pachete de erori este 93.75%;
    - se detectează toate pachetele de erori mai scurte sau egale cu 4;
  - Observație: în cadrul normal, fără CRC se pot monitoriza doar 7 biți (biții de sincronizare cadru la fiecare 505 biți);

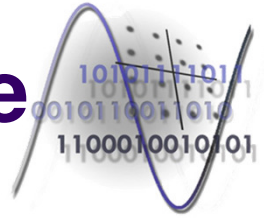


# Cadrul PCM E1. Sincronizare



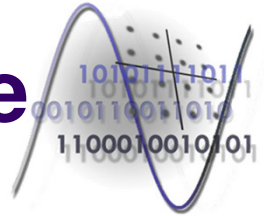
- Aspecte legate de sincronizarea de cadru și multicadru;
  - Detectare pierdere sincronizare cadru:
    - trei cadre consecutive cu eroare FAS sau,
    - bit doi din cadre fără FAS eronat de trei ori consecutiv sau,
    - probabilitate de eroare mai mare de  $10^{-3}$ ;
      - semnalul FAS este monitorizat pentru această detecție de erori;
    - În modul de lucru CRC-4 există 1000 de comparații CRC pe secundă;
      - dacă se depășește un prag de 914 comparații greșite (91.4%) se declară pierdere sincronizare;
      - asigură o sincronizare mai bună evitându-se problema simulării secvenței de sincronizare cadru (FAS);

# Cadrul PCM E1. Sincronizare



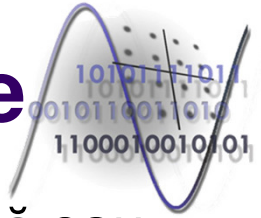
- Aspecte legate de sincronizare cadru și multicadru:
  - Detecție pierdere sincronizare multicadru în cazul CAS:
    - două erori consecutive MFAS sau,
    - două multicadre cu biții din slot 16 egali cu zero;
  - Detecție sincronizare de cadru și multicadru:
    - **Sincronizare cadru normală:**
      - FAS recepționat corect, bit doi din NFAS 1, următorul FAS corect;
    - **Sincronizare multicadru CAS:**
      - recepție MFAS corect și slot 16 din cadru anterior nu este zero;
    - **Sincronizare multicadru CRC:**
      - poziție bit 1 din cadrele NFAS generează secvența: 0 0 1 0 1 1;
        - se realizează atât o sincronizarea inițială de cadru cât și de multicadru;
      - cel puțin 2 CRC MFAS trebuie recepționați corect într-un interval de 8ms (4 CRC-MF), între aceste detecții MFAS trebuie să existe un interval de 2ms sau multiplii ai acestuia;
        - se realizează o verificare și o validare a sincronizării pe baza secvențelor CRC;

# Cadrul PCM E1. Alarme



- Alarme asociate cadrului E1;
  - Bit de alarmă cadru (alarmă distantă):
    - bitul Z din slot 0 (numit și bit A);
      - alarmă galbenă – “yellow alarm” – transmisă către capătul opus;
      - valoare 0 – operație normală, valoare 1 – eveniment alarmă: cădere alimentare, defect codec, lipsă semnal intrare, eroare FAS, prob eroare pe bit mai mare  $10^{-3}$ ;
        - oricare din aceste evenimente determină declararea unei alarme roșii la capătul unde are loc evenimentul;
        - echipamentul care receptionează bit Z=1, declară alarmă galbenă;
    - Bit de alarmă multicadru (alarmă distantă):
      - bitul Z din slot 16 cadru 0 (numit și bit A);
        - valoare 0 – operație normală, valoare 1 – eveniment alarmă pierdere MFAS (alarmă galbenă transmisă către capătul opus);
    - Bitul Z (sau A) semnalizează alarma distantă – RAI – „Remote Alarm Indication”;

# Cadrul PCM E1. Alarmer



- AIS – „Alarm Indication Signal” – semnal indicator alarmă sau semnal menținere legătură;
  - semnalul AIS reprezintă cel puțin 509 biți “1” într-un bloc de 512 biți sau mai puțin de 3 biți “0” în 2 cadre (în cazul slotului 16, mai puțin de 3 “0” în acest slot pe durata a două multcadre consecutive);
- echipamentul care recepționează semnalul AIS declară alarmă albastră (“blue alarm”);
  - AIS - generat de un multiplexor către echipamentul terminal când detectează o pierdere de cadru, lipsă semnal sau pierdere multcadru;
    - canalele de ieșire se pun în “1” – se permite menținerea sincronizării de tact între echipamente, sau se pune în “1” continuu numai slotul 16 (eroare MFAS) – echipamentul terminal detectează aceste situații și declară stare AIS;
  - AIS - generat de un multiplexor când recepționează o alarmă galbenă de la capătul (multiplexorul) opus – este un semnal de “1” continuu;
    - se permite menținerea sincronizării între multiplexoare;
  - AIS - generat de un multiplexor către echipamentul terminal când recepționează o alarmă galbenă – semnalul AIS poate fi detectat de echipamentul terminal (dacă nu avem LOS sau LOF) și acesta declară stare AIS;

# Cadrul PCM E1. Alarmer

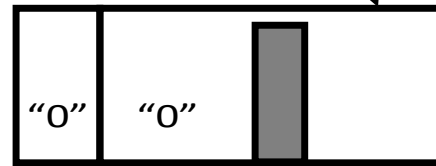
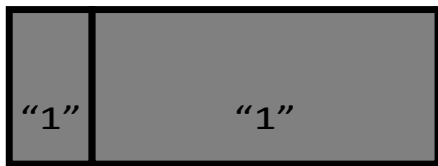


- Evenimentele LOS și LOF determină declararea unei alarme roșii (“red alarm”);
  - În cazul pierderii sincronizării de multicadru se transmite o indicare de alarmă galbenă către partea opusă utilizând bitul Z corespunzător;
    - echipamentele care detectează pierderea sincronizării de multicadru și cele care detectează alarma galbenă multicadru generează un semnal AIS pe slotul 16;



NE – “Network Element”

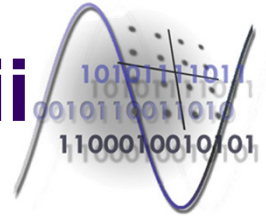
Management alarme și generare semnal AIS



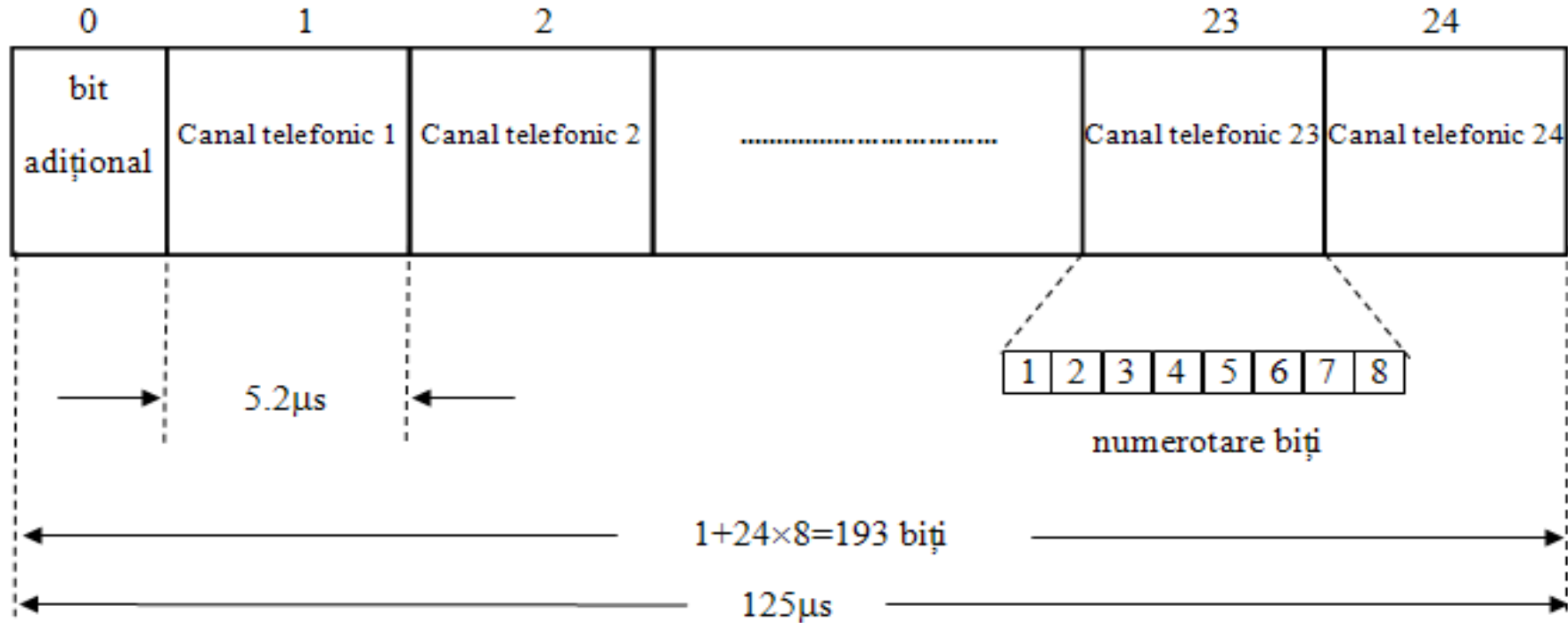
Cadru	Slot de timp 0							
0	Y	0	0	1	1	0	1	1
1	Y	1	<b>Z=1</b>	X	X	X	X	X
2	Y	0	0	1	1	0	1	1
3	Y	1	<b>Z=1</b>	X	X	X	X	X
4	Y	0	0	1	1	0	1	1

Cadru	Slot de timp 16							
0	0	0	0	0	X	<b>Z=1</b>	X	X
1	A <sub>1</sub>	B <sub>1</sub>	C <sub>1</sub>	D <sub>1</sub>	A <sub>16</sub>	B <sub>16</sub>	C <sub>16</sub>	D <sub>16</sub>
2	A <sub>2</sub>	B <sub>2</sub>	C <sub>2</sub>	D <sub>2</sub>	A <sub>17</sub>	B <sub>17</sub>	C <sub>17</sub>	D <sub>17</sub>
3	A <sub>3</sub>	B <sub>3</sub>	C <sub>3</sub>	D <sub>3</sub>	A <sub>18</sub>	B <sub>18</sub>	C <sub>18</sub>	D <sub>18</sub>
4	A <sub>4</sub>	B <sub>4</sub>	C <sub>4</sub>	D <sub>4</sub>	A <sub>19</sub>	B <sub>19</sub>	C <sub>19</sub>	D <sub>19</sub>

# Cadrul PCM T1. Structura și operații

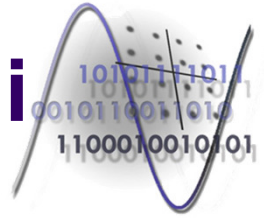


- Structură cadru T1;



- Cadrul multiplex T1 conține 24 de canale telefonice + 1 bit adițional, bitul F;
  - bitul F este utilizat pentru operații de sincronizare sau pentru implementarea unui canal special de date;

# Cadrul PCM T1. Structură și operații



- Tipuri de multicable T1:
  - Supercadru SF (“Supper Frame”);
    - compus din 12 cadre;
    - nu există “slot” separat de sincronizare și de semnalizare;
      - sincronizarea de cadru și de multicable se realizează cu ajutorul bitului suplimentar F;
      - pentru semnalizări asociate canalului se folosește ultimul bit al fiecărui canal din fiecare al șaselea cadru – semnalizare de tip A – B;
        - această tehnică se numește „furt de biți” – „bit robbing”;
      - pentru semnalizare CCS „slotul” numărul 24 din cadrul T1 se utilizează pentru această operație;
      - în cazul cadrului SF alarma galbenă se transmite prin setarea bitului nr. 2 al fiecărui slot la 0;

# Cadrul PCM T1. Structură și operații

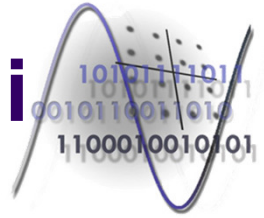


- Structura multicadrului PCM SF T1 cu semnalizare CAS;

Număr cadru	Utilizare bit F		Număr biți info. per canal	Poziție bit semnalizare	Canal semnalizare
	Sincro. cadru	Sincro. multicadru			
1	1	-	8	-	-
2	-	0	8	-	-
3	0	-	8	-	-
4	-	0	8	-	-
5	1	-	8	-	-
6	-	1	7	8	A
7	0	-	8	-	-
8	-	1	8	-	-
9	1	-	8	-	-
10	-	1	8	-	-
11	0	-	8	-	-
12	1	0	7	8	B

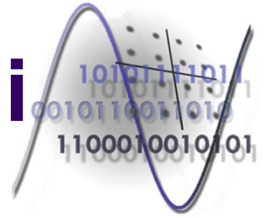


# Cadrul PCM T1. Structură și operații



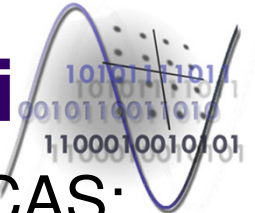
- Tipuri de multicaadre T1:
  - Supercadru ESF (“Extended Supper Frame”);
    - compus din 24 cadre;
    - bitul F se utilizează la sincronizare de cadru și de multicaдру
      - secvență specială de forma 0 0 1 0 1 1 în cadrele cu număr de ordine multiplu de 4;
      - cadrele cu număr impar implementează un canal de date de 4kbps, canalul M (management, control, alarme);
      - în cadrele pare care nu sunt multiplii de 4 se transmite o secvență de control CRC-6;
    - transmisia semnalizărilor se realizează în mod asemănător cu multicaдру SF:
      - bitul al 8-lea al fiecărui canal din fiecare al șaselea cadru se folosește pentru semnalizare CAS;
        - 4 biți pentru semnalizarea CAS pentru un canal: biții A B C și D;

# Cadrul PCM T1. Structură și operații



- mecanismul CRC utilizat detectează toate pachetele de erori cu 6 sau mai puține erori și detectează 98.4% din pachetele de erori cu mai mult de 6 erori;
- pe canalul de date M se pot transmite două tipuri de semnale:
  - semnale orientate pe bit, mesaje neprogramate (“unscheduled messages”);
    - încep cu un octet cu biți “1” urmat de un bit “0”, urmează un identificator de comandă/ mesaj pe 6 biți urmat de un “0”;
    - identificatorul pe 6 biți codează alarme și diferite mesaje: trecere pe linie de rezervă, rebuclare, etc.
    - alarma galbenă se codează: 11111111 00000000;
    - mesajele cu prioritate crescută se transmit continuu cel puțin o secundă, iar cele cu prioritate redusă se repetă de zece ori;
  - semnale orientate pe mesaje – constau din pachete de date formate din antet, adresă, câmp de control, informație și câmp control erori (CRC);
    - se transmit în fiecare secundă și conțin:
      - număr erori CRC, erori sincronizare, violări regulă de codare;
      - sunt controlate de un protocol de transmisie;
      - pot fi întrerupte de semnalele orientate pe bit;

# Cadrul PCM T1. Structură și operații



- Structura multicadrului PCM ESF T1 cu semnalizare CAS;

Număr cadru	Utilizare bit F			Număr biți info. per canal	Pозиție bit semnalizare	Canal Semnalizare
	Sincro. cadru	Legătură date	CRC-6			
1	-	M	-	8	-	-
2	-	-	C <sub>1</sub>	8	-	-
3	-	M	-	8	-	-
4	0	-	-	8	-	-
5	-	M	-	8	-	-
6	-	-	C <sub>2</sub>	7	8	A
7	-	M	-	8	-	-
8	0	-	-	8	-	-
9	-	M	-	8	-	-
10	-	-	C <sub>3</sub>	8	-	-
11	-	M	-	8	-	-
12	1	-	-	7	8	B
13	-	M	-	8	-	-
14	-	-	C <sub>4</sub>	8	-	-
15	-	M	-	8	-	-
16	0	-	-	8	-	-
17	-	M	-	8	-	-
18	-	-	C <sub>5</sub>	7	8	C
19	-	M	-	8	-	-
20	1	-	-	8	-	-
21	-	M	-	8	-	-
22	-	-	C <sub>6</sub>	8	-	-
23	-	M	-	8	-	-
24	1	-	-	7	8	D

# Cadrul PCM T1. Alarmer



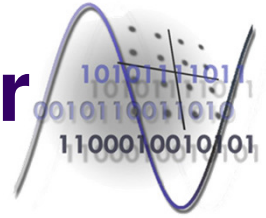
- Se pot defini cadre T1 parțiale cu mai puține canale utilizate;
  - O parte din canale nu sunt accesibile pentru utilizatori;
    - cadrul are alocat un debit util mai mic pentru transmisie;
    - rețeaua de transport va trebui să preia un debit mai mic de la utilizatori;
  - Dacă legătura T1 se utilizează pentru transmisii de date nu se definesc canale/sloturi – bitul de cadrare poate fi păstrat;
- Alarmerle T1 (pe scurt);
  - OOF (“Out Of Frame Condition”): 2 din 4, 2 din 5 sau 3 din 5 biți de sincronizare eronați;
  - Red CFA (“Carrier Failure Alarm”): OOF pentru 2.5s; revenire: dacă nu avem OOF pentru 1s;
  - Yellow CFA – alarmă galbenă transmisă la capătul opus;
  - LOS (“Los Of Signal”): nu există impulsuri detectate într-o fereastră de 175+/-75 perioade de impuls (100 – 250 biți);

# Interfața de linie a multiplexului primar



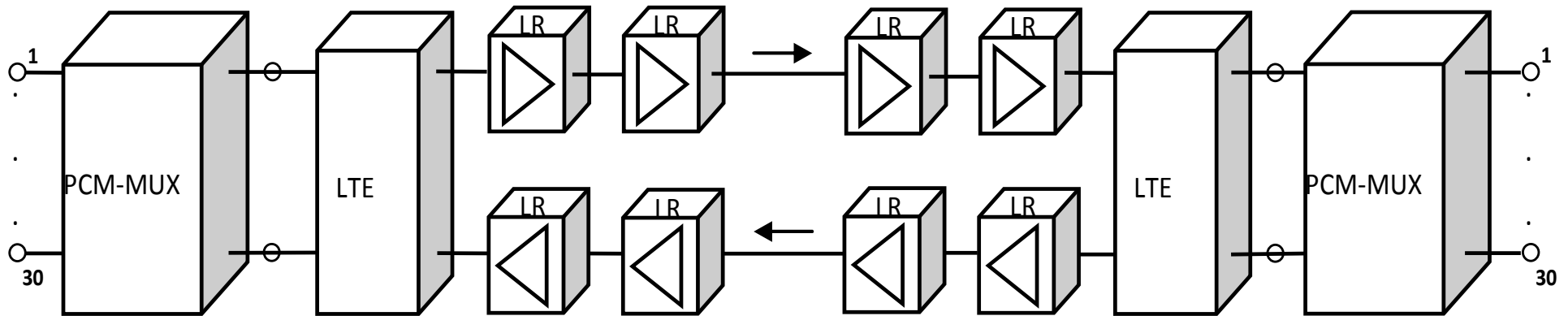
- Transmisia cadrelor E1;
  - Transmisie duplex integral la 4 fire;
    - codare de tip AMI (*Alternate Mark Inversion*);
      - codează biții de 0 logic cu nivele de 0V, iar biții de 1 logic sunt codați alternativ cu impulsuri  $\pm A$ ;
        - nu există componentă continuă (se preîntâmpină saturarea miezului transformatoarelor de separație);
        - are bandă relativ îngustă;
        - decodare simplă;
        - capacitate de sincronizare redusă;
      - se înlocuiește codare AMI cu codarea HDB3 (*High-Density-Bipolar-3 Zeros*);
        - cod ce înlocuiește grupuri de 4 zerouri cu violări ale regulii de codare AMI – se încearcă menținerea componentei continue 0;

# Interfața de linie a multiplexului primar



Ultimul impuls pe linie	Număr de impulsuri de la ultima înlocuire	
	Impar	Par
negativ	0 0 0 -	+ 0 0 +
pozitiv	0 0 0 +	- 0 0 -

- Regula de codare HDB3

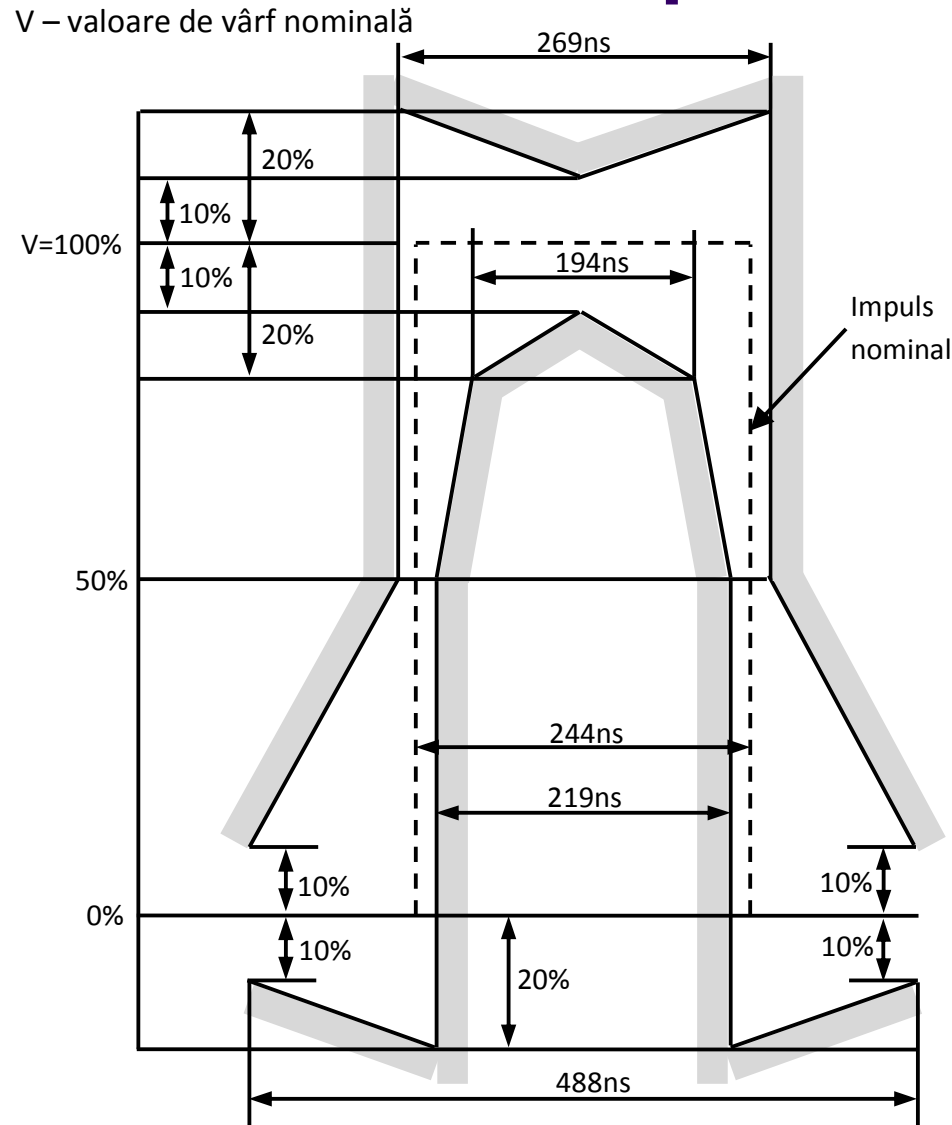


LTE – “Line Terminating Equipment”

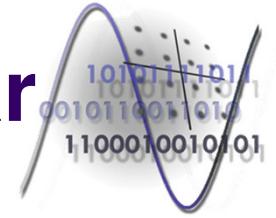
LR – “Line Regenerator”

- Sistem de transmisie E1

# Interfața de linie a multiplexului primar



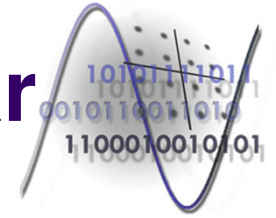
■ Masca impulsului codat



# Interfața de linie a multiplexului primar

- Parametrii interfață de linie (E1):
  - Debitul nominal: 2048kbps;
  - Precizia debitului nominal: cel puțin  $\pm 50$ ppm;
  - Codul de linie: HDB3;
  - Structura cadrului;
  - Mediul de transmisie / Numărul de perechi în fiecare direcție;
    - coaxial; perechi torsadate; 1 cablu coax./ 1 pereche pe sens de transmisie;
  - Impedanța de sarcină:  $75\Omega$  (coaxial),  $120\Omega$  (torsadat);
  - Amplitudinea de vârf: 2.37V – 3V;
  - Nivelul de putere și masca spectrală de putere;
  - Lățimea impulsului: 244ns;
  - Raport amplitudini pozitive și negative: 0.95 – 1.05;
  - Raport lățime impulsuri pozitive / negative: 0.95 – 1.05;
  - Jitter maxim vârf la vârf;
  - Puterea de curent continuu: trebuie să fie cât mai mică;

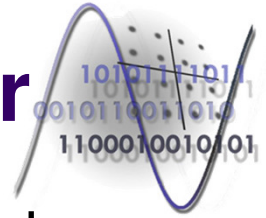




# Interfața de linie a multiplexului primar

- Caracteristici specifice interfeței T1:
  - Transmisia cadrelor T1 este similară transmiterii cadrelor E1;
    - duplex integral la 4 fire cu repețoare din aprox. 1.5 în 1.5km;
  - Codarea utilizată este B8ZS (*“Bipolar with 8 Zero Substitution”*);
    - cod de tip AMI care înlocuiește grupele de 8 biți de zero consecutivi cu o secvență codată de forma: 0 0 0 V B 0 V B ;
      - 3 biți “0”, o violare a regulii de codare AMI, urmat un simbol binar codat normal, un simbol “0”, apoi de o altă violare a regulii de codare AMI și la sfârșit există un simbol codat normal;

# Interfața terminal – multiplexor



- Există definite două tipuri de interfețe între echipamente locale (terminale - multiplexor);
  - Corespund la două strategii de transmisie a datelor și a semnalelor de sincronizare;
  - Interfețe codirecționale;
    - corespund cazului în care fiecare echipament transmite datele împreună cu un semnal de sincronizare propriu;
      - toate echipamentele sunt sincronizate de la o sursă externă;
  - Interfețe contradirecționale;
    - multiplexorul trimite informația de sincronizare pentru ambele direcții de transmisie;
      - nu este necesară sursă de sincronizare externă;

# Interfața terminal – multiplexor



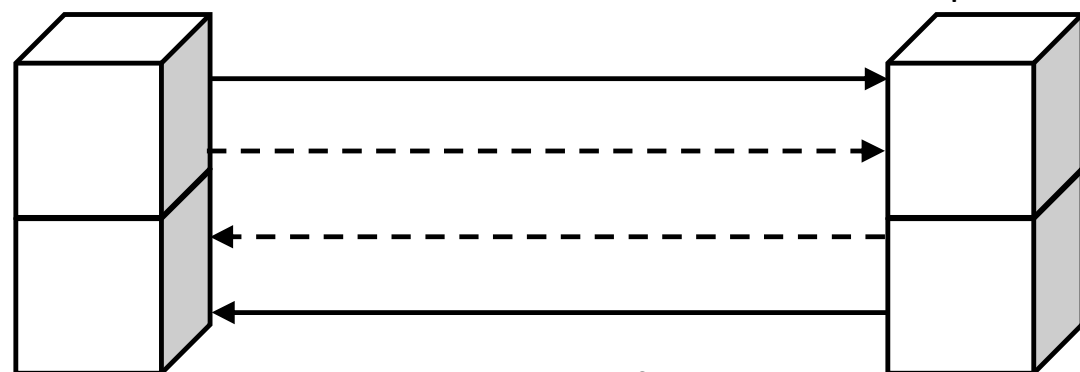
- Interfețe codirecționale;
  - Între echipamente se transmite un semnal complex care conține atât informația cât și semnalele de sincronizare:
    - tact bit și de octet;
  - Este necesar doar un singur canal pe două fire în fiecare direcție;
    - se utilizează de regulă transformatoare separate.
  - Toleranță semnale de tact: max.  $\pm 100$  ppm;
  - Semnalul de tact al fiecărui echipament (multiplexor și echipamente terminale) trebuie să fie sincronizat cu o referință externă;

# Interfața terminal – multiplexor



Echipament date

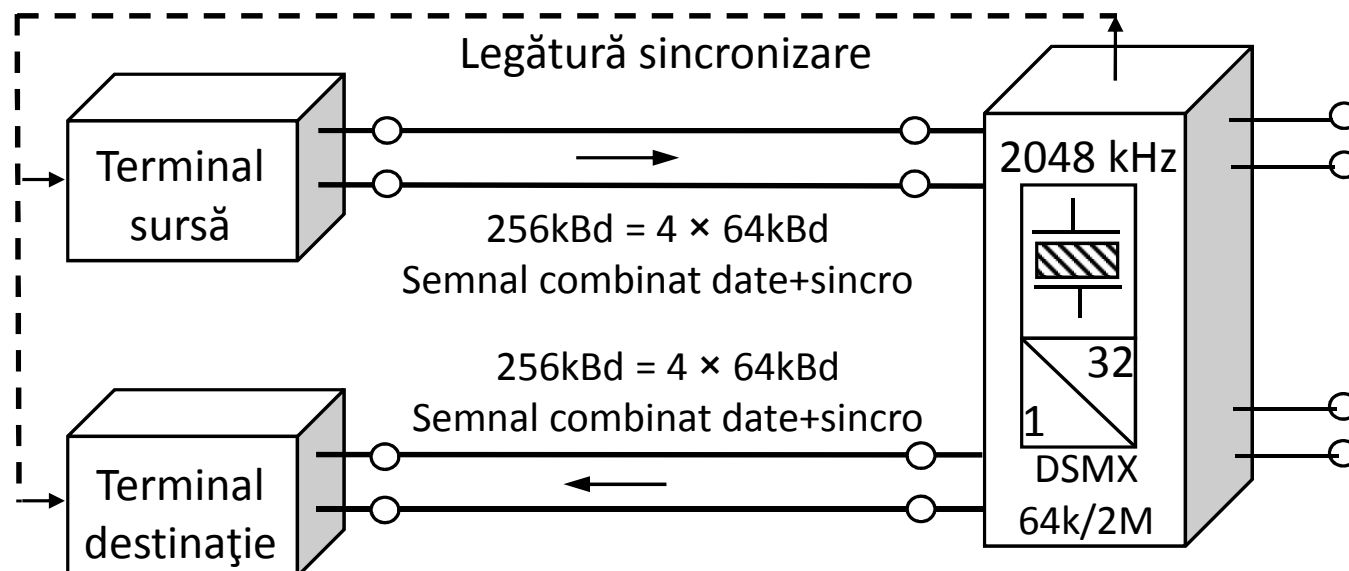
Multiplexor



— Semnal de informație  
 - - - Semnal de sincronizare

Interfață codirecțională –  
 principiu; canale utilizate.

Interfață codirecțională – detalii tehnice;  
 canale de date și de sincronizare combinate.

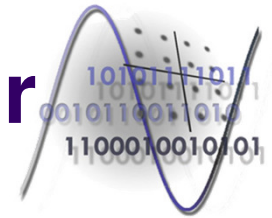


# Interfața terminal – multiplexor

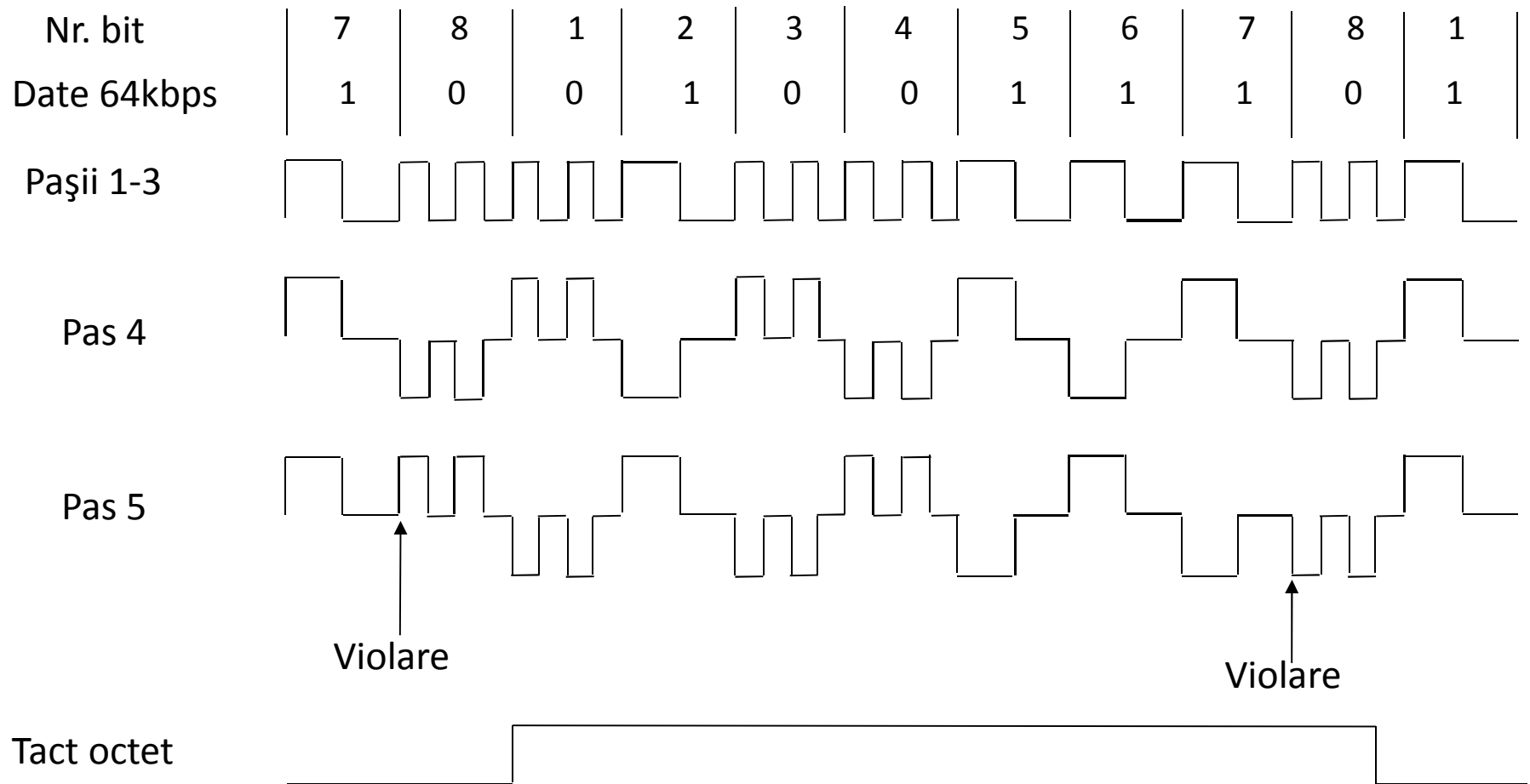


- Interfața codirecțională – regula de codare;
  - pas 1: perioada de bit corespunzătoare la debitul de 64kbps este divizat în 4 intervale elementare;
  - pas 2: simbolul binar “1” (debit 64kbps) este codat cu un bloc de 4 simboluri binare cu perioada de 4 ori mai mică: “1 1 0 0”; “0” reprezintă 0V;
  - pas 3: simbolul binar “0” (debit 64kbps) este codat cu un bloc de 4 simboluri binare cu perioada de 4 ori mai mică: “1 0 1 0”;
  - pas 4: semnalul de date codat se transformă într-un semnal cu trei nivele prin alternarea polarității blocurilor (de 4 simboluri) consecutive;
  - pas 5: alternarea polarității grupurilor consecutive de 4 simboluri este violată la fiecare al 8-lea bloc, adică pe poziția corespunzătoare bitului 8 din octet;
    - astfel se poate realiza o sincronizare la nivel de octet între echipamente;

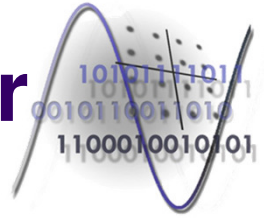
# Interfața terminal – multiplexor



- Interfața codirecțională – regula de codare:

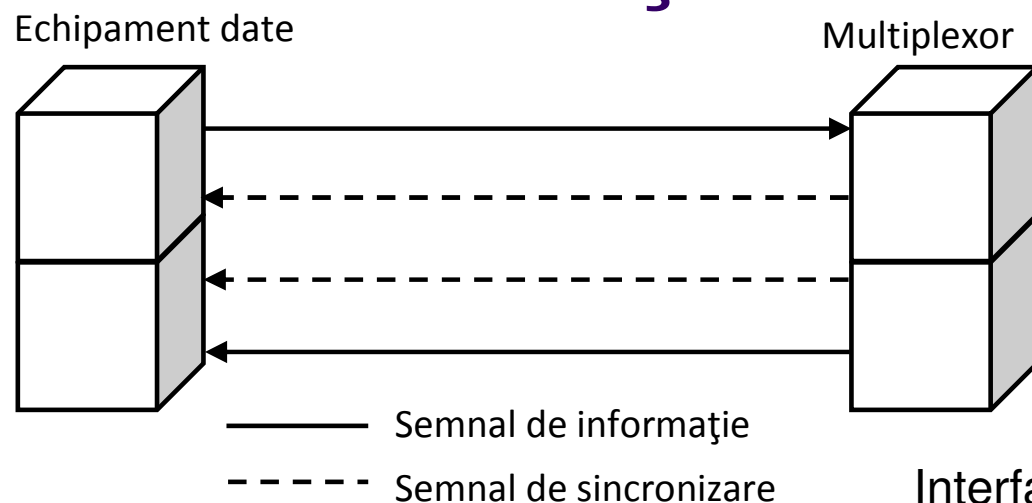


# Interfața terminal – multiplexor



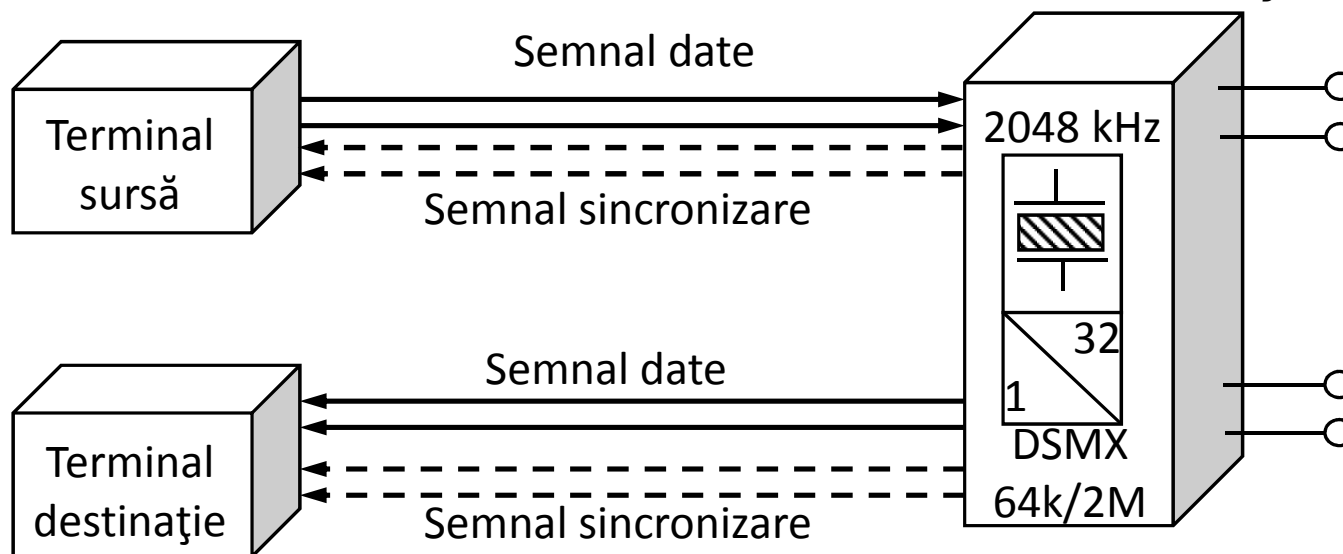
- Interfețe contradirecționale;
  - Între echipamente se va transmite atât semnalul de date cât și semnalul de tact – acesta din urmă de la multiplexor la echipamentele de date;
  - Sunt necesare două canale pe două fire în fiecare direcție: date și sincronizare:
    - tact de bit și de octet;
  - Toleranță semnale de tact: max.  $\pm 100$  ppm;
  - Nu este necesară referință de tact externă;

# Interfața terminal – multiplexor



Interfață contradirecțională –  
principiu; canale utilizate.

Interfață contradirecțională – detalii tehnice;  
canale de date și de sincronizare separate.





# Interfața terminal – multiplexor



- Interfața contradirecțională – regula de codare;
  - semnalul de tact transferat între echipamente se transformă într-un semnal cu trei nivele prin alternarea polarității impulsurilor consecutive;
  - la sfârșitul fiecărui octet (pe poziția bitului 8) se introduce o violare a alternării polarității impulsurilor;
    - se realizează o sincronizare la nivel de octet între echipamente.

