

Curs 3-4

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



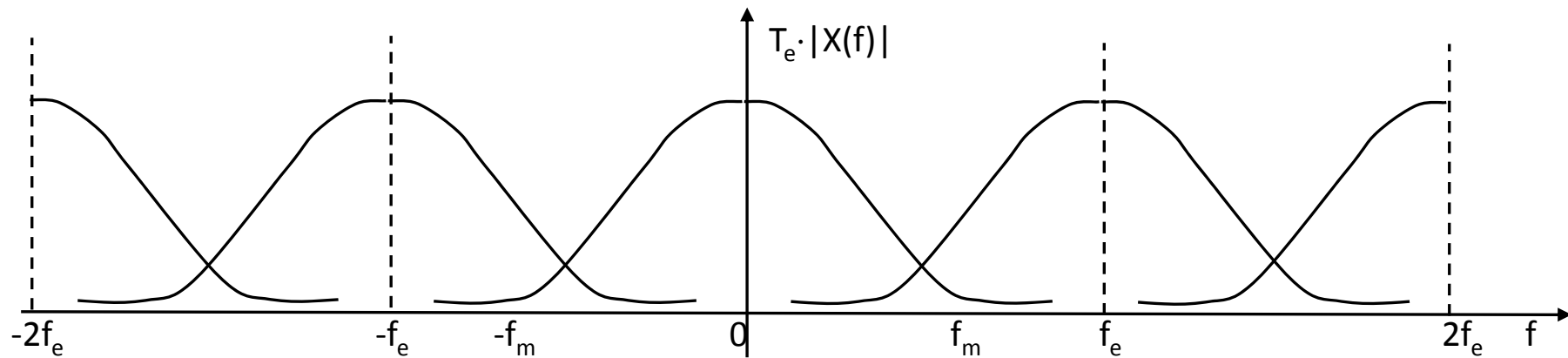
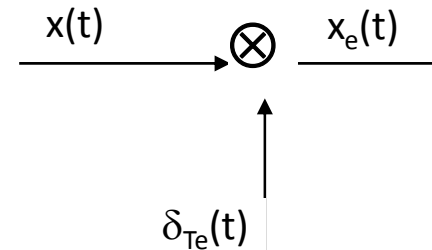
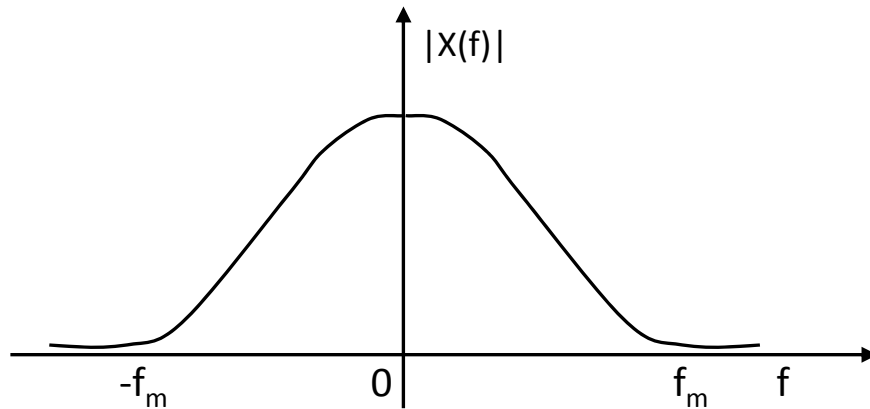
- Procesări cerute de PCM:
 - Eșantionare;
 - Cuantizare;
 - Codare;
- Teorema eșantionării - relații de bază, fenomenul de aliere

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

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

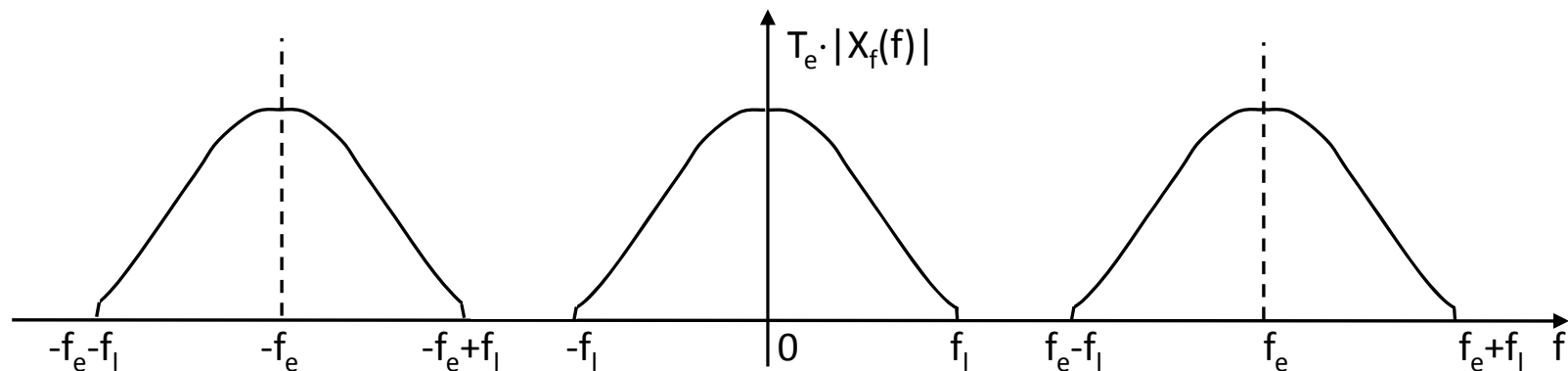
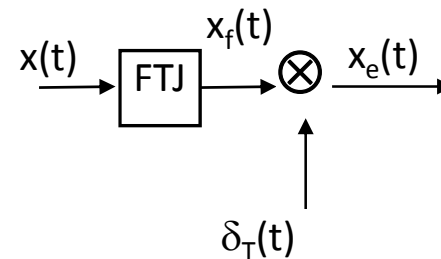
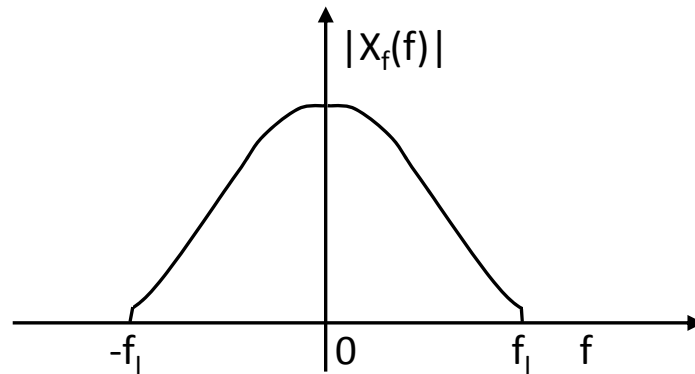
- Teorema eșantionării (Teorema lui Shannon):
 - Orice semnal $x(t)$ cu funcția de densitate spectrală $X(\omega)$ pe suport mărginit ($X(\omega)=0, \forall |\omega|>\omega_M$) este complet definit prin eșantioanele sale $\{x(nT)\}$, dacă $T=(\pi/\omega_M)$;

Conversia A/D a semnalului vocal



Proprietățile spectrale ale semnalelor eșantionate și fenomenul de aliere spectrală

Conversia A/D a semnalului vocal



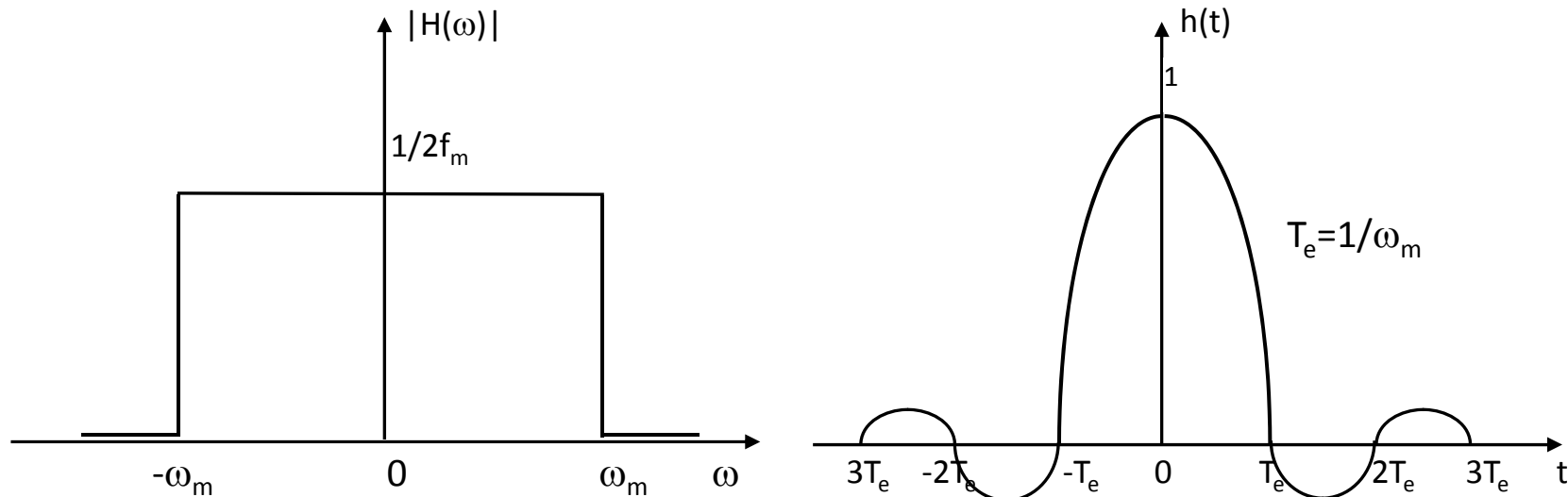
Proprietățile spectrale ale semnalelor eșantionate și eliminarea fenomenului de aliere

Conversia A/D a semnalului vocal



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

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

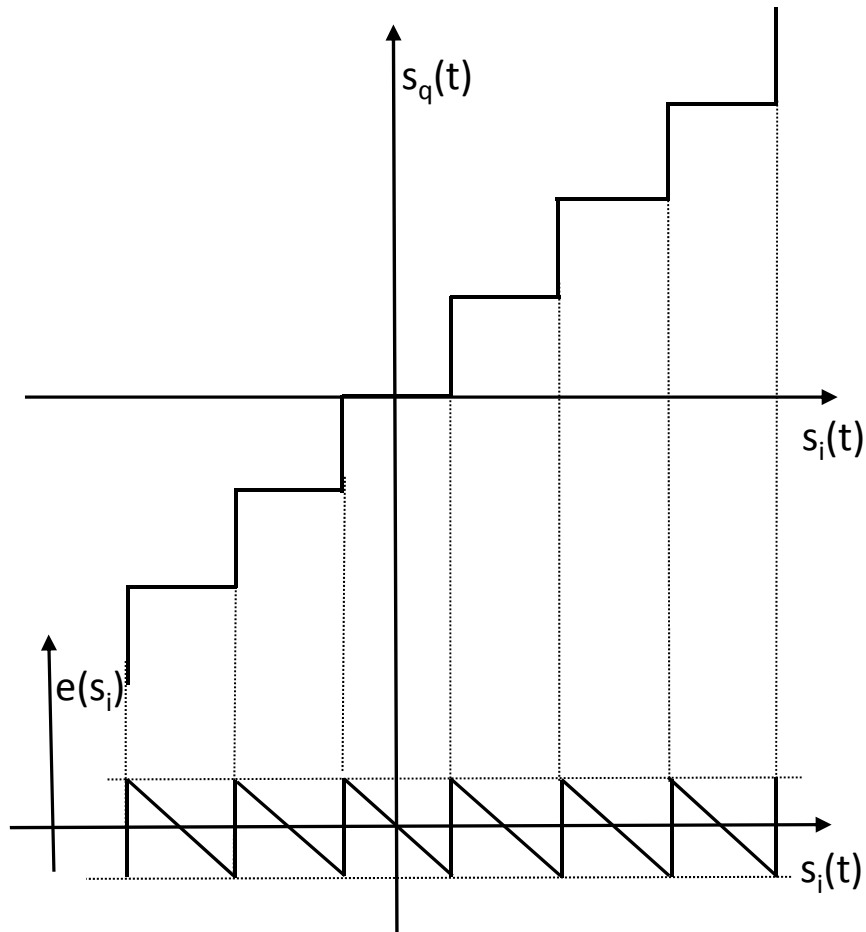


Caracteristica de frecvență și răspunsul la impuls al unui filtru de reconstrucție ideal

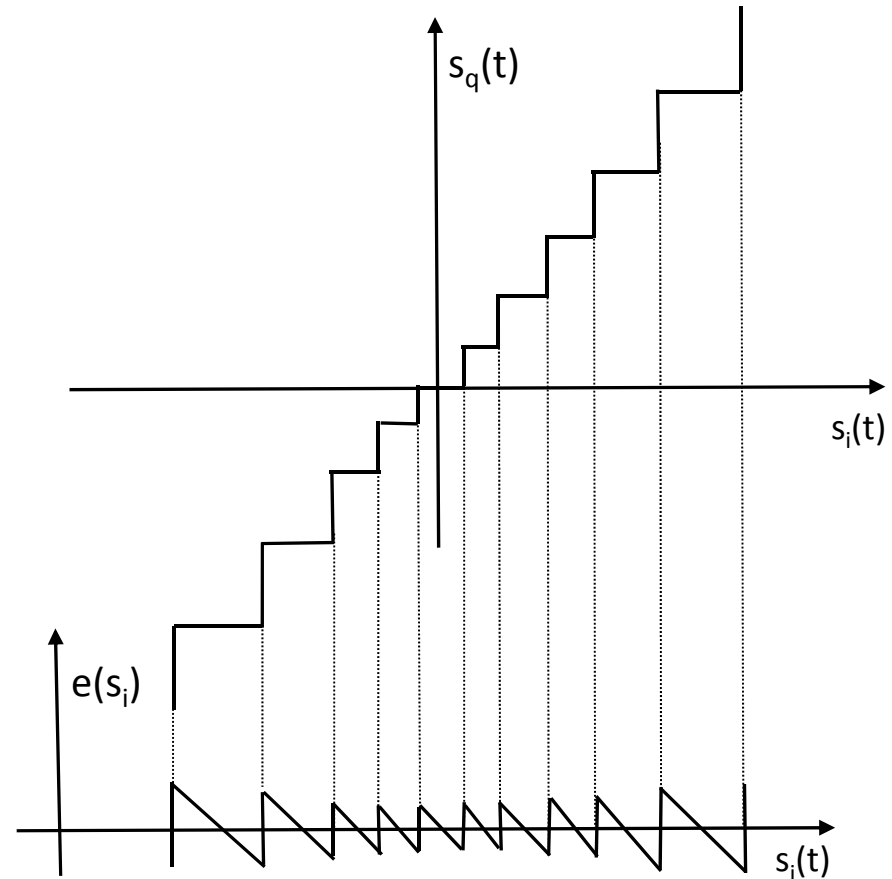
Conversia A/D a semnalului vocal



- Cuantizarea uniformă și neuniformă

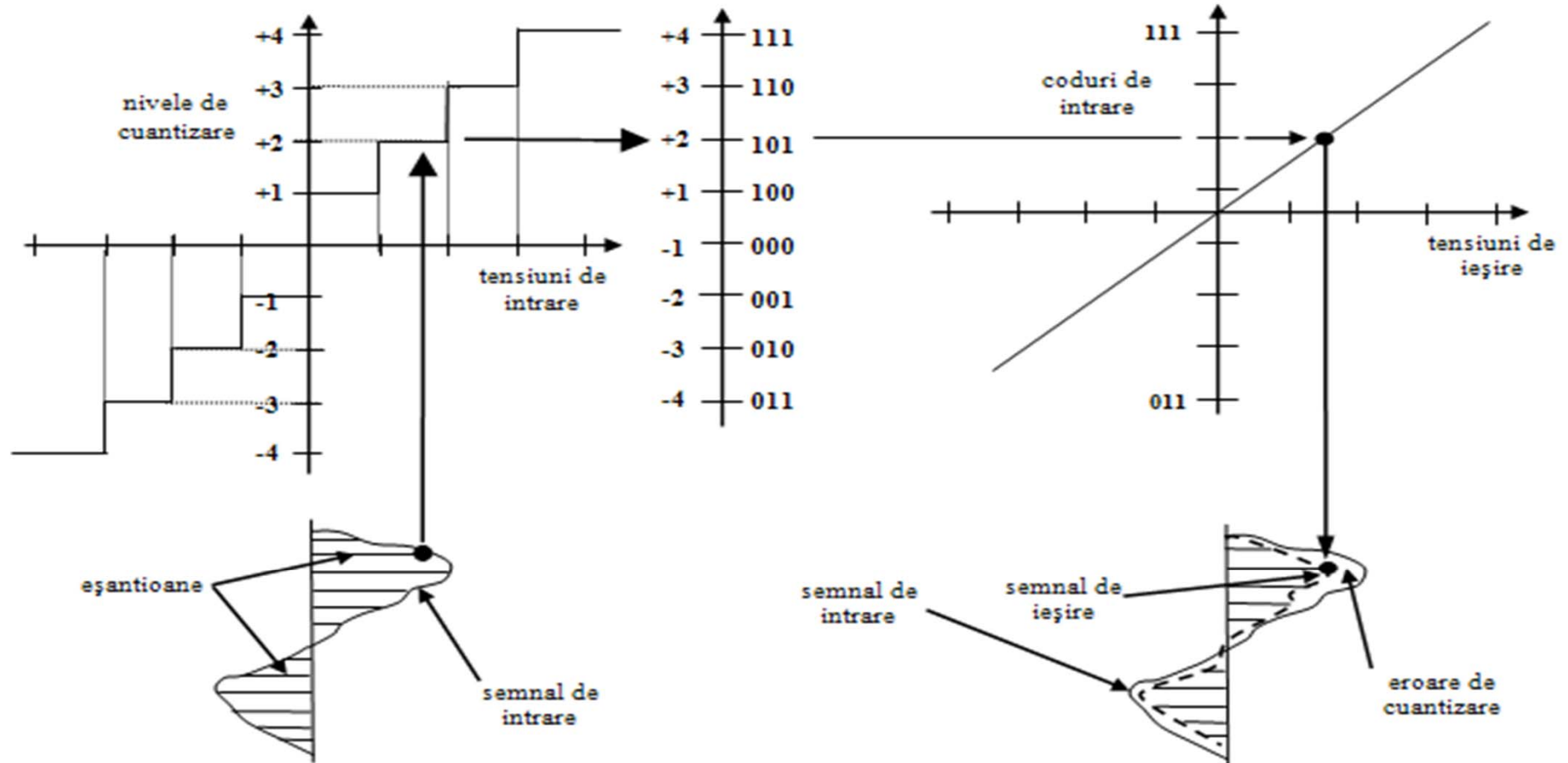


Tehnici de cuantizare a) cuantizare uniformă.



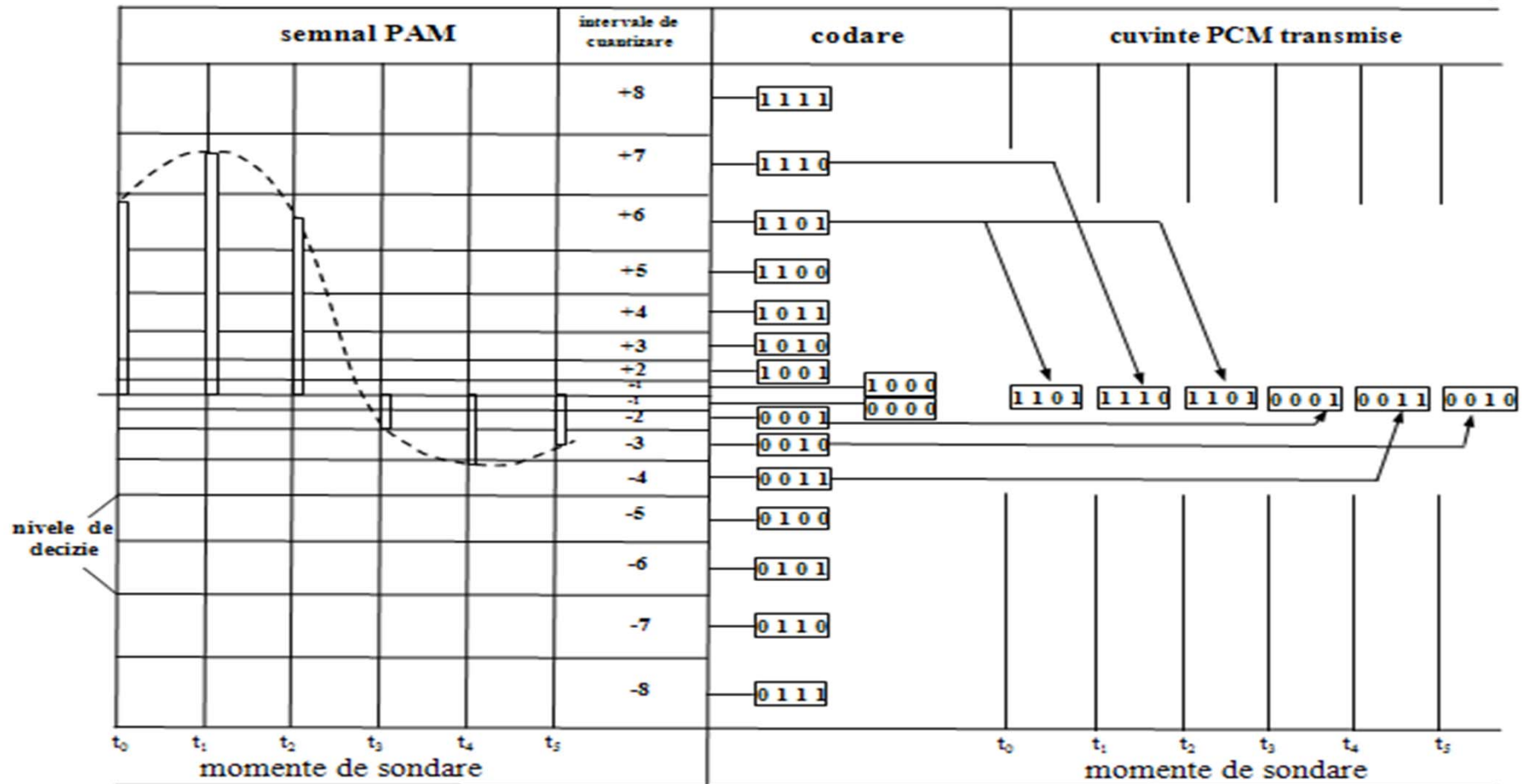
b) cuantizare neuniformă

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



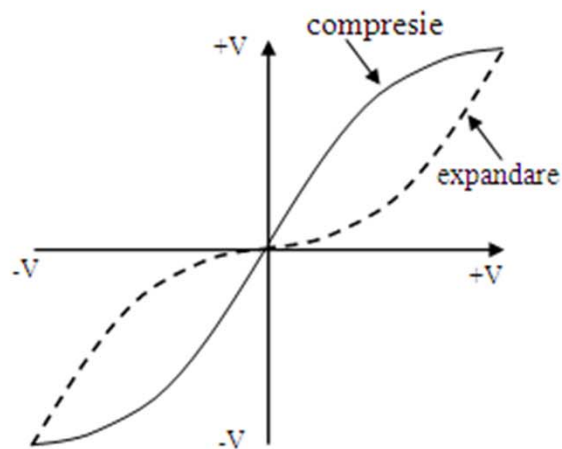
- Raportul semnal/zgomot de cuantizare;
 - Eroarea de cuantizare este considerat ca și un zgomot;
 - O expresie generală a valorii medii a puterii zgomotului de cuantizare este dată de relația:
$$P_q = \sum_{i=1}^N p_i \cdot P_{qi}$$
 - N este numărul intervalelor de cuantizare;
 - p_i este probabilitatea 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 Δ_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:

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

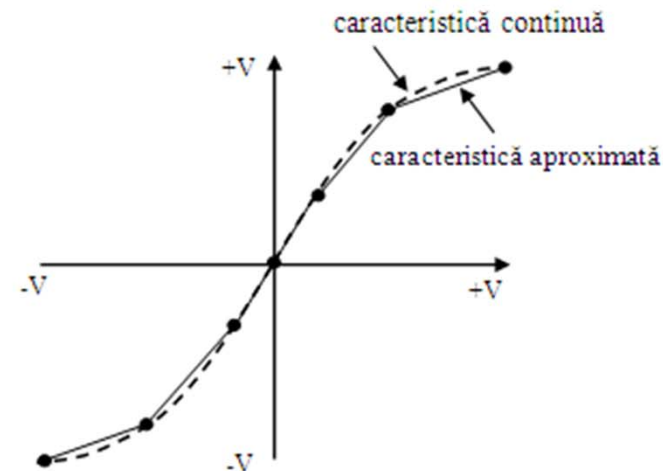
Conversia A/D a semnalului vocal



- 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



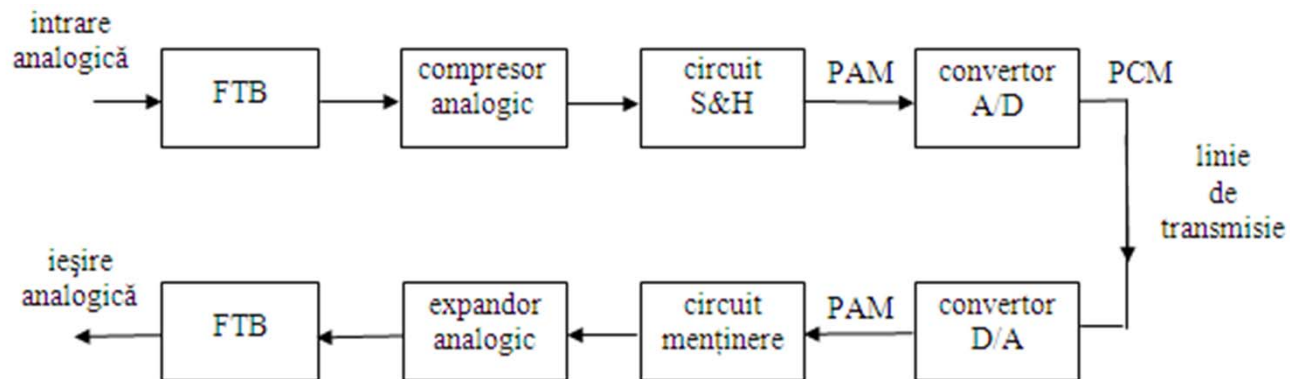
b) Caracteristică segmentată

Caracteristici de compresie și expandare continue și segmentate

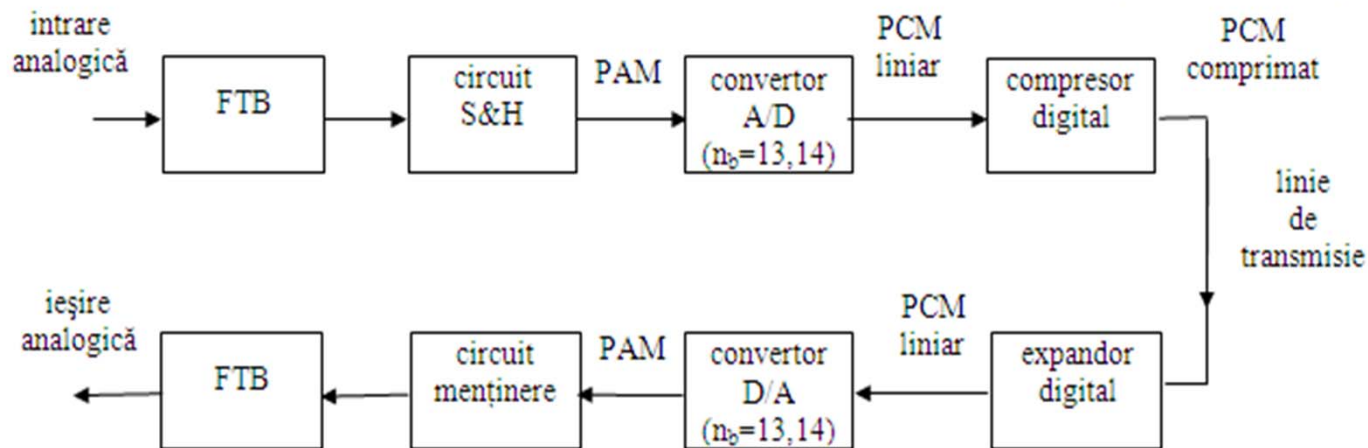
Conversia A/D a semnalului vocal



- 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 μ 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 $x \geq 0$:

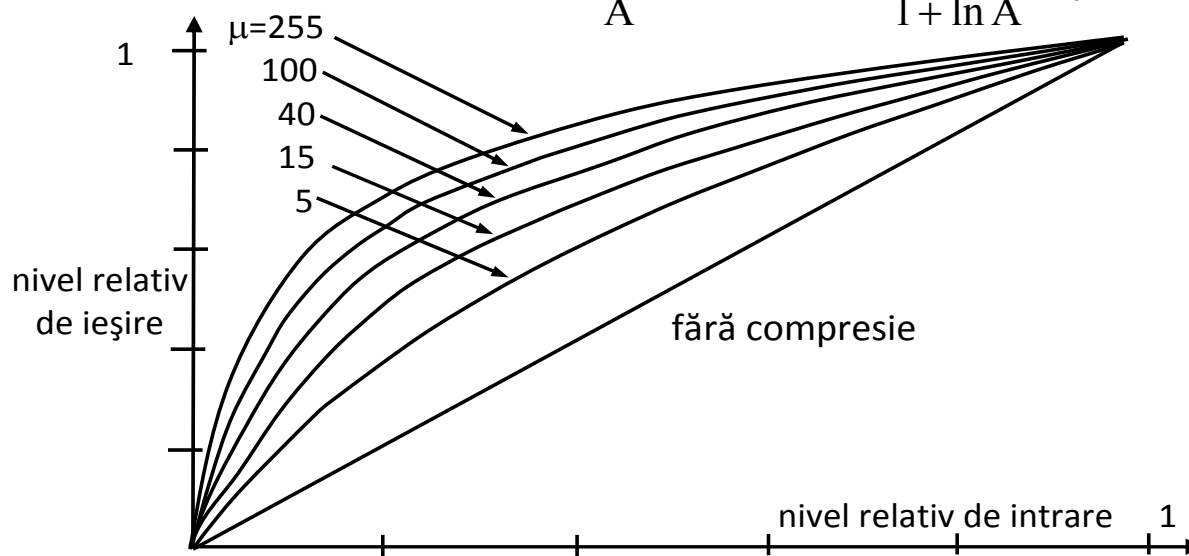
$$y = \frac{1 + \ln(Ax)}{1 + \ln(A)} \quad ; \quad \text{pentru } \frac{1}{A} < x < 1$$

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

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

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

- Caracteristica de compresie μ ;
- Efectul parametrului μ asupra caracteristicii de compresie.



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;

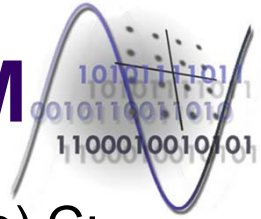
- Modulația DPCM:

- 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 :

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

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

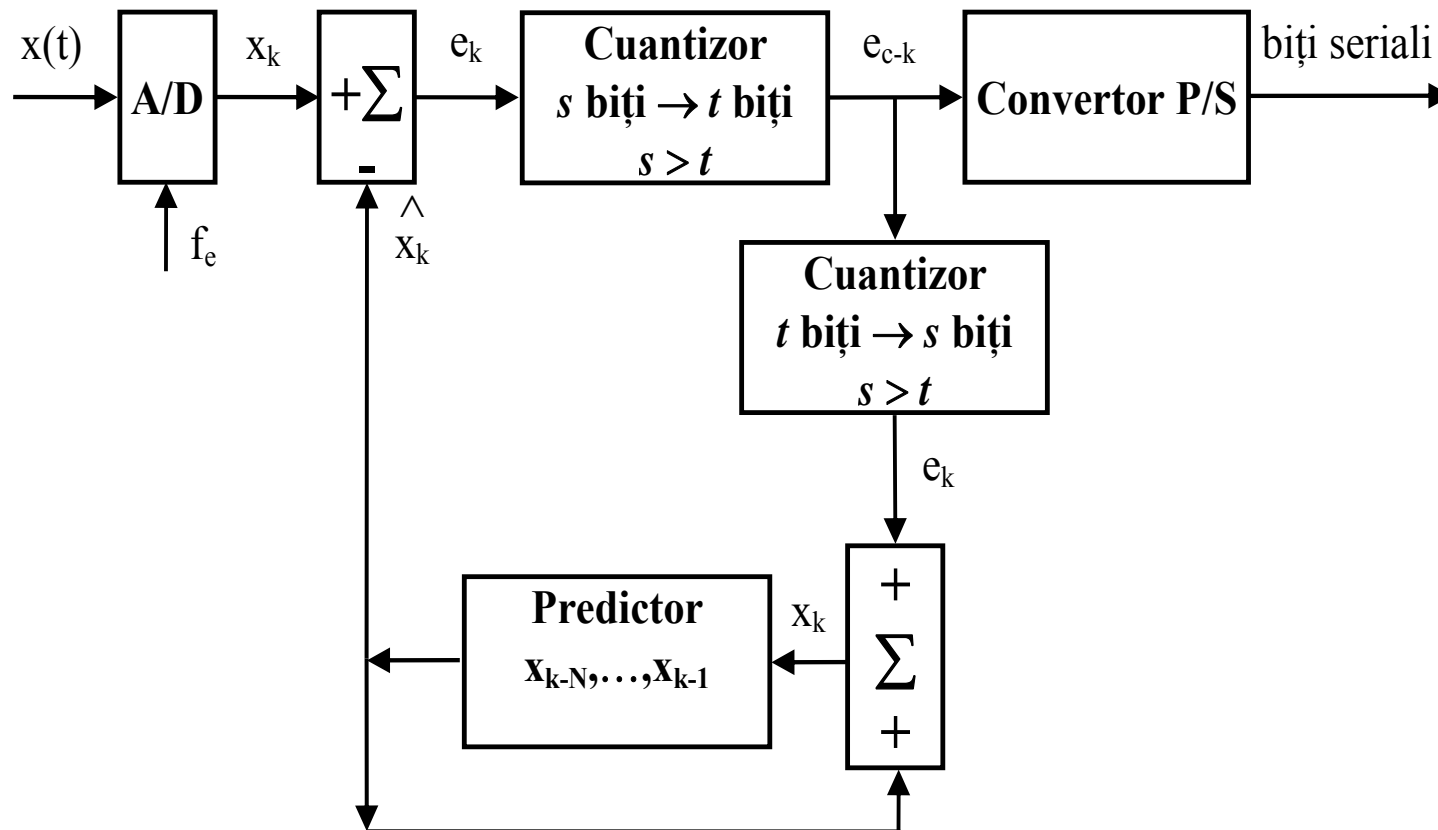
- Dacă $C < 0.5$ nu merită utilizat DPCM;
 - eșantioanele sunt decorelate și reducerea de debit este mică;
- Dacă $C > 0.5$ DPCM merită utilizat DPCM;
 - eșantioanele sunt corelate și reducerea de debit poate fi semnificativă;
- Dezavantajele DPCM față de transmisia PCM:
 - este mai complexă – este necesar 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;

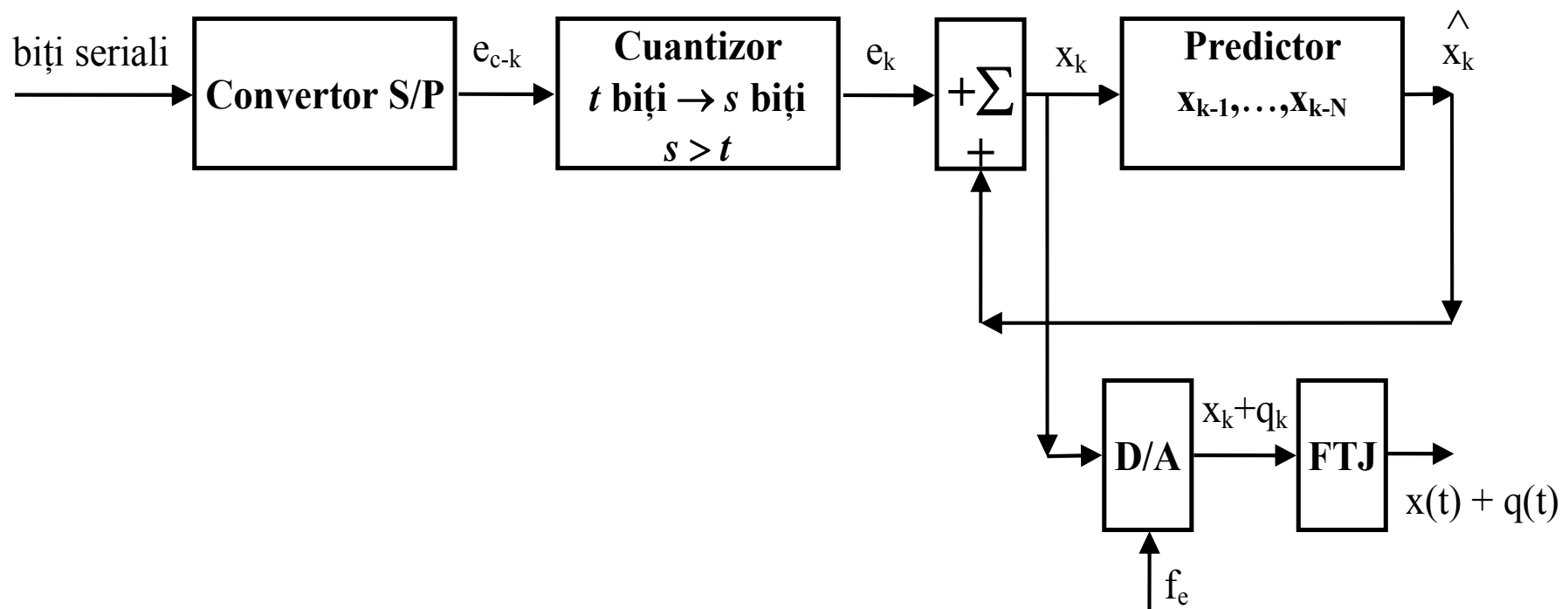


Modulația DPCM



- Schema bloc a decodorului DPCM:

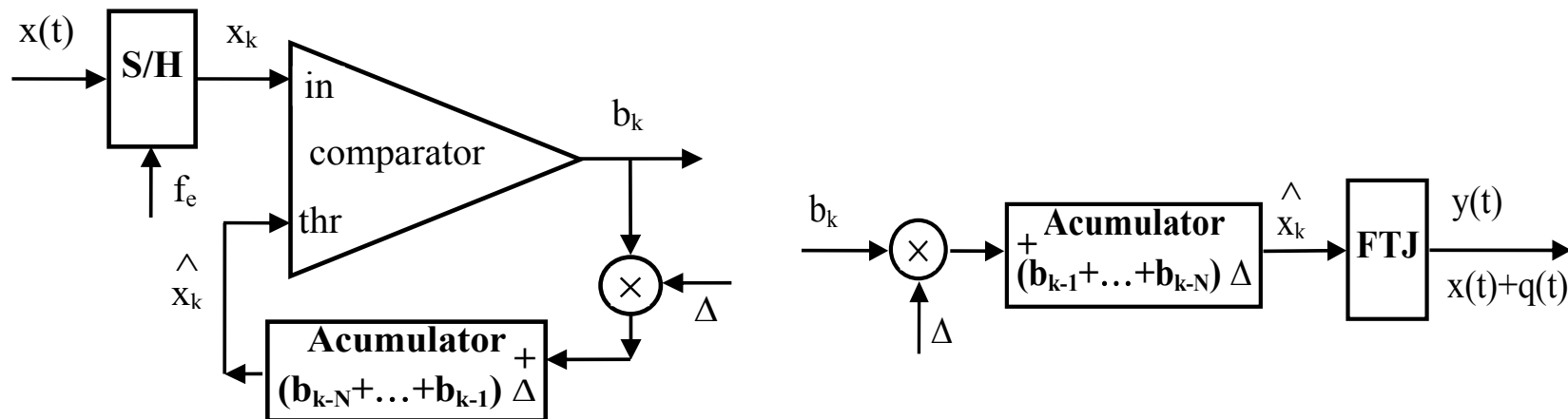
- Predictorul lucrează cu N eșantioane;
- q_k – eroarea de cuantizare;



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:

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

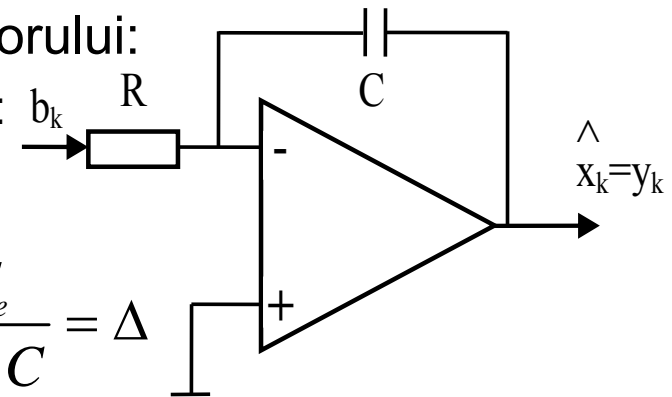
- calculul semnalului prezis (ecuația acumulatorului): $y_k = y_{k-1} + b_k \cdot \Delta_k$

- 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 = Δ ;

- Moduri posibile de implementare a acumulatorului:

- implementare analogică utilizând un integrator:



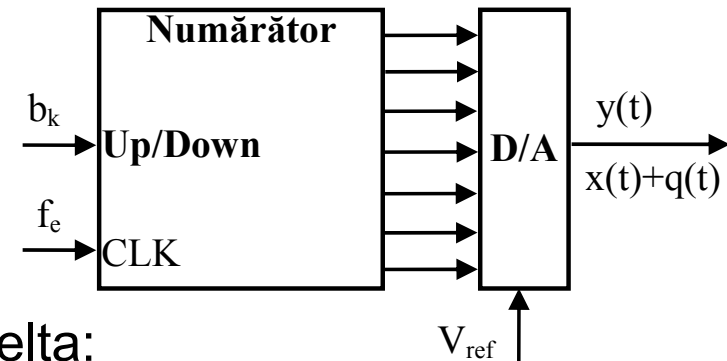
$$|\Delta V_c| = \frac{1}{R \cdot C} \int_0^{T_e} b_k dt = \frac{b_k \cdot T_e}{R \cdot C} = \Delta; \text{daca } b_k = 1 \Rightarrow \frac{T_e}{R \cdot C} = \Delta$$

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;
- Calculul puterii zgomotului de cuantizare și a RSZ cuantizare:
 - se consideră $f_e = 2f_m$ (f_m - frecvența maximă din spectru);

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

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:

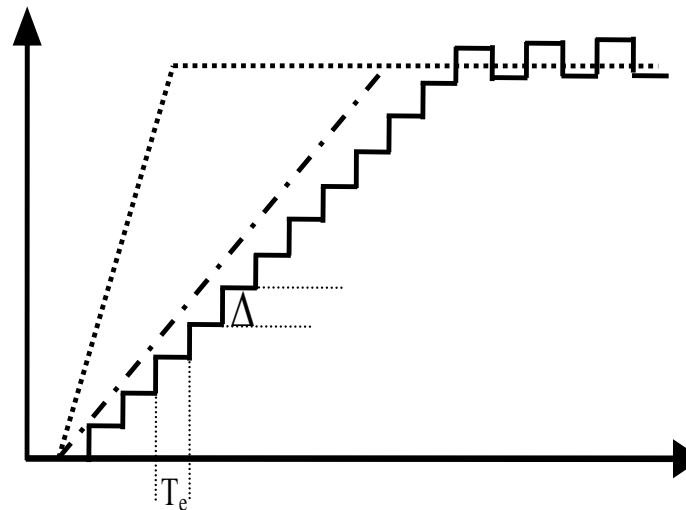
- zgomotul de cuantizare se calculează astfel:

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

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

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

- ilustrarea distorsiunilor ce afectează modulația Delta:



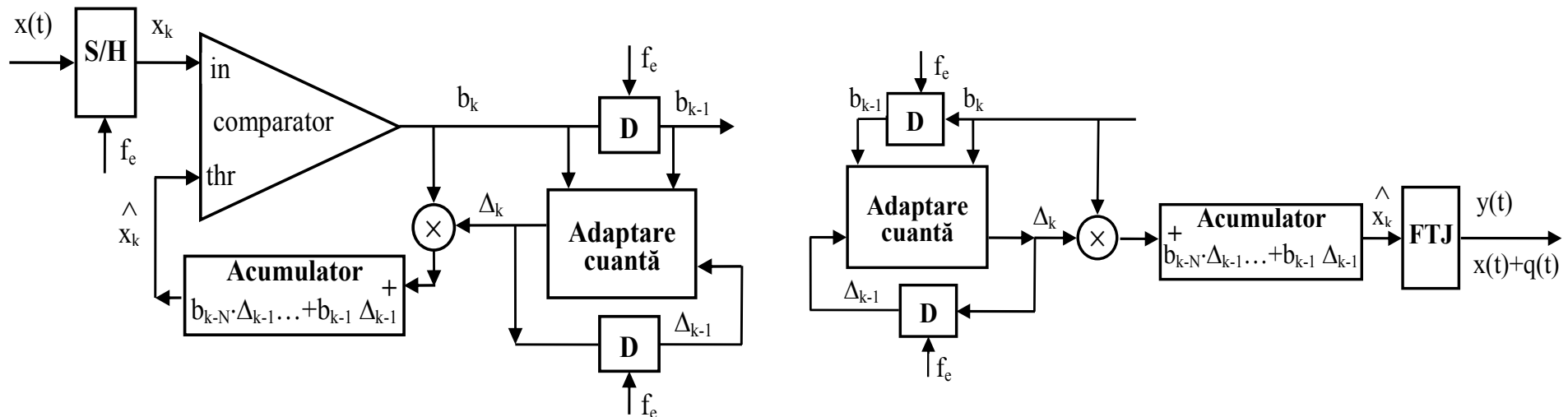
$$\left\{ \begin{array}{l} S = \frac{\Delta^2 \cdot f_e^2}{K^2} \\ P_{zg-q} = \frac{\Delta^2}{12} \end{array} \right.$$

Modulația Delta



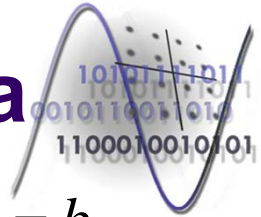
- Modulația Delta adaptivă;

- 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:

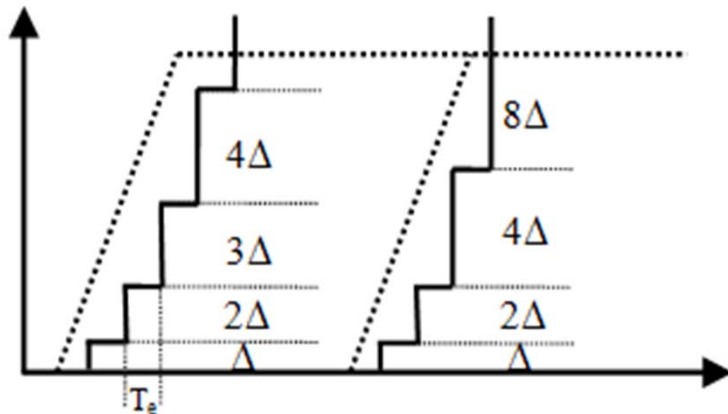


- Tipuri de modulații Delta adaptive – în funcție de regula de modificare a cuantei:
 - Modulația Song;
 - Modulația Jayant;

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:

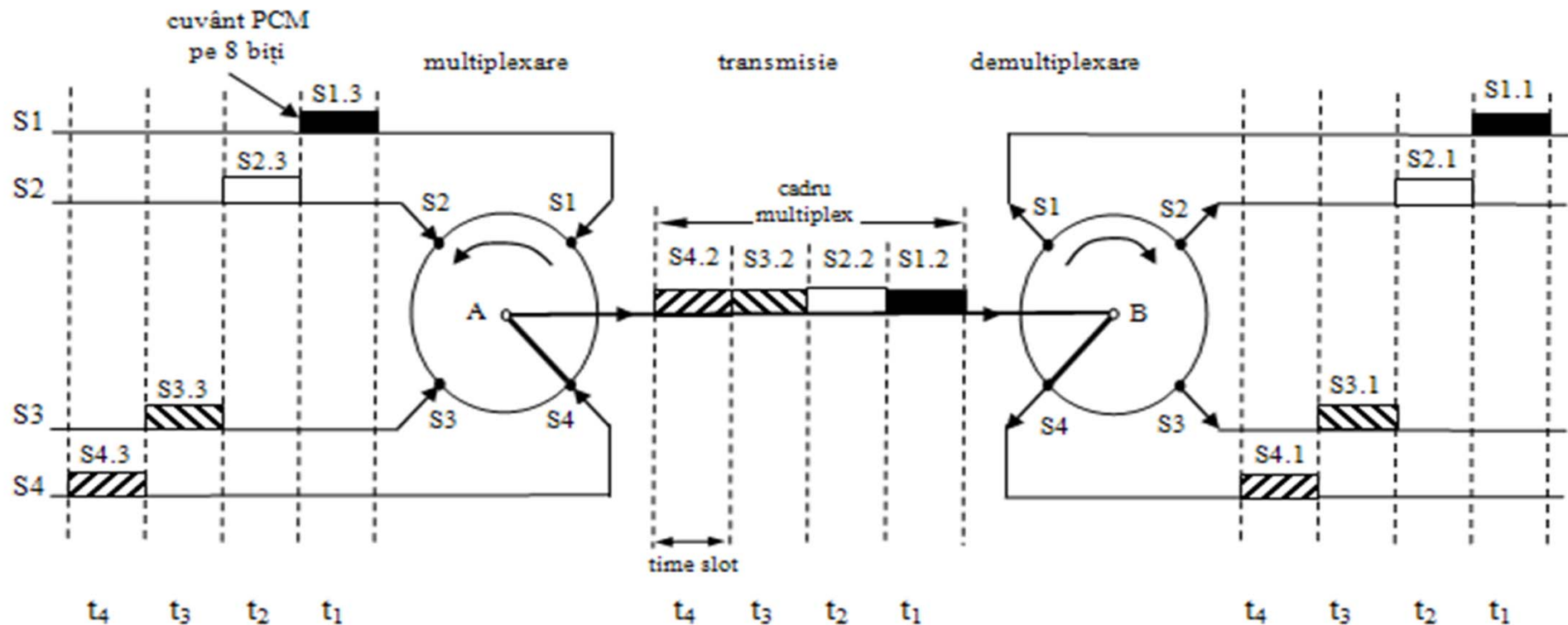
$$epm = \frac{\sum_{k=1}^M (x_k - \bar{x}_k)^2}{M}$$

- 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

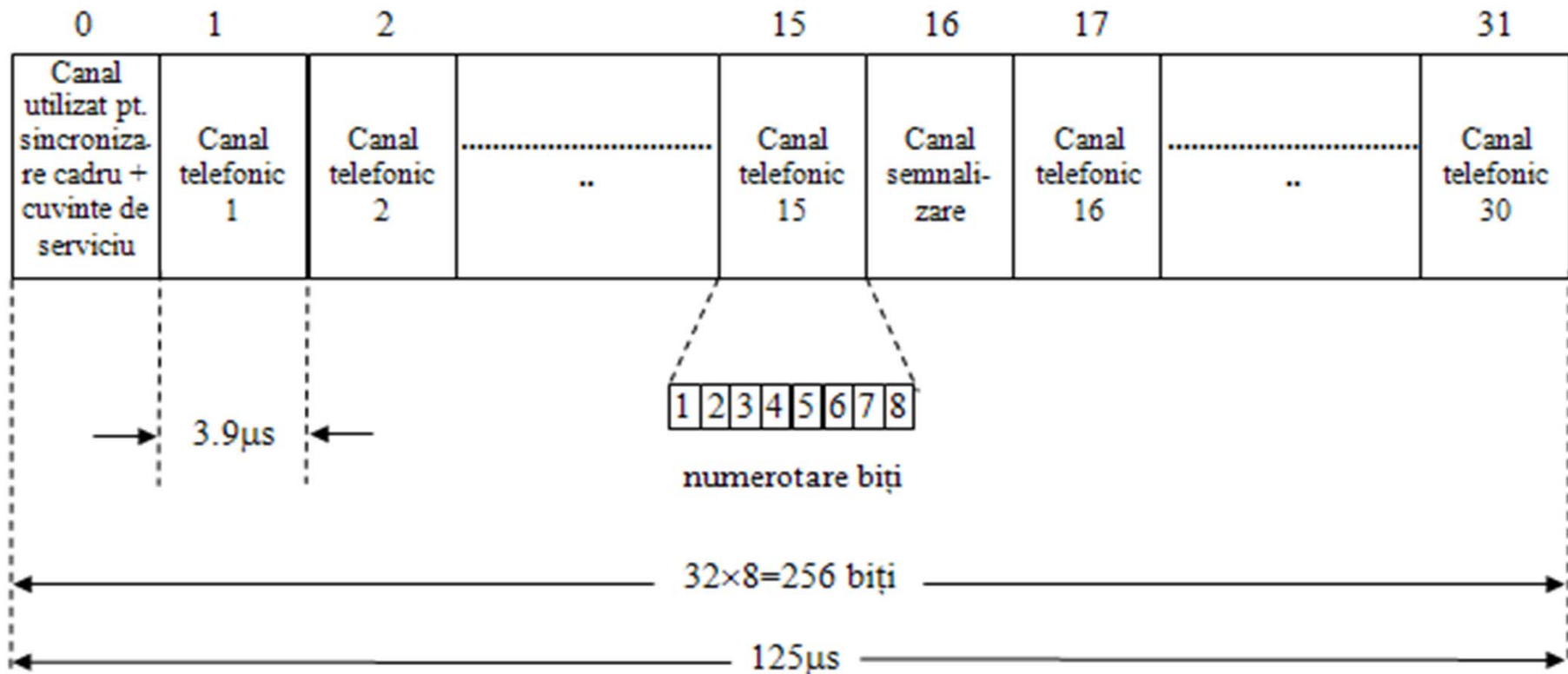


- cuvintelor PCM pe 8 biți este alocat un interval de timp – *time slot*, interval în care este transmis;
- cuvintele PCM generate de surse diferite sunt intercalate, fiecărui cuvânt corespunzând un „slot” de timp separat;
- debitul asociat cadrului multiplex trebuie să fie de N ori mai mare decât debitul 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:



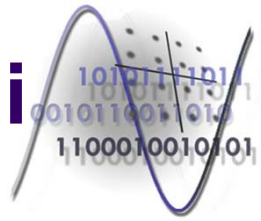
- Cadrul E1 conține un număr de 32 de canale elementare de 64kbps;
 - debitul asociat acestui cadru este de 2,048Mbps; precizie tact: ±50ppm;

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 alcătuiește un multicadru format din 16 cadre PCM;

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 ₁	0	0	1	1	0	1	1
	1	NFAS	0	1	Z	X	X	X	X	X
	2	FAS	C ₂	0	0	1	1	0	1	1
	3	NFAS	0	1	Z	X	X	X	X	X
	4	FAS	C ₃	0	0	1	1	0	1	1
	5	NFAS	1	1	Z	X	X	X	X	X
	6	FAS	C ₄	0	0	1	1	0	1	1
	7	NFAS	0	1	Z	X	X	X	X	X
II	8	FAS	C ₁	0	0	1	1	0	1	1
	9	NFAS	1	1	Z	X	X	X	X	X
	10	FAS	C ₂	0	0	1	1	0	1	1
	11	NFAS	1	1	Z	X	X	X	X	X
	12	FAS	C ₃	0	0	1	1	0	1	1
	13	NFAS	E	1	Z	X	X	X	X	X
	14	FAS	C ₄	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”;

C₁ – C₄ – biți “Cyclic Redundancy Check-4”;

E – biți indicatori de eroare CRC-4;

Z – bit alarmă;

X – biți neutilizați;

Cadrul PCM E1. Structura și operații



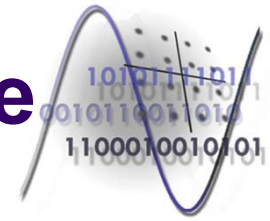
- În modul CRC-4 pe „slotul” 0 biții Y din cadrele cu număr par din multicadru se folosesc pentru transmiterea unor secvențe CRC pe 4 biți;
 - pe biții Y din cadrele 0, 2, 4 și 6 se transmite o secvență $C_1 C_2 C_3 C_4$ utilizată pentru detecția erorilor de bit din cadrele 0 – 7 ai multicadrului anterior;
 - 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);

Cadru 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 recepționează 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

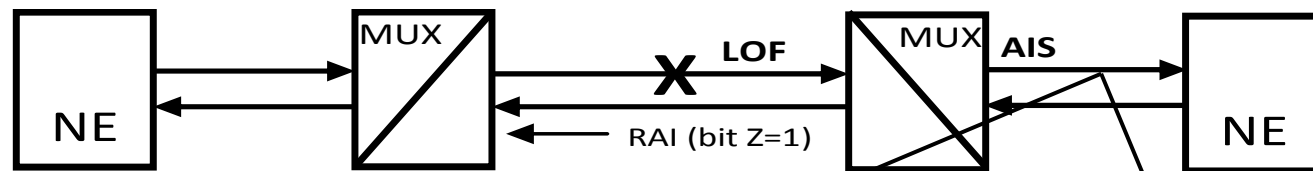


- AIS – „Alarm Indication Signal” – semnal indicator alarmă sau semnal menținere legătură;
 - semnalul AIS reprezintă cel puțin 509 biți “1” într-un bloc de 512 biți sau mai puțin de 3 biți “0” în 2 cadre (în cazul slotului 16, mai puțin de 3 “0” în acest slot pe durata a două multcadre consecutive);
- 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;

Cadru PCM E1. Alarmer

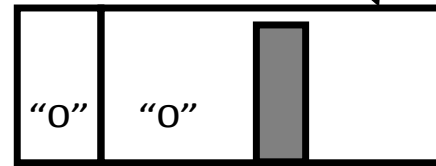
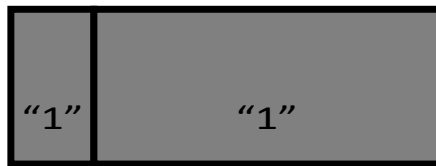


- Evenimentele LOS și LOF determină declararea unei alarme roșii (“red alarm”);
 - În cazul pierderii sincronizării de multicadru se transmite o indicare de alarmă galbenă către partea opusă utilizând bitul Z corespunzător;
 - echipamentele care detectează pierderea sincronizării de multicadru și cele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



NE – “Network Element”

Management alarme și generare semnal AIS



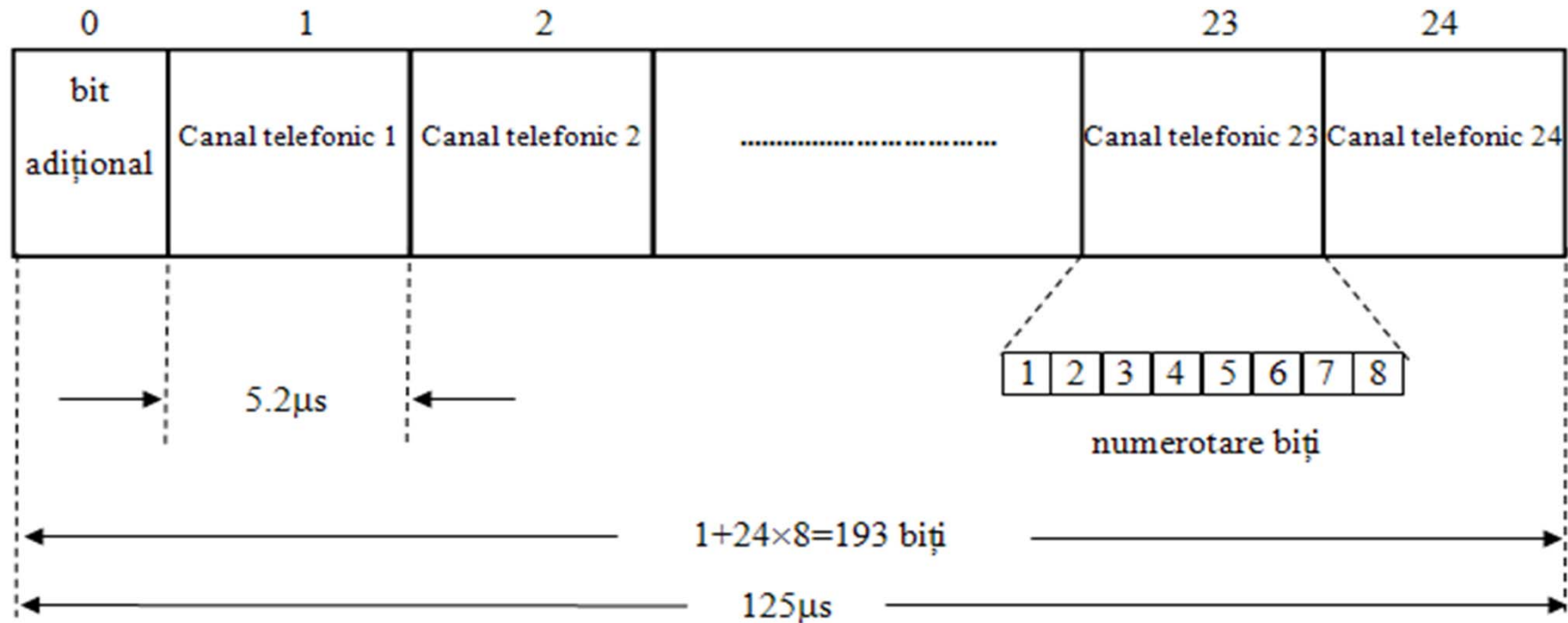
Cadru	Slot de timp 0							
0	Y	0	0	1	1	0	1	1
1	Y	1	Z=1	X	X	X	X	X
2	Y	0	0	1	1	0	1	1
3	Y	1	Z=1	X	X	X	X	X
4	Y	0	0	1	1	0	1	1

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

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 multcadre T1:
 - Supercadru SF (“Supper Frame”);
 - compus din 12 cadre;
 - nu există “slot” separat de sincronizare și de semnalizare;
 - sincronizarea de cadru și de multcadru 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



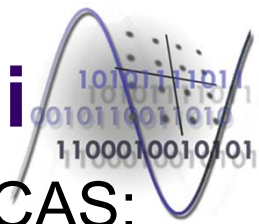
- Tipuri de multicable T1:
 - Supercadru ESF (“Extended Supper Frame”);
 - compus din 24 cadre;
 - bitul F se utilizează la sincronizare de cadru și de multicable
 - secvență specială de forma 0 0 1 0 1 1 în cadrele cu număr de ordine multiplu de 4;
 - cadrele cu număr impar implementează un canal de 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 multicablel 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;

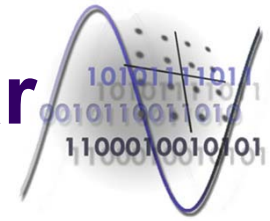
Număr cadru	Utilizare bit F			Număr biți info. per canal	Poziție bit semnalizare	Canal Semnalizare
	Sincro. cadru	Legătură date	CRC-6			
1	-	M	-	8	-	-
2	-	-	C ₁	8	-	-
3	-	M	-	8	-	-
4	0	-	-	8	-	-
5	-	M	-	8	-	-
6	-	-	C ₂	7	8	A
7	-	M	-	8	-	-
8	0	-	-	8	-	-
9	-	M	-	8	-	-
10	-	-	C ₃	8	-	-
11	-	M	-	8	-	-
12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

Cadrul PCM T1. Alarmer



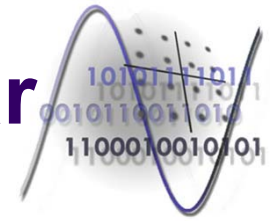
- Alarmerle T1 (pe scurt);
 - OOF (“Out Of Frame Condition”): 2 din 4, 2 din 5 sau 3 din 5 biți de sincronizare eronați;
 - Red CFA (“Carrier Failure Alarm”): OOF pentru 2.5s; revenire: dacă nu avem OOF pentru 1s;
 - Yellow CFA – alarmă galbenă transmisă la capătul opus;
 - LOS (“Los Of Signal”): nu există impulsuri detectate într-o fereastră de 175+/-75 perioade de impuls (100 – 250 biți);

Interfața de linie a multiplexului primar



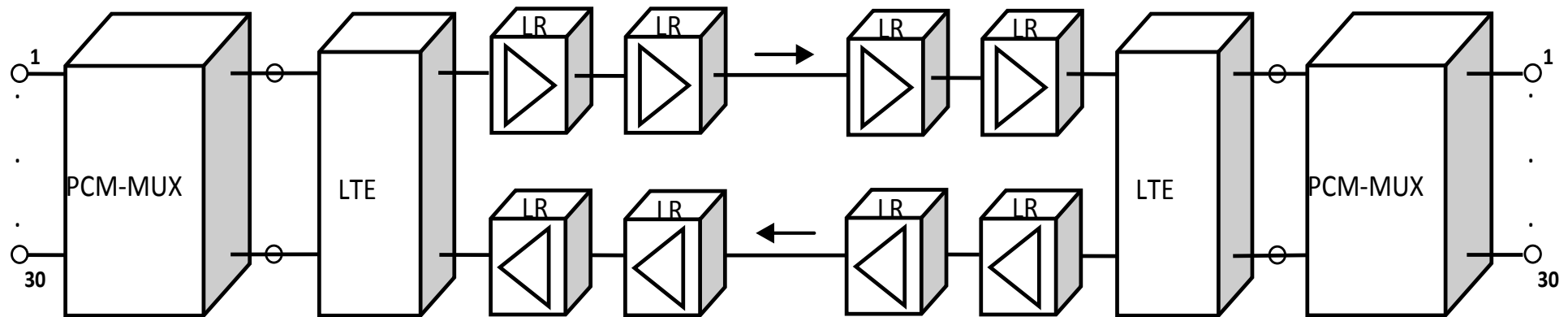
- Transmisia cadrelor E1;
 - Transmisie duplex integral la 4 fire;
 - codare de tip AMI (*Alternate Mark Inversion*);
 - codează biții de 0 logic cu nivele de 0V, iar biții de 1 logic sunt codați alternativ cu impulsuri $\pm A$;
 - nu există componentă continuă (se preîntâmpină saturarea miezului transformatoarelor 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

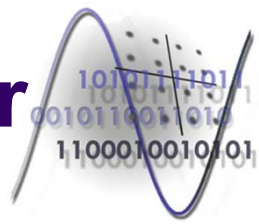


LTE – “Line Terminating Equipment”

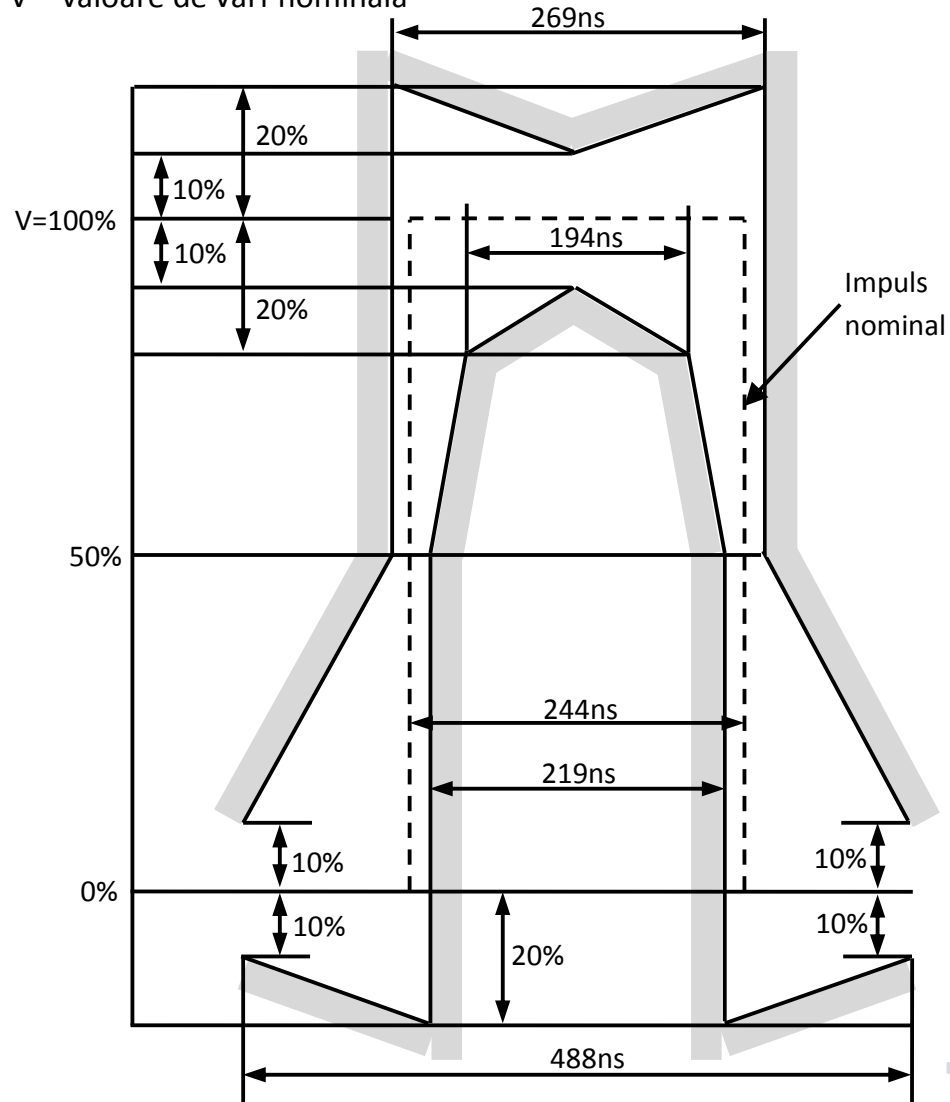
LR – “Line Regenerator”

- Sistem de transmisie E1

Interfața de linie a multiplexului primar



V – valoare de vârf nominală



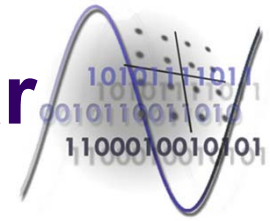
■ Masca impulsului codat

Interfața de linie a multiplexului primar



- Parametrii interfață de linie (E1):
 - Debitul nominal: 2048kbps;
 - Precizia debitului nominal: cel puțin ± 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: 75Ω (coaxial), 120Ω (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 0 V 1 0 V 1:
 - 4 biți “0”, o violare a regulii de codare AMI, urmat de “1” “0” codat normal și apoi de o altă violare a regulii de codare AMI și la sfârșit există un “1” 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



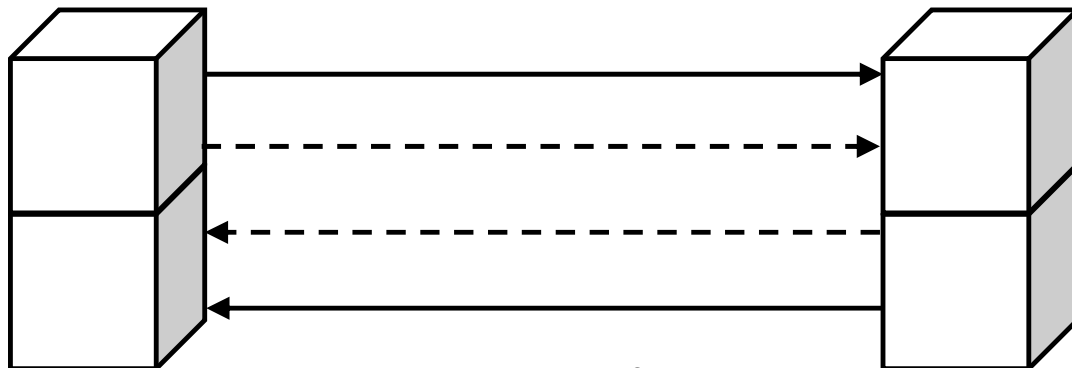
- Interfețe codirecționale;
 - Între echipamente se transmite un semnal complex care conține atât informația cât și semnalele de sincronizare:
 - tact bit și de octet;
 - Este necesar doar un singur canal pe două fire în fiecare direcție;
 - se utilizează de regulă transformatoare separate.
 - Toleranță semnale de tact: max. ± 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

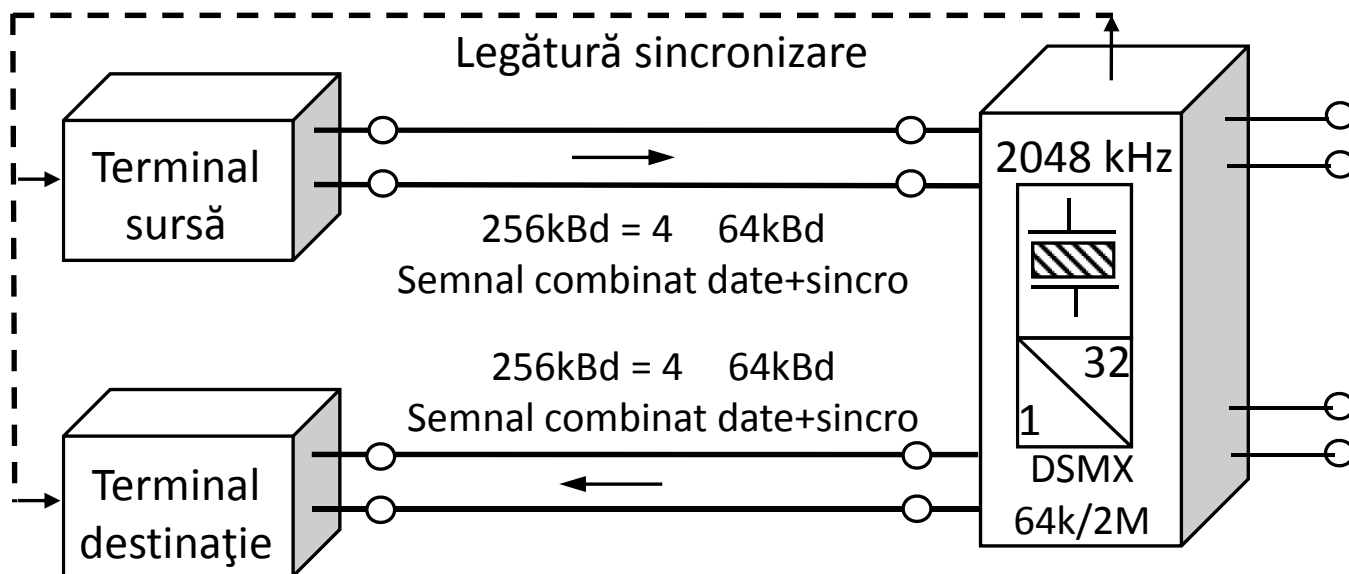
Multiplexor



Interfață codirecțională –
principiu; canale utilizate.

————— Semnal de informație
- - - - - Semnal de sincronizare

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



Interfața terminal – multiplexor

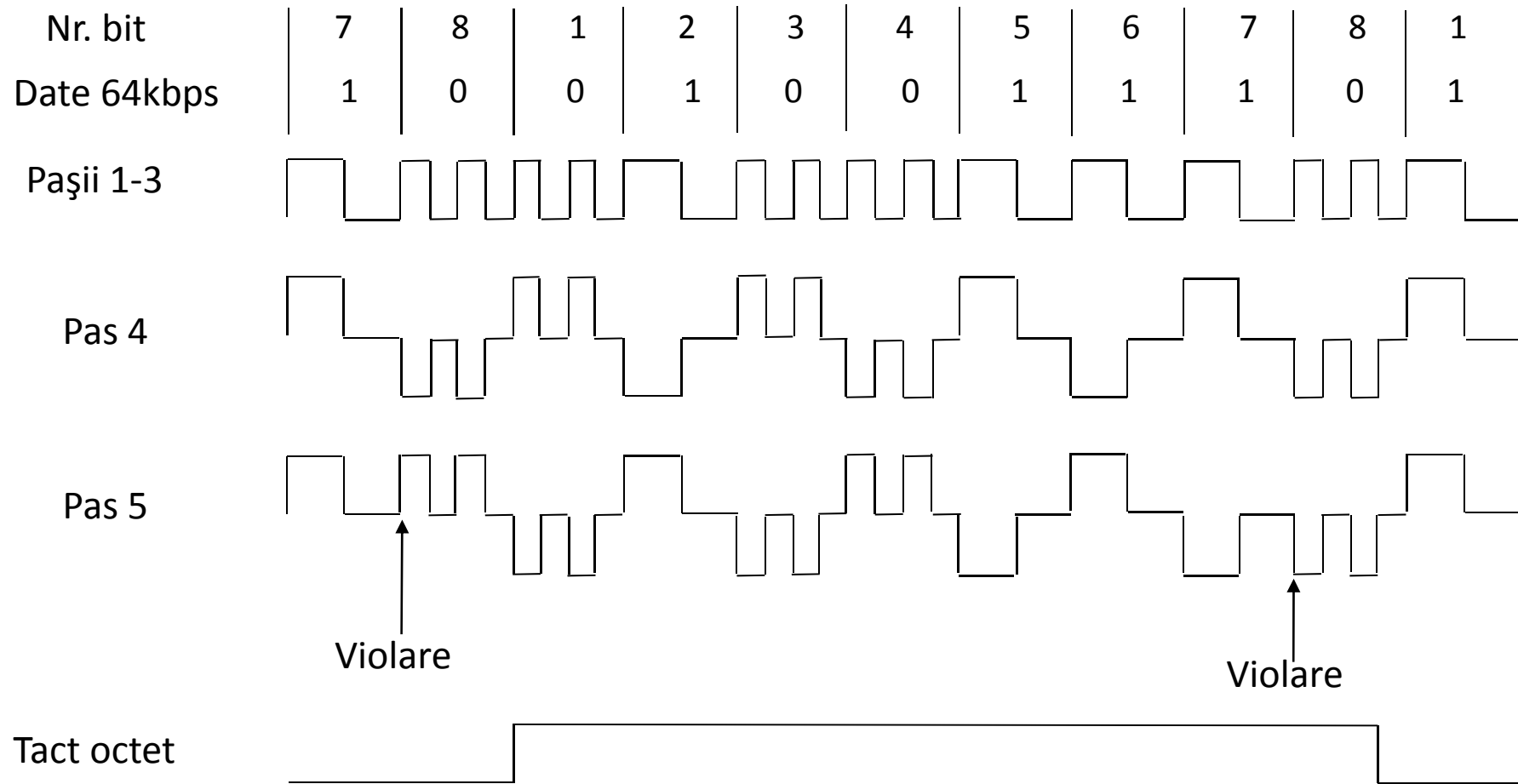


- Interfața codirecțională – regula de codare;
 - pas 1: perioada de bit corespunzătoare la debitul de 64kbps este divizat în 4 intervale elementare;
 - pas 2: simbolul binar “1” (debit 64kbps) este codat cu un bloc de 4 simboluri binare cu perioda de 4 ori mai mică: “1 1 0 0”; “0” reprezintă 0V;
 - pas 3: simbolul binar “0” (debit 64kbps) este codat cu un bloc de 4 simboluri binare cu perioda 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;

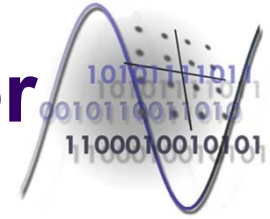
Interfața terminal – multiplexor



- Interfața codirecțională – regula de codare:

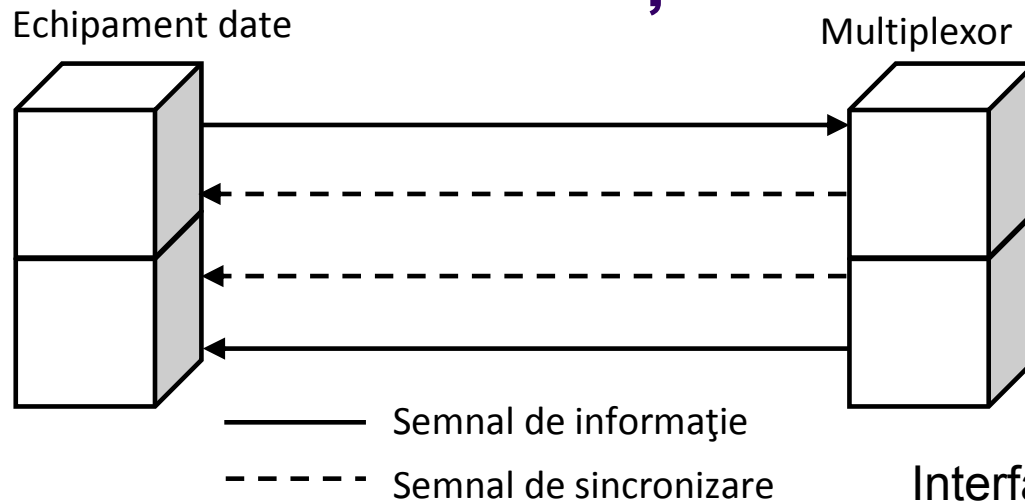


Interfața terminal – multiplexor



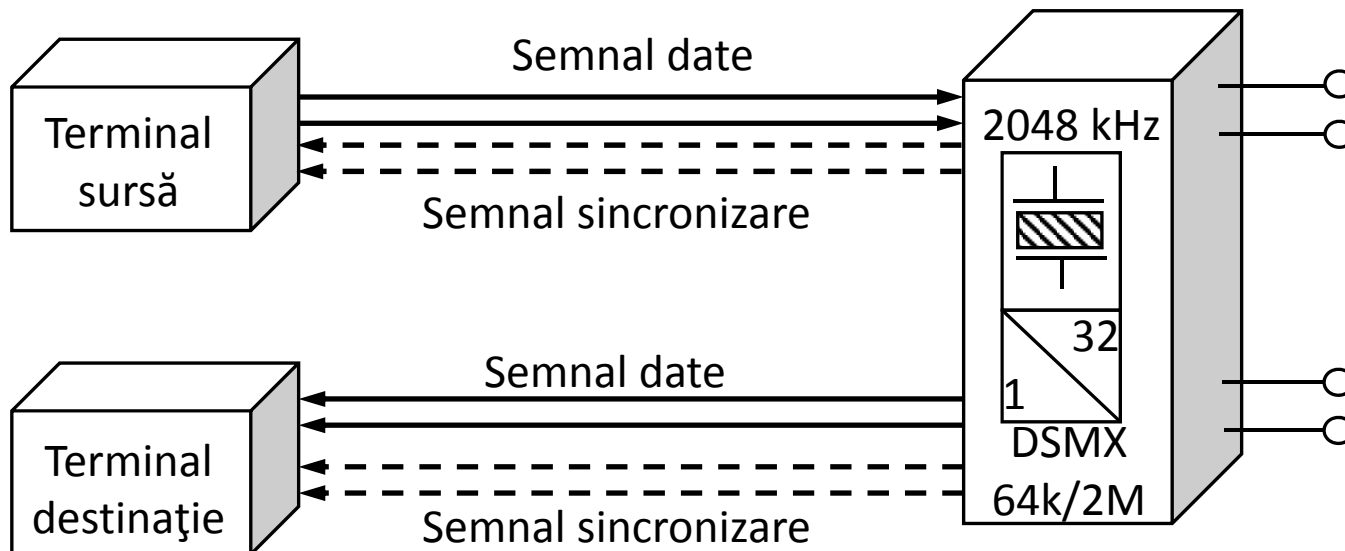
- Interfețe contradirecționale;
 - Între echipamente se va transmite atât semnalul de date cât și semnalul de tact – acesta din urmă de la multiplexor la echipamentele de date;
 - Sunt necesare două canale pe două fire în fiecare direcție: date și sincronizare:
 - tact de bit și de octet;
 - Toleranță semnale de tact: max. ± 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.

