

# Curs 10-11. Multiplexarea semnalelor plesiocrone.

## Ierarhia de multiplexare PDH.

- Multiplexarea semnalelor digitale → intercalarea a  $N$  surse având rata  $f_c$  într-un flux cu rata  $f_m$ , mai mare sau egal cu  $N \cdot f_c$ ;
- la recepție demultiplexarea implică refacerea exactă a celor  $N$  surse utilizând circuite auxiliare localizate la partea de recepție și de emisie (ctrl. trasm. și ctrl. rec.)

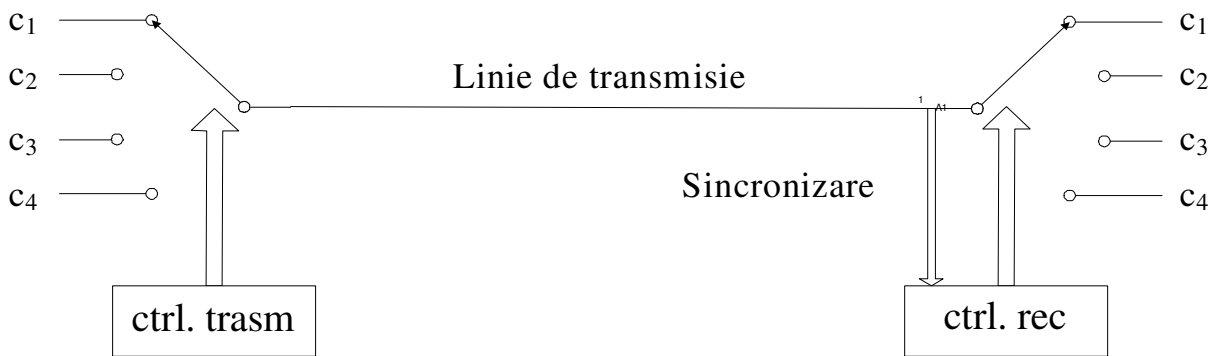


Fig. 1 Multiplexarea și demultiplexarea semnalelor digitale

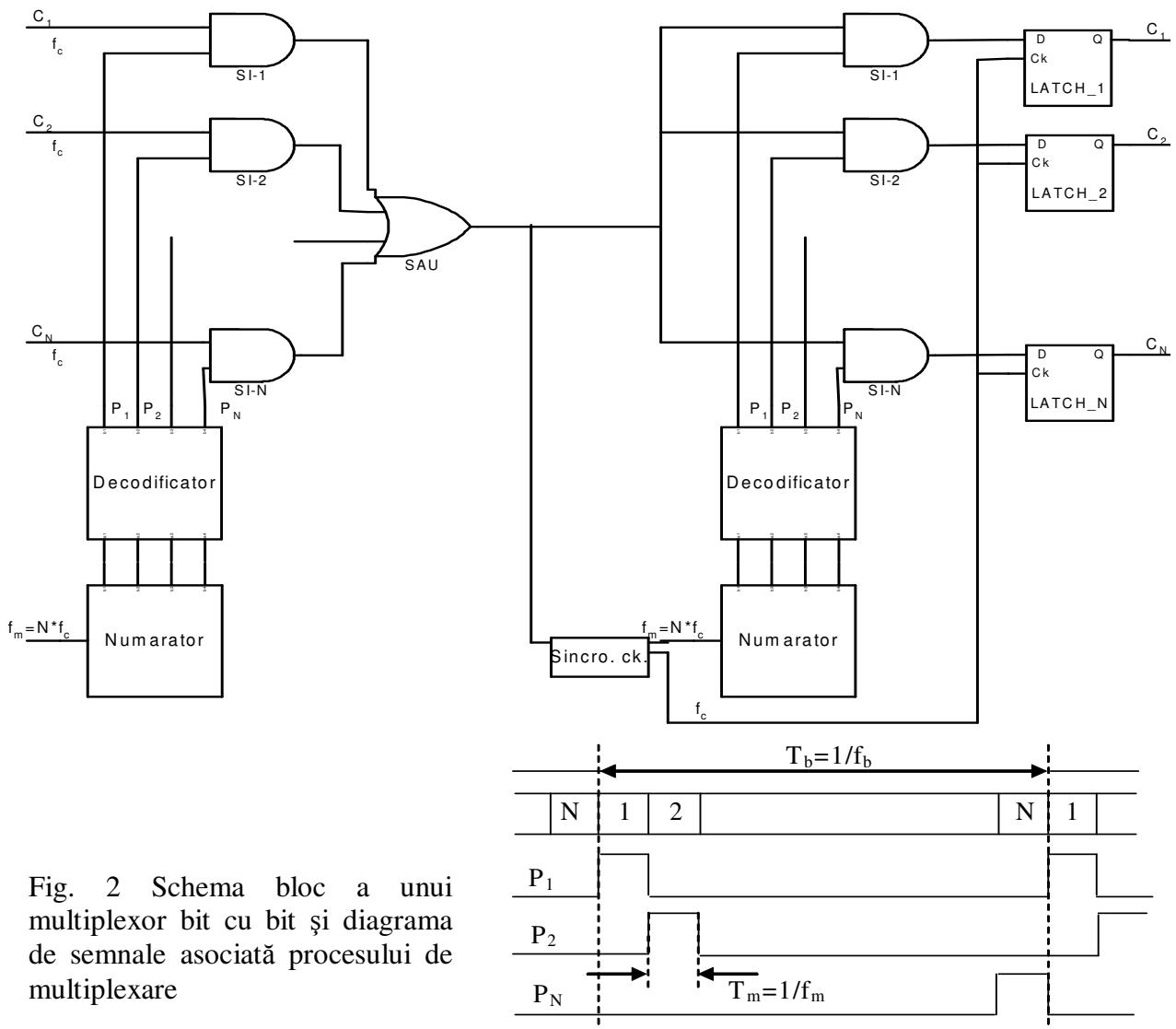


Fig. 2 Schema bloc a unui multiplexor bit cu bit și diagrama de semnale asociată procesului de multiplexare

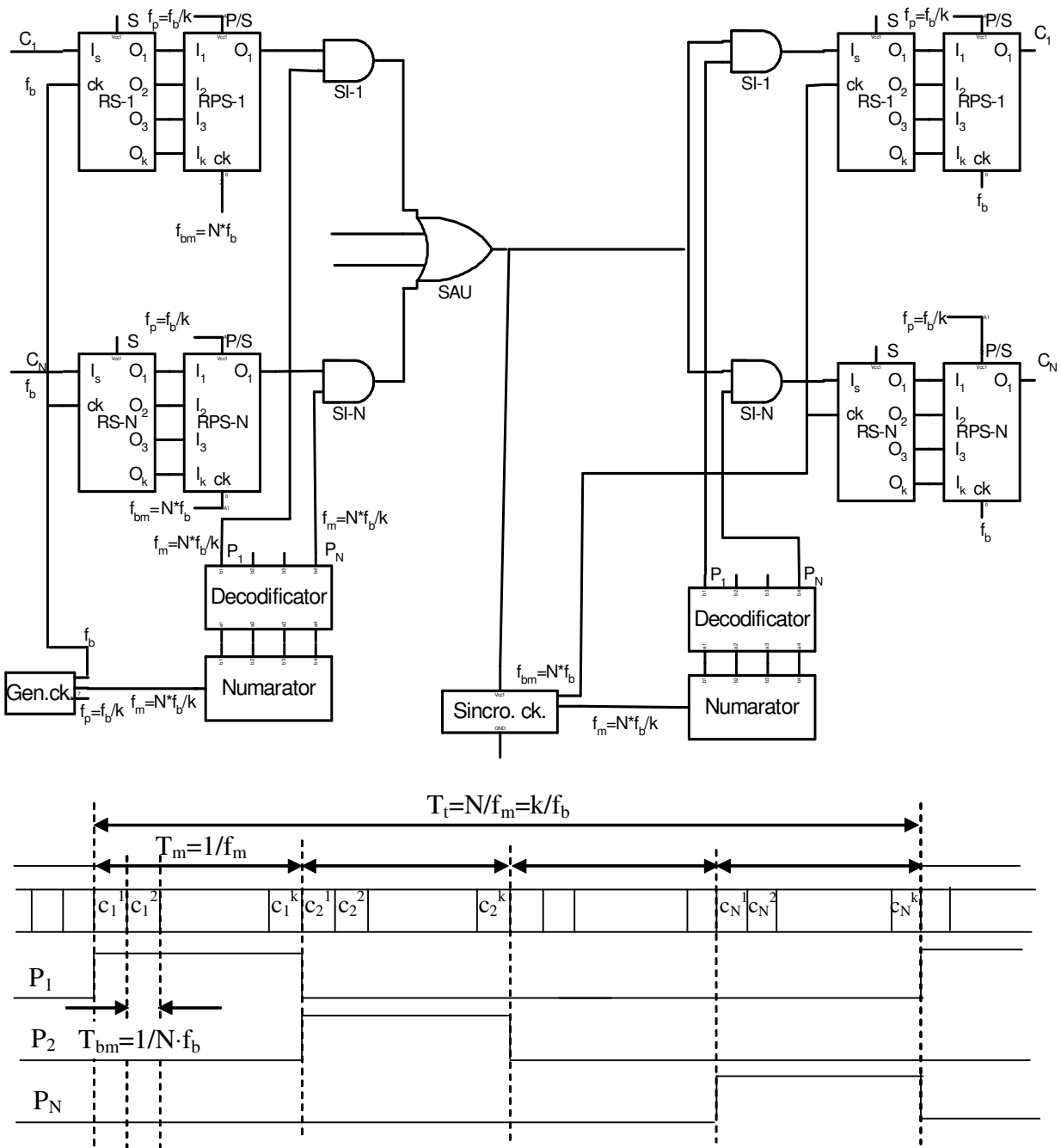


Fig. 3 Schema bloc a unui multiplexor canal cu canal și diagrama de semnale asociată procesului de multiplexare

- Clasificarea semnalelor numerice din punctul de vedere al generării lor și a relației dintre semnalele lor de tact:
  - Semnale izocrone – intervalul de timp dintre două momente semnificative este egal cu un interval de timp unitate sau cu multiplii acestuia;
  - Semnale anizocrone – intervalul de timp ce separă două momente semnificative nu este legat de un interval unitate sau de multiplii acestuia; simbolurile unui semnal anizocron nu au aceeași durată.
  - Semnale homocrone – semnale izocrone cu aceeași rată și relație de fază constantă; se pot împărți în :

- ❖ Semnale mezocrone – semnale izocrone cu aceeași rată și relație de fază variabilă – relație de fază medie constantă.
- ❖ Semnale sincrone – semnale izocrone cu aceeași rată și relație de fază constantă.
- Semnale heterocrone – semnale izocrone cu rată diferită și relație de fază variabilă; semnale plesiocrone – semnale cu aceeași rată nominală, toate abaterile de la această valoare nominală fiind menținute în limite specifice – de ex. semnale cu rată nominală identică generate de surse diferite.

○ **Multiplexarea semnalelor plesiocrone**

○ Multiplexarea semnalelor plesiocrone se poate realiza în două moduri:

- Generarea unor semnale cu stabilitate mare a frecvenței și utilizarea unor memorii tampon – preț foarte mare și pierderea periodică a informației;
- Utilizarea metodei dopării – fără pierdere de informație; principiul de funcționare este prezentat în figura 4;

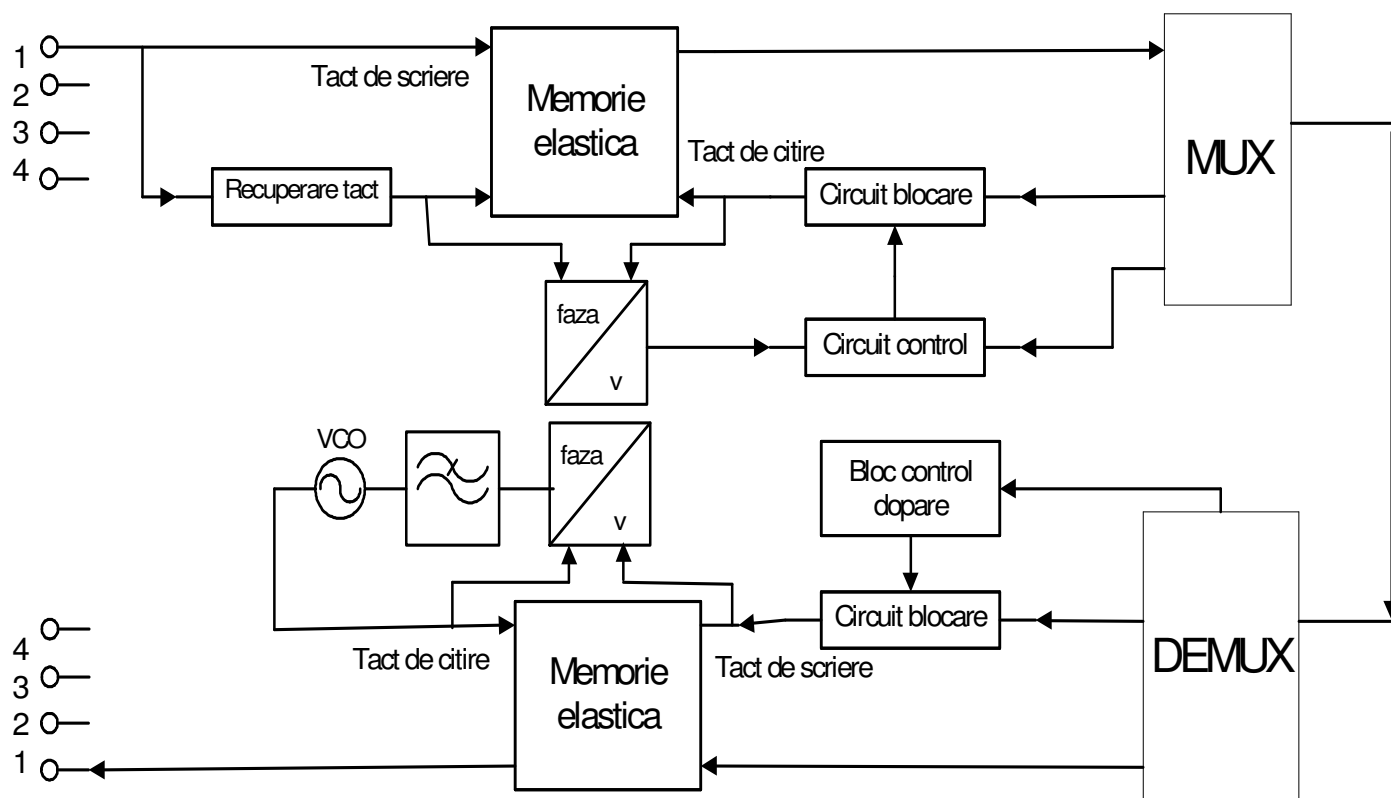


Fig. 4 Schema bloc a echipamentelor de multiplexare – demultiplexare a semnalelor plesiocrone corespunzătoare utilizării tehnicii de dopare pozitivă pentru egalizarea de debit.

- semnalul binar asincron este scris într-o memorie elastică utilizând un tact specific,  $f_i$ ;
- citirea memoriei și transmisia semnalului pe canal se realizează utilizând un tact mai mare  $f_o > f_i$  și apare o tendință de golire a memoriei elastice, fapt prevenit de un comparator de fază;

- la depășirea unei valori ale diferenței de fază (dintre cele două semnale), comparatorul de fază generează o comandă de blocare a impulsurilor de citire – este creată o întrerupere în semnalul transmis (se inserează un impuls de dopare) care descrește diferența de fază dintre cele două semnale de tact;
- doparea este semnalizată la recepție pe o legătură multiplexată cu semnalul de date → semnalizarea dopării este necesară pentru a informa receptorul despre momentul exact și poziția dopării, informație necesară pentru extragerea biților de dopare la recepție;
- în memoria elastică de la recepție se înscriu doar biții de informație cu o viteză  $f_0$ , memoria fiind citită cu viteza  $f_i$ ;
  - extragerea impulsurilor de dopare generează un jitter în semnalul de ieșire – acest jitter este controlat de către o buclă PLL care reduce efectele acestui jitter.

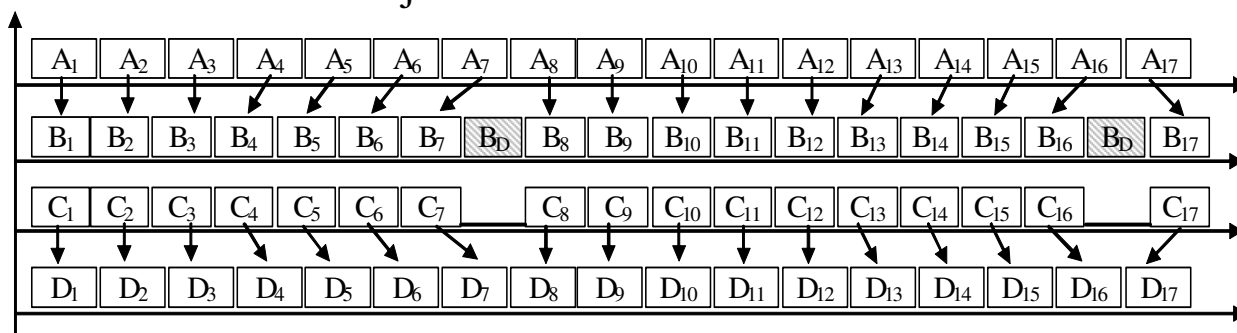


Fig. 5 Principiul adaptării debitului dintre afluent și multiplexor prin metoda dopării pozitive

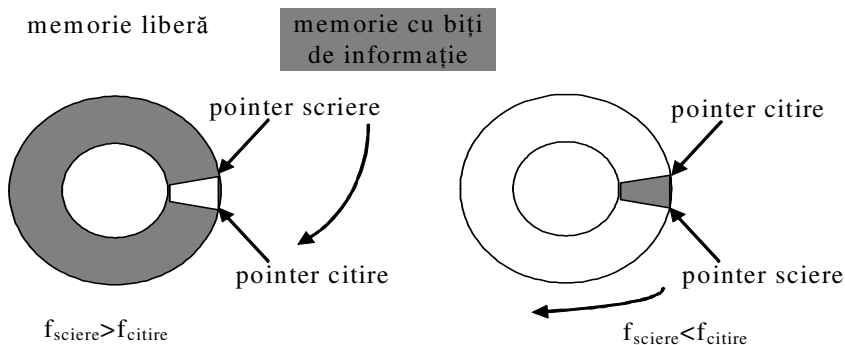


Fig. 6 Utilizarea memoriei elastice pentru adaptare de debit

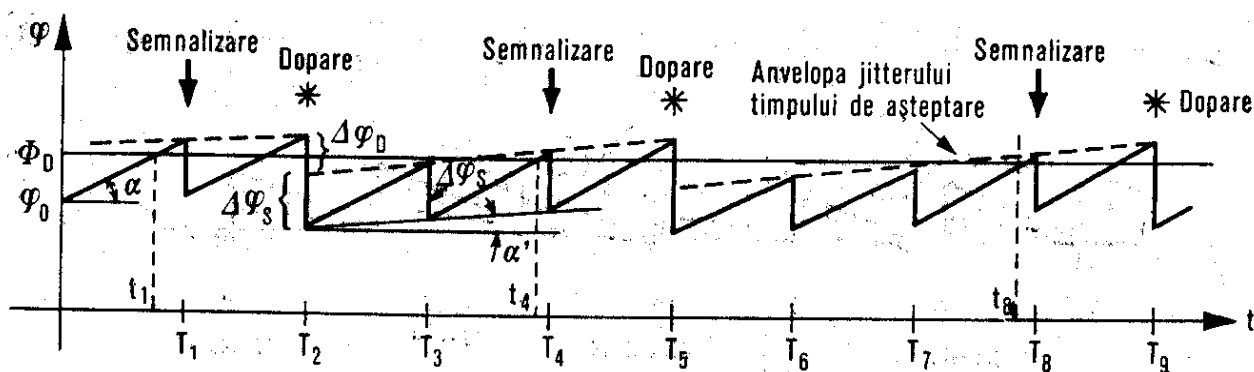


Fig. 7 Variația diferenței de fază la doparea pozitivă.

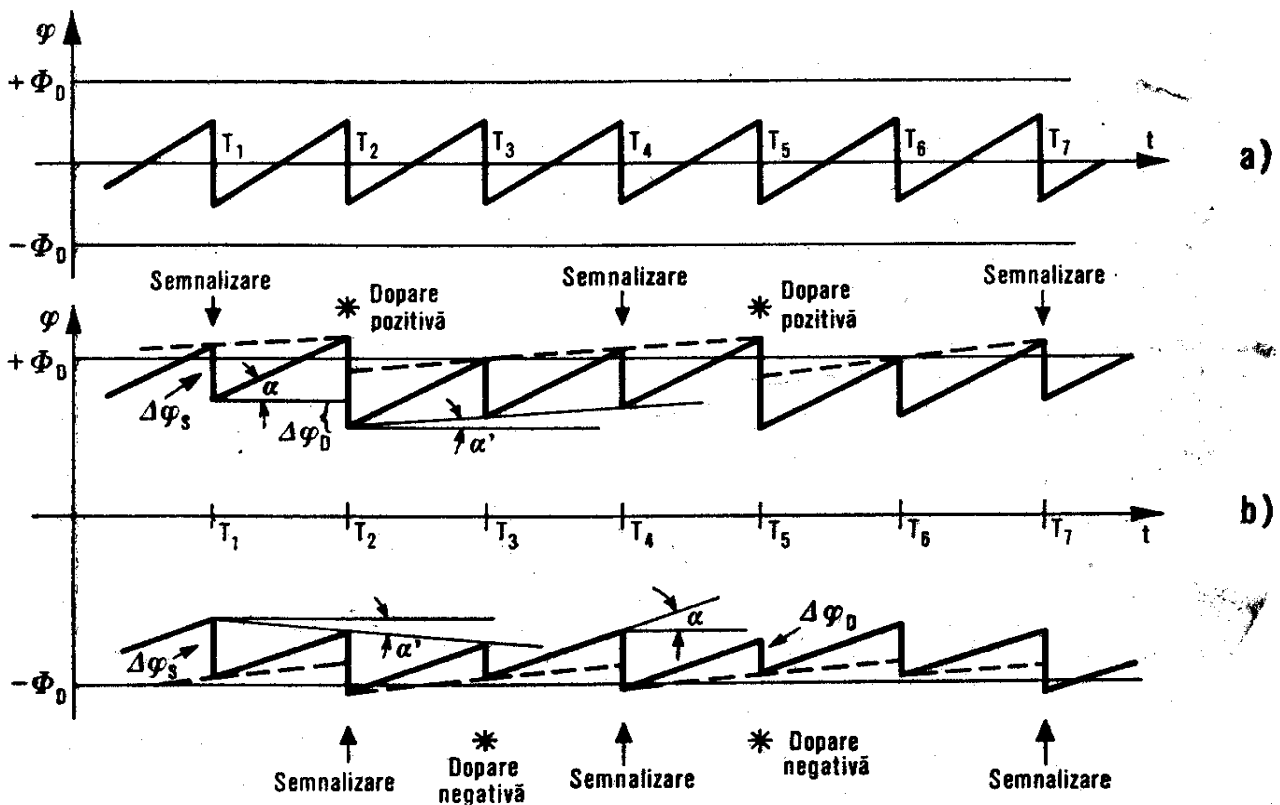


Fig. 8 Variația diferenței de fază la doparea pozitiv-negativă.

- Problema inserării semnalizării dopării se poate realiza în două moduri:
  - inserare individuală, caz în care inserarea informației de semnalizare se realizează înaintea multiplexării – metodă complexă la emisie dar relativ simplă la recepție;
  - inserare comună, inserarea informației de semnalizare de la fiecare afluent se face într-un canal comun care este apoi multiplexat cu semnalele de date – complexitate mai mică la emisie, dar complexitate mai mare la recepție.

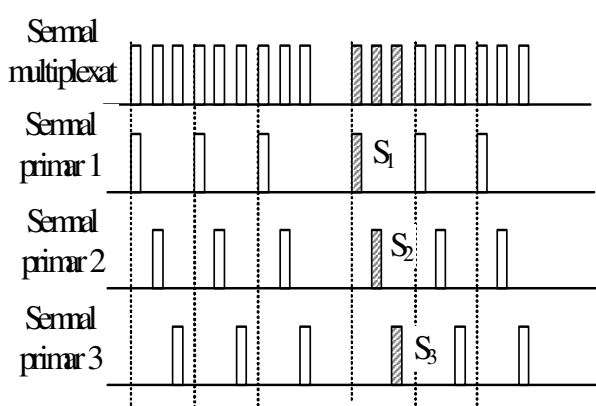


Fig. 9.a Diagramă de semnale asociată inserării individuale a semnalizării de dopare

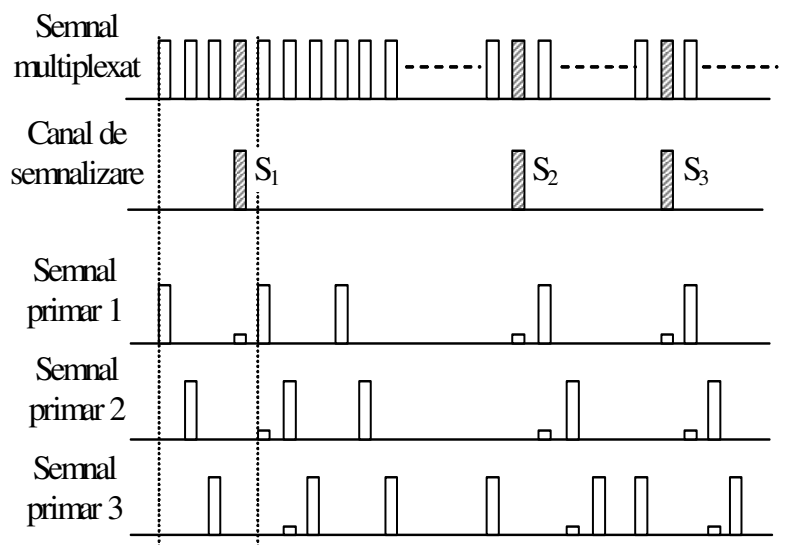


Fig. 9.b Diagramă de semnale asociată inserării comune a semnalizării de dopare

- Informația de semnalizare a dopării este foarte importantă pentru funcționarea echipamentelor de multiplexare;
  - dacă această informație este eronată biți diferiți de cei de dopare vor fi extrași din semnalul recepționat, fapt ce va determina pierderea sincronizării → este necesară codarea redundantă a acestei informații pentru protecția la erori – de regulă se utilizează coduri de repetiție (biții se transmit de mai multe ori și se aplică o decizie majoritară).

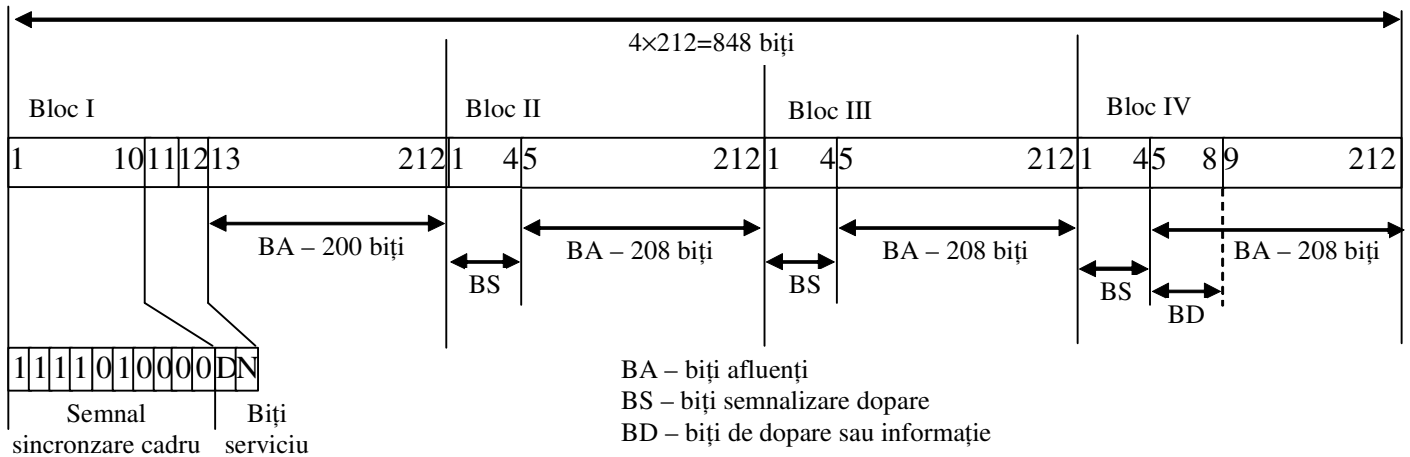


Fig. 10.1 Structura cadrului PDH secundar

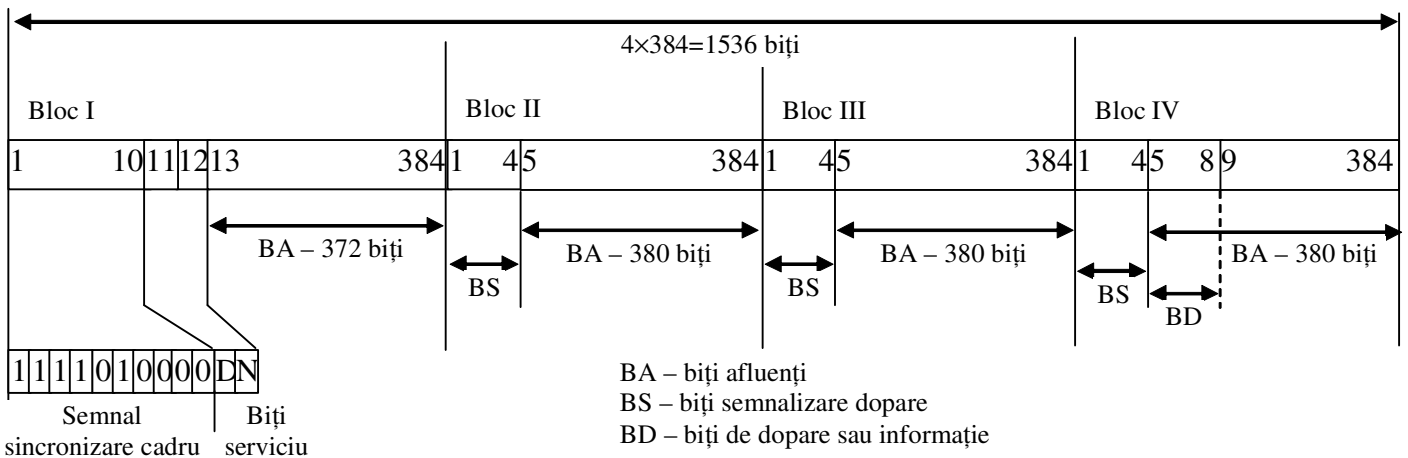


Fig. 10.2 Structura cadrului PDH terțiar

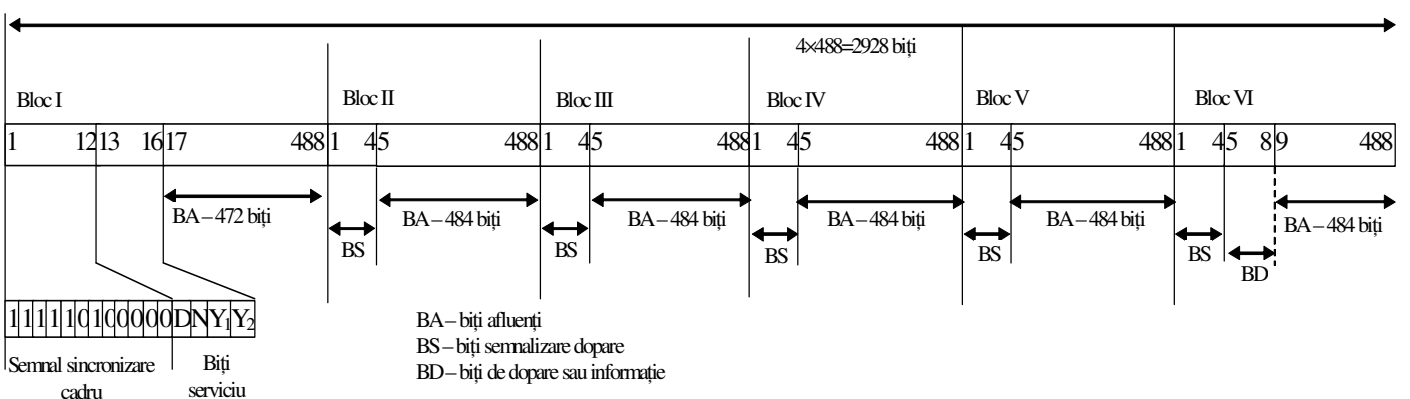


Fig. 10.3 Structura cadrului PDH cuaternar PDH

○ Fie  $N_0$  numărul total de simboluri ale cadrului de transmisie,  $N_s$ , numărul total al simbolurilor de sincronizare,  $n_0$ , numărul total al simbolurilor de informație – rezultă:  $n_0 = N_0 - N_s$ ;  $\eta = \frac{n_0}{N_0}$  (1), unde  $\eta$  este eficiența informațională;

- dacă  $f_s$  este tactul generat local cu valoarea nominală  $f_{sn}$  și  $f_{pn}$  este valoarea nominală a ratei de transfer a afluentului (valoarea nominală a frecvenței de scriere), atunci valoarea nominală a frecvenței de citire din memoria elastică este  $f_{sn}'$ , și frecvența medie de dopare este  $f_d$ :

$$f_{sn}' = \eta \cdot f_{sn}; f_d = f_{sn}' - f_{pn} > 0; f_{dmax} = \frac{f_{sn}}{N_0} \quad (2)$$

- $f_{dmax}$  este frecvența maximă de dopare obținută atunci când frecvența de citire este maximă și cea de scriere este minimă.
- Semnalizarea dopării  $c_1 c_2 c_3 = 1 1 1$ , lipsă dopare  $c_1 c_2 c_3 = 0 0 0$

### ○ Ierarhia de multiplexare PDH

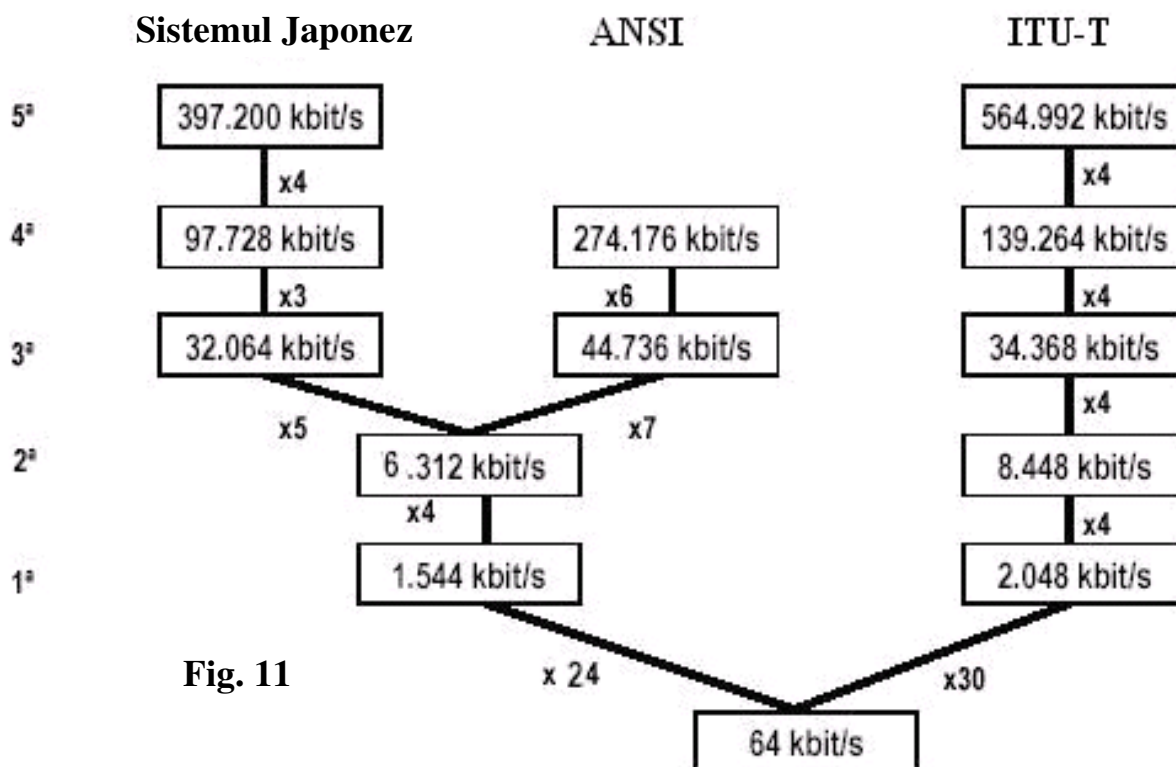


Fig. 11

○ Dezavantajele sistemelor PDH:

- posibilități de management limitate;
- flexibilitate redusă; proiectat doar pentru transport de voce – este relativ dificil de utilizat acest sistem pentru alte servicii (de ex. date pachet de viteză mare);
- inserarea și extragerea fluxurilor de date de bază necesită demultiplexarea – remultiplexarea întregului semnal multiplex – ex. inserarea / extragerea unui flux de 2Mbps într-un / dintr-un semnal multiplex de 140 Mbps;

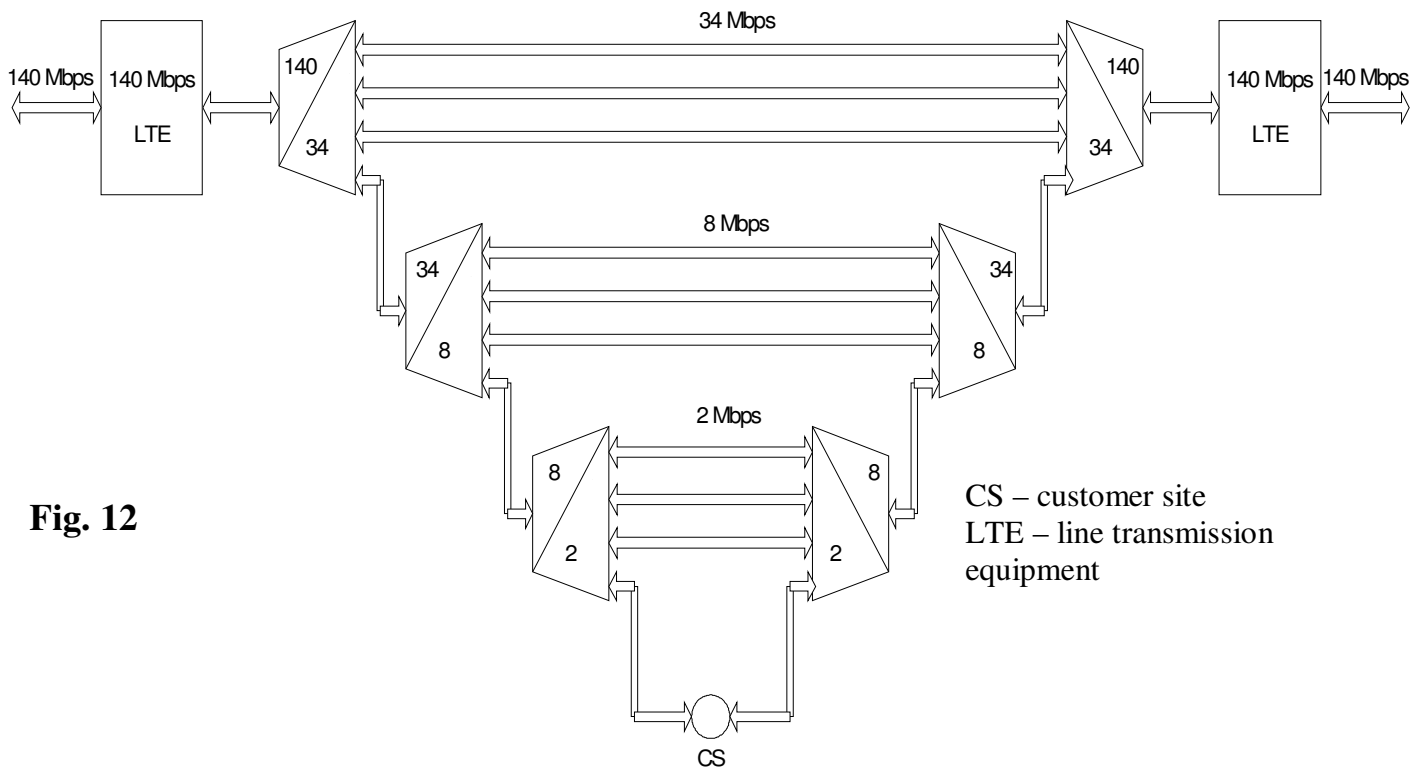


Fig. 12

○ Sincronizarea de cadru

- în sistemele de transmisie cu multiplexare prin diviziune în timp este necesară identificarea la recepție a ordinii de multiplexare a afluenților; este necesară de asemenea identificarea primului bit din cadru;
  - în semnalul digital multiplexat se introduce o secvență specială numită grupă de sincronizare, relativ la care se definește ordinea de multiplexare a afluenților;
  - procesul prin care este realizată alinierea dintre părțile de transmisie și recepție a sistemului digital de transmisie, prin care este menținută și refăcută această aliniere la pierderea acestuia, se numește *sincronizare ciclică sau de grup*;
  - în unele situații sunt necesare două nivele de sincronizare: sincronizare de cadru și de cuvânt (caracteristic multiplexului PCM primar).
- Sincronizarea ciclică se realizează prin creșterea redundanței semnalului transmis prin inserarea grupei de sincronizare;



- condiții impuse secvenței (grupe) de sincronizare:
  - grupa de sincronizare trebuie aleasă astfel încât să reducă cât mai mult posibil similitudinile (acestei secvențe) de către datele transmise;
  - probabilitatea de recunoaștere (dectecție) a acestei secvențe trebuie să fie mare în prezența erorilor de bit;
- Există două modalități de alocare a grupe de sincronizare și anume: alocare distribuită și alocare concentrată;

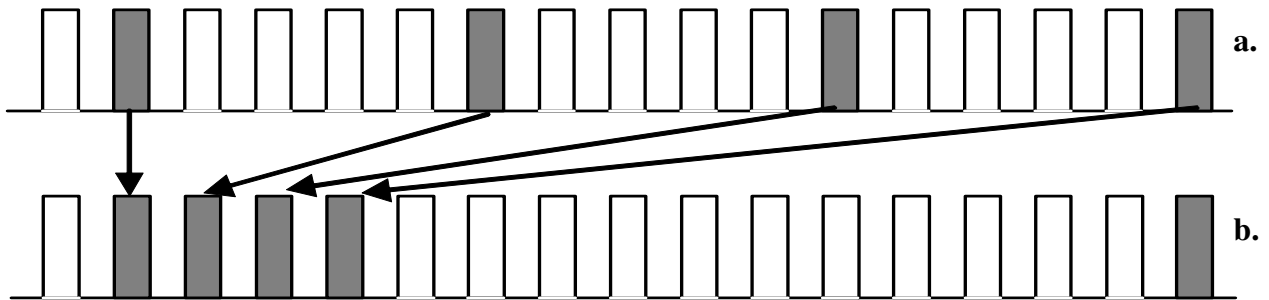


Fig. 13 Metode de inserare a grupe de sincronizare

a) inserare distribuită ; b) inserare grupată

- alegerea unei anumite metode depinde de complexitatea tehnologică, performanțele de eroare și timpul de sincronizare;
  - prima metodă de alocarea a grupe de sincronizare este corespunzătoare canalelor cu probabilitate ridicată de eroare pe bit – în special cazul pachetelor de erori ⇒ sincronizarea este refăcută mai repede (după pierderea acestuia) în prezența pachetelor de erori ; complexitatea metodei este mai mare; pentru probabilitate de eroare redusă timpul de sincronizare este mai mare.
  - a doua metodă de alocare a grupe de sincronizare este mai sensibilă la erori – în special la pachete de erori, dar complexitatea metodei este mai redusă și timpul de sincronizare este mai mic pentru probabilitate de eroare pe bit redusă.
- Echipamentul de sincronizare trebuie să satisfacă următoarele cerințe:
  - timp de sincronizare la stabilirea conexiunii și după pierderea sincronizării (denumire generică de căutarea sincronizării) cât mai mică posibil;
  - informație de sincronizare minimă într-un cadru în condițiile unui timp de căutare a sincronizării acceptabil;
  - probabilitatea de dectecție a semnalului de sincronizare trebuie să fie mare în cazul erorilor de bit – timpul dintre două pierderi ale sincronizării trebuie să fie cât mai mare posibil;
  - echipament de sincronizare cât mai simplu posibil și cât mai fiabil;
- Echipamentul de sincronizare de la recepție are următoarele funcții:
  - stabilirea sincronizării la începutul transmisiei;
  - controlul stării de sincronism pe durata transmisiei;
  - identificarea stărilor când sincronizarea lipsește;
  - restabilirea sincronismului după pierderea acestuia;

- Structura și poziționarea echipamentului de sincronizare în cadrul receptorului este prezentată în fig. 14;

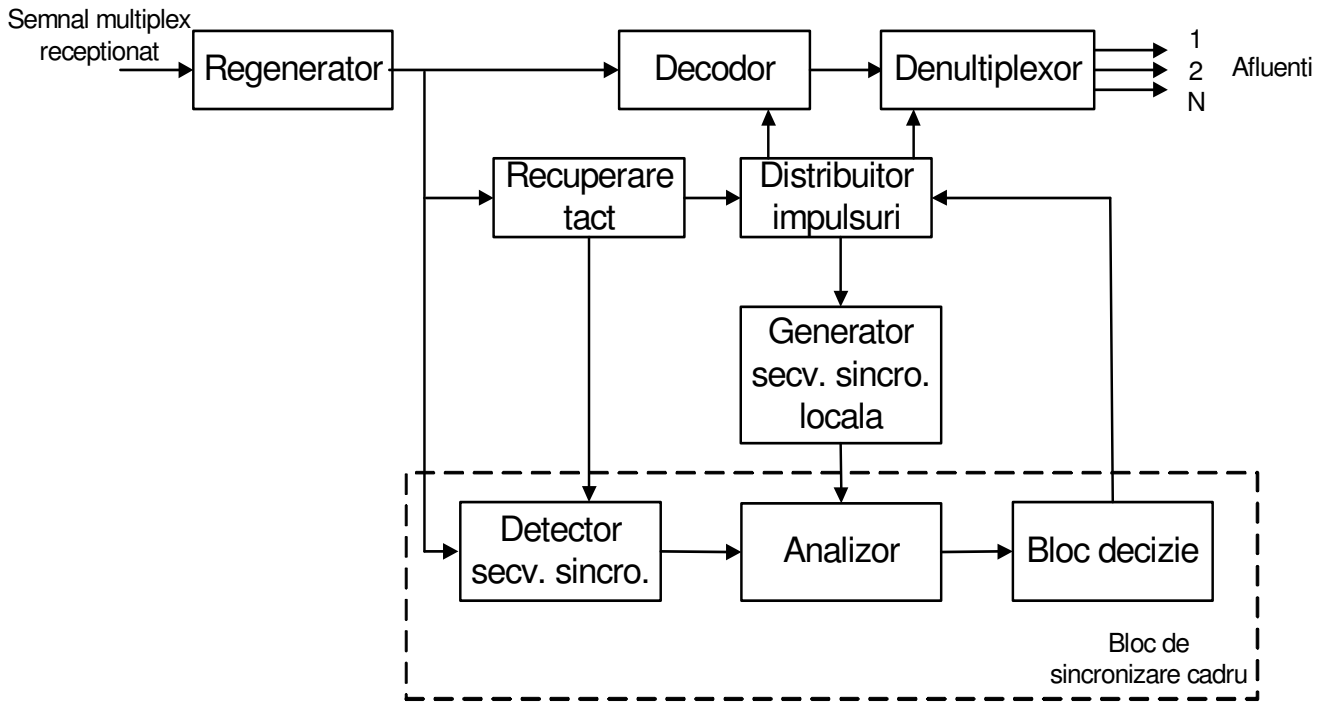


Fig. 14 Schema bloc a unui circuit de sincronizare ciclică și poziționarea echipamentului de sincronizare în cadrul receptorului

- Se pot identifica trei blocuri cu următoarele funcții:
  - **Detectorul** grupei de sincronizare evaluează semnalul digital recepționat, separând grupele de semnal (grupe de biți recepționați) având structură similară cu cea a grupei de sincronizare;
    - grupa de sincronizare este separată pe baza corelației maxime dintre semnalul recepționat și grupa de sincronizare stocată în detector;
      - este posibilă realizarea unei evaluări serie – procesare bit cu bit, este simplu de implementat – sau o evaluare paralelă – stocarea unui ciclu de transmisie și evaluarea ulterioară;
      - detectorul poate extrage grupe de biți care nu sunt grupa de sincronizare – simulări (ale grupei de sincronizare) produse de către biții transmiși, cu un caracter probabilistic; reducerea numărului de sincronizări false este asigurată de alte blocuri ale echipamentului de sincronizare;

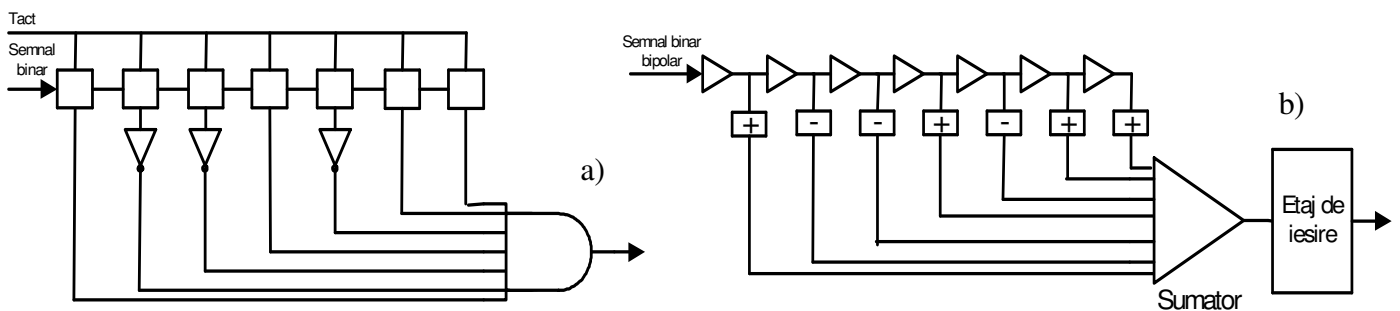


Fig. 15 Scheme posibile pentru circuitul detector al grupei de sincronizare

- **Analizorul** – compară grupa de sincronizare extrasă din semnalul recepționat cu grupa de sincronizare generată local; ia decizii legate de corespondența dintre cele două semnale în conformitate cu următoarele criterii:
  - perioada de repetiție, necesară pentru a verifica dacă grupa de sincronizare este reală sau este o simulare a semnalelor de date;
  - timpul de apariție a grupei de sincronizare – se verifică dacă grupa de sincronizare locală apare simultan cu cea extrasă;
    - ❖ semnalul de ieșire al analizorului – eroare sau lipsă eroare sincronizare – reflectă cele două criterii enunțate.
- **Circuitul de decizie** – ia decizii asupra stării de sincronism pe baza ieșirii analizorului și a unei *strategii de sincronizare*;
  - utilizând semnalul de comandă dat de circuitul de decizie sistemul trece prin stările de căutare sincronism, verificare sincronism și sincronism;

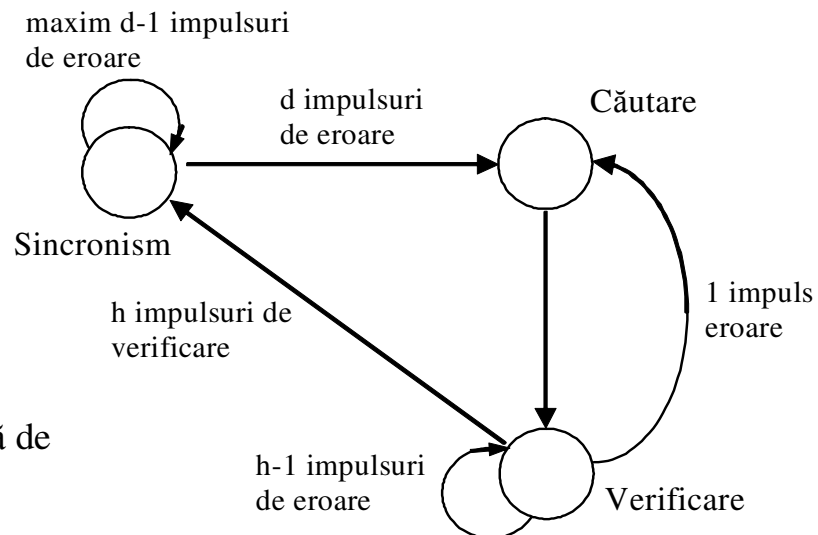


Fig. 16 Strategie generală de sincronizare a cadrelor

## ○ Metode de sincronizare ciclică

- **Sincronizare ciclică prin întârzierea impulsurilor de tact**
  - în starea de sincronism semnalul obținut la ieșirea detectorului grup de sincronizare apare în același moment și cu aceeași periodicitate ca și grupa de sincronizare locală – circuitul de decizie permite trecerea impulsurilor de tact către distribuitorul de impulsuri;
  - în starea de căutare a sincronismului – semnalul de intrare al analizorului nu satisface condiția de periodicitate și de moment de apariție – un semnal de interdicție este generat de către circuitul de decizie (în momentul de apariție al grupei de sincronizare), care blochează circuitul poartă (și accesul tactului la impulsurile distribuitorului de impulsuri) o perioadă de tact ⇒ ciclul distribuitorului local de impulsuri este blocat o perioadă de bit – procesul de căutare ține până când sincronismul este decis de către analizor;
  - probabilitate de sincronizare falsă foarte redusă, dar timp de sincronizare mare;

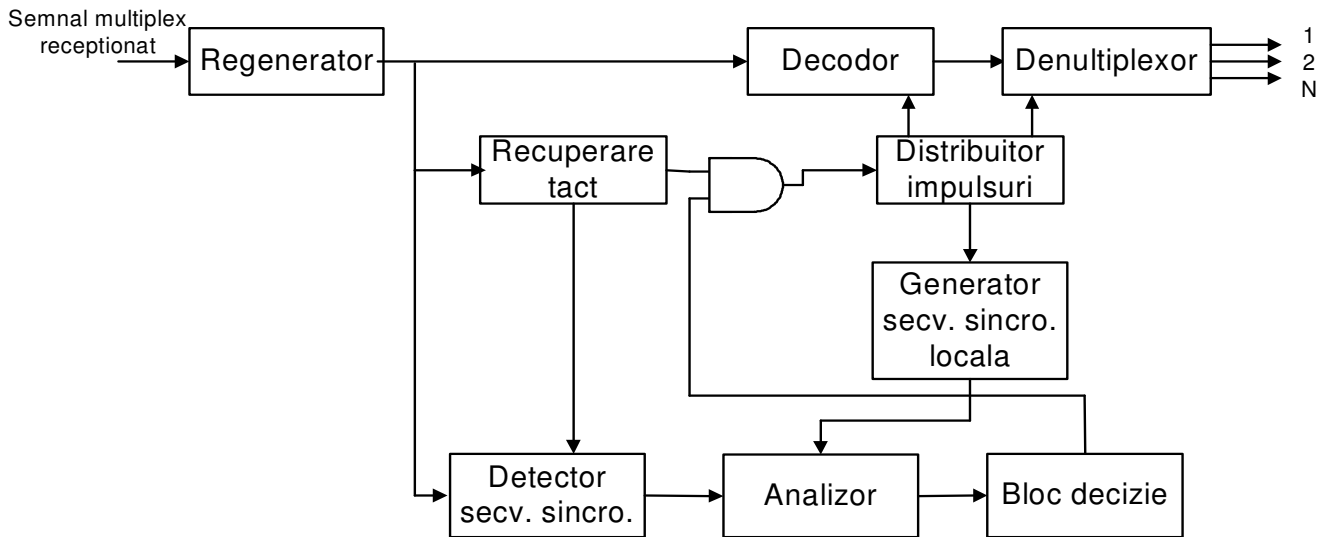


Fig. 17 Schema bloc a echipamentului de sincronizare ciclică bazat pe metoda întârzierii impulsurilor

- În fig. 18 este prezentat algoritmul de căutare al sincronismului în cazul sincronizării ciclice bazate pe întârzierea impulsurilor de tact; există două tipuri de cicluri:
  - ❖ Cicli extinse specifice funcționării normale în starea de căutare a sincronizării, cicluri cu durata  $T_c + T_b$  – cu ajutorul acestor cicluri se reduce diferența de timp dintre grupa de sincronizare locală și cea recepționată cu o perioadă de tact în fiecare moment în care grupa de sincronizare locală este aplicată analizorului;
  - ❖ Cicli suplimentare datorate apariției false a grupe de sincronizare în semnalul recepționat, grupe detectate de către blocul detector – acest cicluri încetinesc procesul de sincronizare;

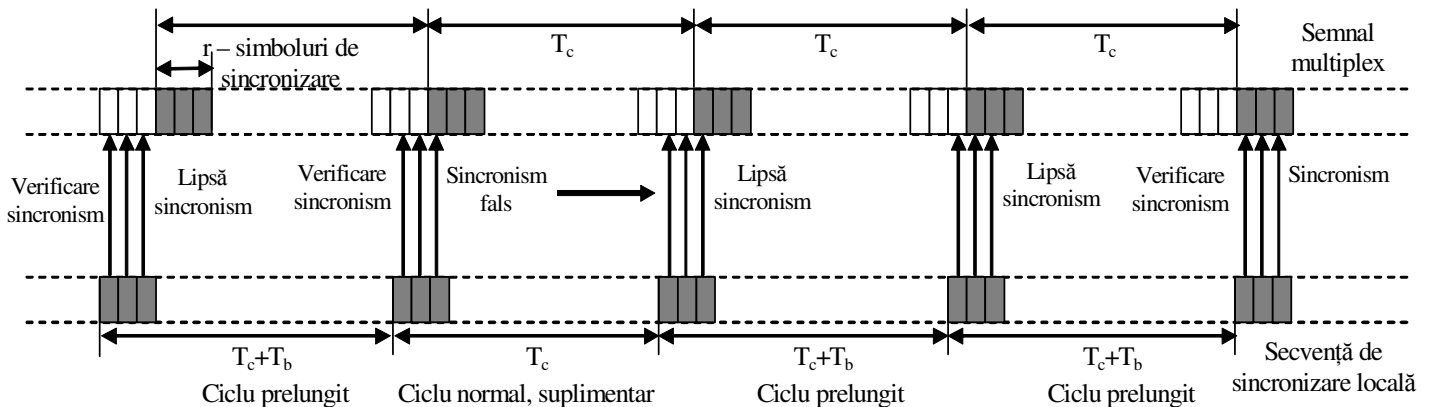


Fig. 18 Principiul de lucru al algoritmului de sincronizare ciclică bazată pe întârzierea impulsurilor

- **Sincronizare ciclică prin alunecare** – asigură o creștere substanțială a vitezei sincronizării; nu este necesară generarea unei grupe de sincronizare locale, momentul de detecția al grupe de sincronizare fiind comparat cu starea distribuitorului de impulsuri al decodorului și demultiplexorului – vezi fig. 19 – schema bloc a circuitului de sincronizare bazat pe această metodă; probabilitatea sincronizării false este mai ridicată comparativ cu metoda bazată pe întârzierea impulsurilor.

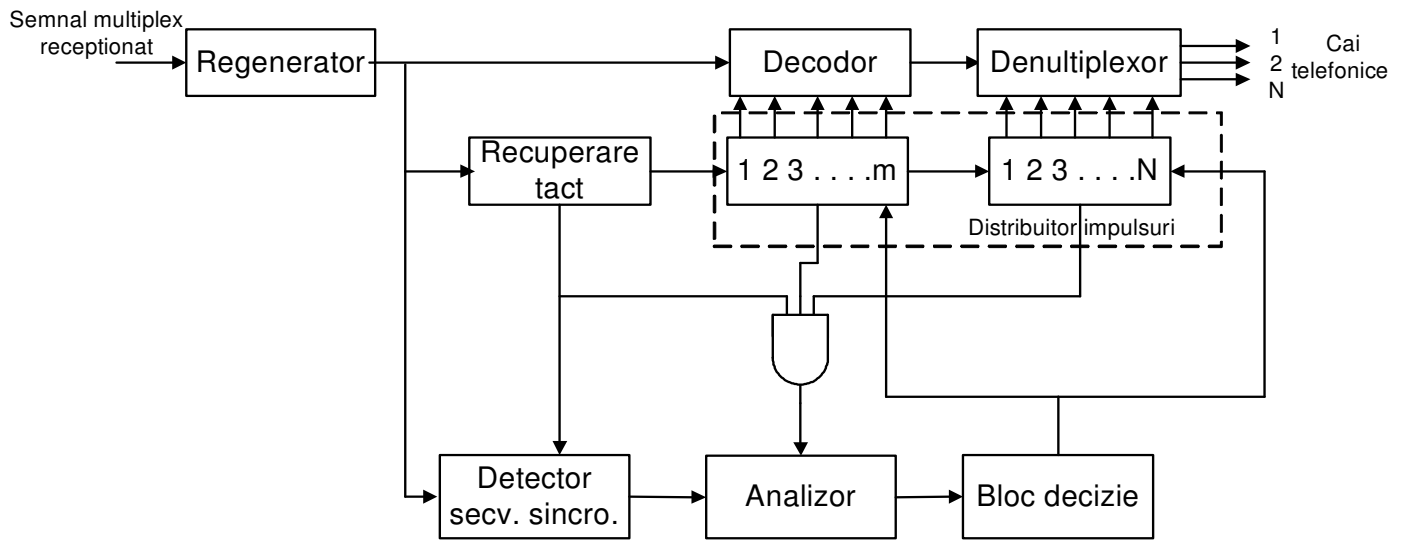


Fig.19 Schema bloc a echipamentului de sincronizare ciclică bazat pe metoda alunecării

- ❖ în stare de sincronism impulsurile de la poarta ȘI, obținute prin coincidența dintre impulsul de tact, impulsul  $m$  de la distribuitorul de impulsuri al decodului și impulsul  $N$  de la distribuitorul de impulsuri al demultiplexorului sunt în fază cu impulsurile generate de detectorul grupei de sincronizare;
- ❖ pierderea sincronizării înseamnă absența coincidenței dintre impulsurile de la ieșirea circuitului ȘI și de la ieșirea detectorului grupei de sincronizare – în starea de căutare a sincronismului este generată o comandă de reset a distribuitorilor de impulsuri la fiecare detecție a grupei de sincronizare → distribuitorii de impulsuri sunt forțați în stare de sincronism;
- ❖ în starea de sincronism detecții false ale grupei de sincronizare pot apare numai datorită erorilor de bit din semnalul recepționat;
  - în jurul grupei de sincronizare (de lungime  $r$  simboluri), pe o distanță de  $r-1$  simboluri (biți), apare o zonă în care se verifică atât semnalul de informație cât și grupa de sincronizare – aceasta este regiunea cea mai expusă detecțiilor false ale grupei de sincronizare – această zonă este numită zonă de acoperire și are o importanță majoră în alegerea structurii grupei de sincronizare.

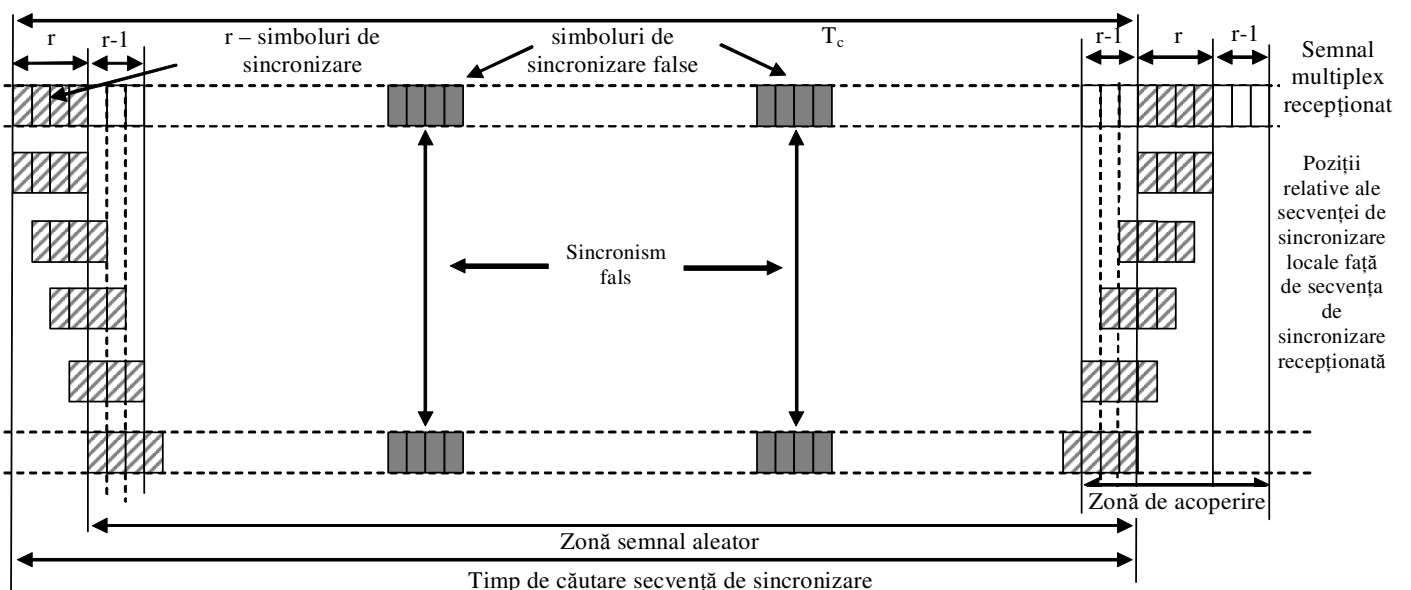


Fig. 20 Principiul de lucru al algoritmului de sincronizare ciclică bazată pe metoda alunecării

- **Jitterul și variațiile lente de fază din sistemele digitale (wander). Refacerea tactului de bit.**
  - Noțiunile de jitter diferă foarte mult în cazul sistemelor analogice și digitale;
  - ❖ în cazul sistemelor analogice jitterul de datorează sistemelor de multiplexare MRF și înseamnă în esență o modulație parazită de fază, caracterizată de o anumită amplitudine (valoare maximă a deviației de fază) și de o anumită frecvență (frecvența cu care se modifică faza);
  - ❖ în cazul sistemelor digitale jitterul înseamnă variația momentelor semnificative ale semnalului digital față de poziția lor ideală ; există diferențe semnificative între cauzele care provoacă jitterul în cele două tipuri de sisteme ; în sistemele digitale jitterul poate apare sub două forme și anume:
    - Variații pe termen scurt ale momentelor semnificative – acest fenomen este numit efectiv jitter
    - Variații de fază pe termen lung – fenomenul de „wander” – sunt variații lente ale momentelor semnificative ale semnalului digital față de poziția ideală ; diferența dintre cele două forme de variații de fază este legată doar de gama de frecvențe – nu există o definiție clară a limitei de frecvență dintre jitter și wander ; de regulă variațiile de fază care au frecvența sub 10Hz sunt numite wander.
- Fenomenul este observabil la capătul oricărei secțiuni digitale atunci când la capătul opus se aplică un semnal digital; este observabil pe un osciloscop sincronizat cu tactul recuperat (vezi fig. 21).



Fig. 21 Fenomenul de jitter observabil la ieșirea unei secțiuni digitale

- Semnalul digital înainte de regenerare prezintă o deplasare a fronturilor de o parte și de alta a poziției ideale, având ca referință semnalul de tact;
- dacă semnalul de tact ar fi complet lipsit de jitter, atunci procesul de regenerare prin eșantionare la mijlocul elementelor de semnal poate conduce la recuperarea fără jitter a semnalului digital (fig. 22).

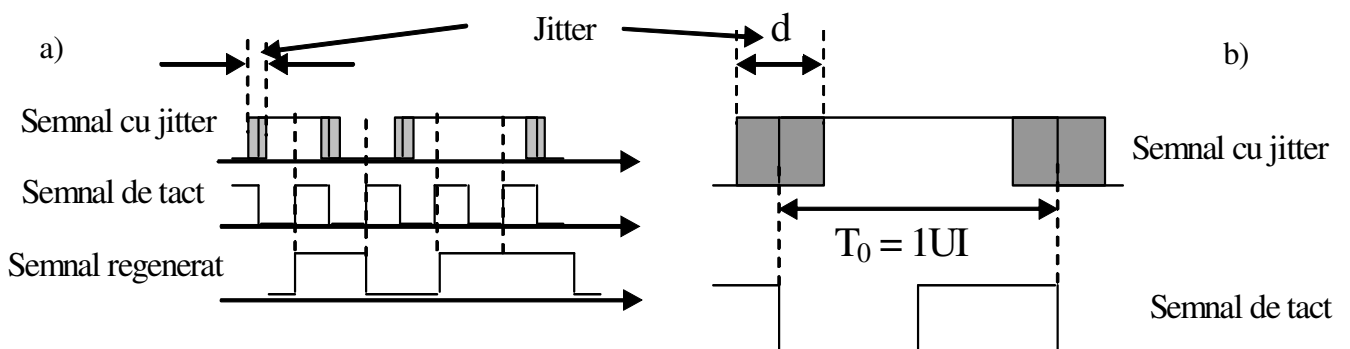


Fig. 22 Eliminarea jitterului prin regenerare ideală – fig. a ; Definirea valorii vârf la vârf a jitterului – fig. b

- Excursia maximă, vârf-vârf, a tranzițiilor semnalului înainte de regenerare, este egală cu durata  $T_0$  a unui element de semnal, numit interval unitate UI (Unit Interval);
- depășirea acestei valori duce la decizie eronată ; amplitudinea vârf-vârf a jitterului se poate exprima și în procente;
- utilizarea intervalului unitate pentru evaluarea jitterului și wanderului face această evaluare independentă de debitul binar și de forma impulsurilor transmise (NRZ sau RZ);
- de observat că în transmisiunile de date termenul de jitter îi corespunde termenul uzual de distorsiune telegrafică totală exprimată în procente ; cele două fenomene au o conotație comună.
- Toleranța la jitter, adică valoarea maximă a jitterului pentru care nu apar decizii eronate diferă în funcție de frecvența jitterului astfel :
  - la frecvențe joase ale jitterului este posibilă depășirea limitei de 1 UI fără apariția deciziilor eronate, deoarece semnalul de tact recuperat preia aproape în întregime acest jitter, urmărind variațiile de fază lente ale semnalului recepționat și realizând o eșantionare corectă, deci sistemul poate tolera o variație de fază mai mare de 1 UI (chiar mult mai mare);
  - aspectul descris rezultă din proprietatea dispozitivelor de extragere a tactului – acestea au o caracteristică de transfer în domeniul frecvență de tip trece jos – apar componente de jitter de frecvență joasă în semnalul regenerat.
  - la frecvențe mari ale jitterului, tactul recuperat (din semnalul digital) nu poate urmări jitterul și amplitudinea vârf-vârf a acestuia nu poate depăși 1 UI, fiind în realitate fracțiuni de UI.
- Efectul jitterului și a wanderului constau în următoarele:
  - Se modifică (scade) rezerva transmisiunilor digitale la alte imperfecțiuni ale canalului (de ex. zgomot)
  - Depășirea unei limite duce la creșterea semnificativă a probabilității de eroare pe secțiunile digitale ; acest efect se reflectă în canalele vocale sub formă de zgomot de impulsuri și zgomot de fond.
  - Apariția unui jitter analogic în canalul vocal analogic ; acesta apare în procesul de conversie D/A din sistemele PCM datorită jitterului asociat tactului care se transmite sub formă de modulație parazită de poziție asupra impulsurilor cu modulație de amplitudine (PAM).

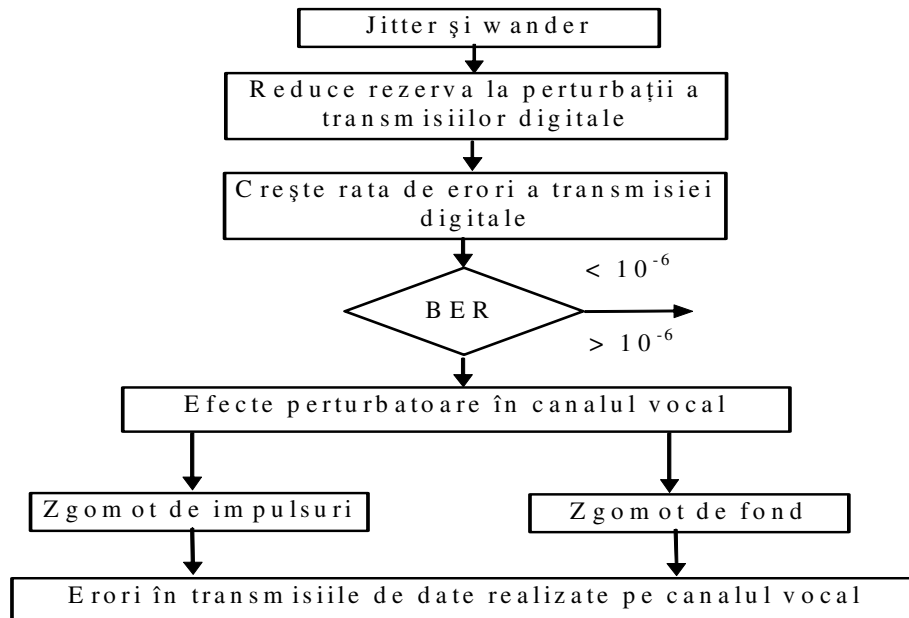


Fig. 23 Efecte ale jitterului și wanderului asupra transmisiilor de voce și de date realizate pe canalul vocal

○ Jitterul se poate clasifica în:

- Variații sistematice – variații de fază dependente de structura semnalului digital (variații dependente de diagramă – „pattern-dependent”); aceste variații de fază apar datorită mai multor unități digitale identice conectate în tandem și corelate; efectul este pronunțat cumulativ
- Variații nesistematice – acest tip presupune absența sau un grad de corelare redus a diverselor surse de jitter; aceste variații de fază au un caracter stohastic (sau semistohastic) și nu depind de secvența de semnal digital (variații independente de diagramă – „pattern-independent”); acest tip de jitter are o influență redusă asupra calității transmisiei.

## 2. Originea jitterului

○ Există numeroase surse de jitter, cele mai reprezentative fiind următoarele:

- **Regeneratorul digital** – un regenerator reface semnalul digital de la intrare cu ajutorul unui semnal de tact, extras din semnalul recepționat (vezi fig. 24);
  - ◆ datorită imperfecțiunilor de refacere a tactului, acesta conține o modulație de fază inerentă care este transmisă integral semnalului digital regenerat, sub formă de jitter;
  - ◆ în procesul de regenerare fiecare regenerator distorsionează semnalul de tact și prin intermediul acestuia generează jitter în semnalul de la ieșire – acest jitter se însumează, în continuare, cu cel generat în alte unități ale lanțului de regeneratoare

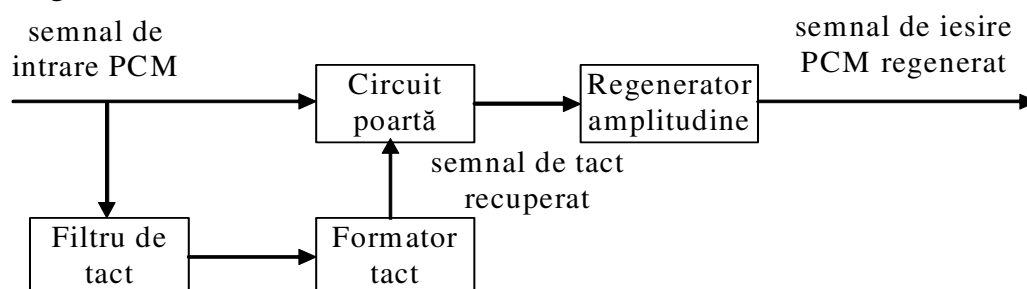


Fig. 24 Schema de principiu a unui regenerator și ideea de bază a regenerării semnalelor digitale



- sursele care generează jitter la ieșirea unui regenerator sunt dependente în primul rând de structura secvenței semnalului de la intrare ; în cazul unui regenerator ideal diagrama de semnal nu are efect asupra fazei semnalului de tact, dar regenerarea are loc în prezența unor imperfecțiuni.

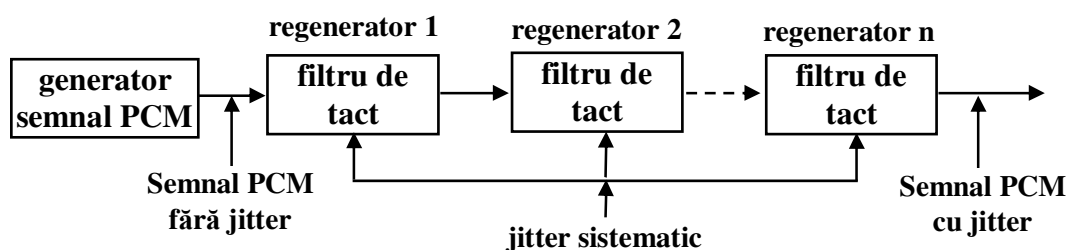


Fig. 25 Acumularea jitterului pe un lanț de regeneratoare

- **Procesul de dopare („stuffing”)** – jitterul asociat procesului de dopare apare la ieșirea echipamentelor de demultiplexare de ordin superior, atunci când procesul de multiplexare operează asupra mai multor afluenți plesiocroni;
  - Acest jitter este format din două componente de jitter și anume:
    - ❖ jitterul de dopare prezent atunci când procesul de dopare poate apare la imediat la cerere;
    - ❖ jitterul de așteptare care este definit ca și un jitter de joasă frecvență, deoarece există în realitate un timp de așteptare între cererea de dopare și execuția acesteia ;
    - ❖ deoarece cele două definiții sunt legate și greu de separat se poate accepta o singură noțiune, cea de jitter de așteptare (vezi fig. 7, 8).
- **Wanderul** – poate apare din mai multe motive cele mai importante fiind: variația caracteristicilor mediului de transmisie și variația generatoarelor de tact din nodurile rețelelor digitale (vezi fig. 26)

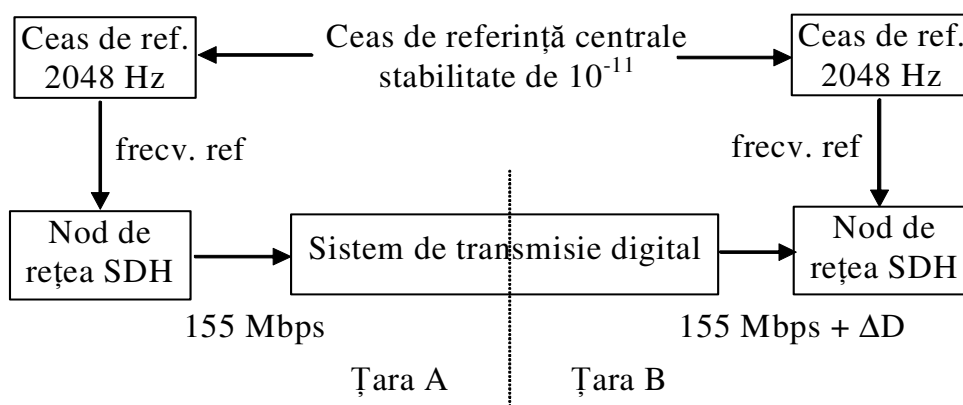


Fig. 26 Apariție fenomenului de „wander”

- **Cumularea jitterului în rețelele digitale** - se consideră două situații posibile și anume:
  - Lanț de regeneratoare în cascadă: caracterul jitterului este preponderent sistematic (dependent de secvența semnalului digital) cauza principală fiind imperfecțiunile circuitelor de recuperare a tactului;

- funcția de transfer a jitterului între intrarea și ieșirea unui regenerator este de forma unui FTJ dat de expresia :  $C(s) = \frac{1}{1 + B \cdot s}$  (3), unde  $s = j\omega$  ,  $B = \omega_0 / 2Q$  este jumătatea lărgimii de bandă a filtrului de extragere a tactului.

- Cumularea jitterului aleator pe un lanț de regeneratoare : surse necorelate (de ex. zgomot aleator) ; legea de însumare este :  $J_N = J_1 \cdot \sqrt[4]{N}$  (4), unde  $J_1$  este valoarea eficace a jitterului generat de fiecare generator,  $J_N$  este valoarea eficace însumată ; importanță minoră.
- Cumularea jitterului sistematic generat pe un lanț de regeneratoare: surse corelate (dependente de secvența biților), legea de însumare a jitterului sistematic :  $J_N = J_1 \cdot \sqrt{2N}$  (5), unde  $J_1$  este valoarea eficace a jitterului generat de fiecare regenerator; valorile lui  $J_1$  se găsesc de regulă în gama 0,4 – 1,5% din UI;
  - dacă se utilizează bucle PLL pentru refacerea tactului legea de însumare este :  $J_N = J_1 \cdot \sqrt{2NA}$  (6), unde  $A$  este un factor dependent de numărul de regeneratoare și de caracteristicile buclei PLL;
  - importanță majoră; distribuție probabilistică a amplitudinilor jitterului apropiată de cea gaussiană; un raport valoare vârf-vârf / valoare eficace de 12 – 15 este uzual și corespunde unei probabilități reduse de depășire a valorii de vârf.
- Mijloace de reducere a jitterului pe un lanț de regeneratoare: utilizarea în regeneratoare a unor dispozitive de transformare care operează asupra secvenței de semnal (de ex. secvențe SPA, scrambler, însumarea semnalului cu versiuni întârziate ale lui);
  - o altă soluție posibilă este utilizarea unor memorii tampon în regenerator care preiau variațiile bruște ale tactului refăcut (vezi fig. 27) (dispozitivele de reducere a jitterului se mai numesc „jitter reducer” sau compensatoare de jitter); tactul de emisie este comandat de nivelul de umplere al memoriei

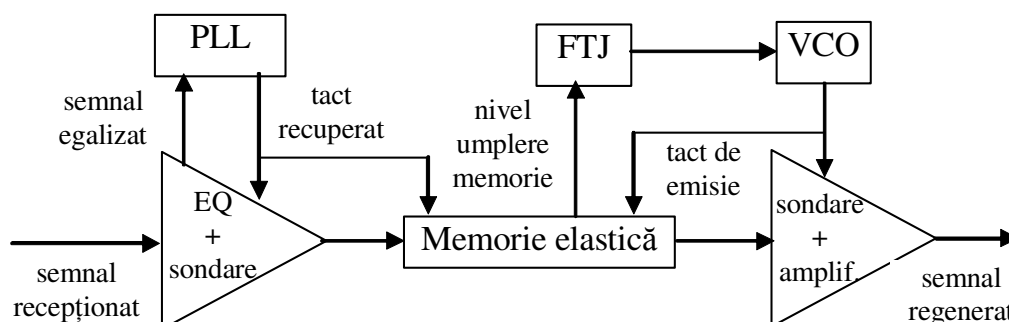


Fig. 27 Regenerator echipat cu compensator de jitter

- Cumularea jitterului în cazul transmiterii alternate a două diagrame de semnal: are efect apariția unui jitter de frecvență joasă, proporțională cu numărul de regeneratoare, valoarea de vârf fiind dată de :  $J = d \cdot N$  (7), unde  $d$  este jitterul produs de un singur regenerator în situația de față ; această situație este puțin utilizată în practică.

- **Cumularea jitterului în sisteme digitale care conțin scrambler și compensatoare de jitter**
  - Sisteme care conțin dispozitive scrambler și descrambler – regeneratoarele se vor comporta ca și surse necorelate de jitter; legea de însumare este :  $J_M = J_S \cdot \sqrt[4]{K \cdot M}$  (8), unde  $J_S$  este jitterul eficace al unui sistem,  $K$  constantă cu valoare între 1 și 2 ( $K=2$  pentru  $M$  mare),  $M$  numărul de sisteme digitale
  - Sisteme care conțin dispozitive scrambler/descrambler și dispozitive de reducere a jitterului – este valabilă relația anterioară cu mențiunea că  $J_S$  este mai mic.
- **Cumularea jitterului datorat echipamentelor de multiplexare – demultiplexare**
  - Apare o acumulare a jitterului de așteptare ; valoarea eficace a jitterului cumulat  $J_M$  în funcție de jitterul echipamentelor individuale,  $J_S$ , și de numărul de echipamente de multiplexare este dat de:  $J_S \cdot \sqrt[4]{N} \leq J_M \leq J_S \cdot \sqrt{N}$  (7)
- **Performanțele de jitter care definesc calitatea rețelelor digitale**

- Limite pentru jitter (vezi tab. 1 )

Tip jitter → Debit binar (kbps) ↓	Jitter măsurat în bandă largă		Jitter măsurat în bandă redusă	
	Valoare maximă vârf la vârf în UI	Bandă de frecvență de măsură	Valoare maximă vârf la vârf în UI	Bandă de frecvență de măsură
64	0,25	20Hz÷20kHz	0,05	3kHz÷20kHz
2048	1,5	20Hz÷100kHz	0,2	18kHz÷100kHz
8448	1,5	20Hz÷400kHz	0,2	3kHz÷400kHz
34368	1,5	100Hz÷800kHz	0,15	10kHz÷800kHz
139264	1,5	200Hz÷3500kHz	0,075	10kHz÷3500kHz

Tab. 1 Performanțe de jitter ale transmisiilor digitale cu diferite debite din rețelele de transmisie plesiocrone

- Limitele pentru wander – wanderul este un fenomen lent determinat de caracteristicile mediului și de îmbătrânirea generatoarelor de tact; poate duce la fenomenul de alunecare;
  - se definește parametrul MTIE (Maximum Time interval Error) – variația vârf la vârf a întârzierii semnalului de sincronizare față de unul ideal (de ex. un tact de referință) într-un interval de timp  $S$  (vezi fig. 28) ; pentru  $S > 10^4$ s avem :  $TIE = (10^{-2} \cdot S + 10000)ns$  (10);

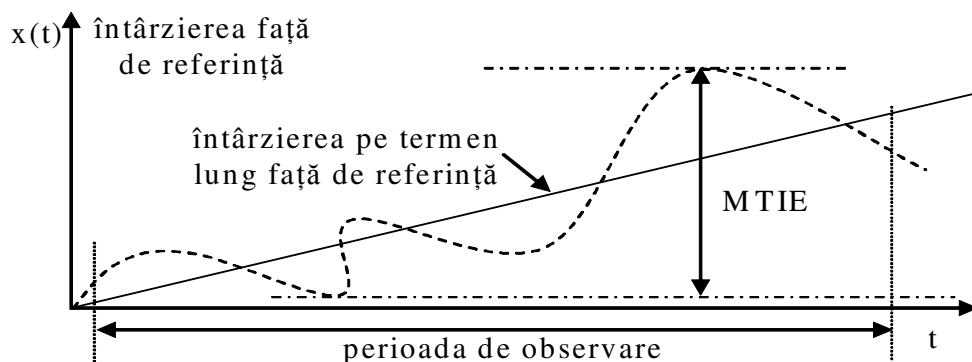


Fig. 28 Definierea parametrului MTIE asociat „wanderului”

- în cazul rețelelor sincronizate independent, valoarea TIE dintre semnalul de intrare și semnalul de sincronizare al echipamentului în care se termină legătura poate depăși valoarea maximă permisă a wanderului și pot apare alunecări de tact cu o frecvență cuprinsă între 1 și 70 zile.
- Toleranța la jitter și la wander a echipamentelor digitale (vezi fig. 29 și tab. urmator)

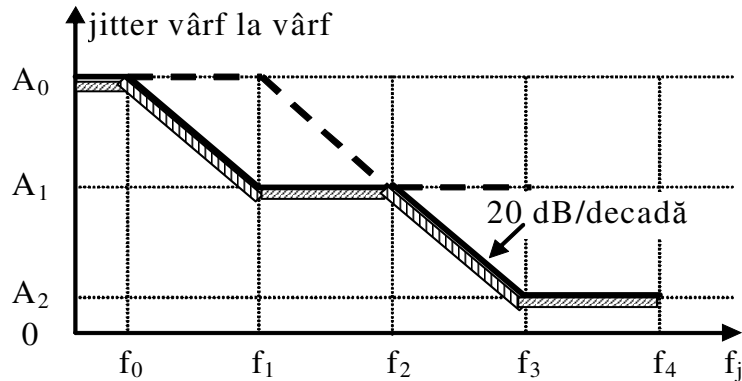


Fig. 29 Limite maxime admise ale valorii vârf la vârf ale jitterului și „wanderului”. Caracteristica jitter vârf la vârf - frecvență

Valori param. → Debit binar (kbps) ↓	Valoare vârf la vârf jitter (UI)			Frecvența (Hz)				
	A <sub>0</sub>	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	f <sub>0</sub> (Hz)	f <sub>1</sub> (Hz)	f <sub>2</sub> (Hz)	f <sub>4</sub> (kHz)	f <sub>5</sub> (kHz)
64	1,15	0,25	0,05	$1,2 \times 10^{-5}$	20	600	3	20
2048	36,9	1,5	0,2	$1,2 \times 10^{-5}$	20	2400 (93)	18 (0.7)	100
8448	152	1,5	0,2	$1,2 \times 10^{-5}$	20	400 (10700)	3 (80)	400
34368		1,5	0,15		100	1000	10	800
139264		1,5	0,075		200	500	10	3500

Tab. 2 Valori vârf la vârf maxime admise pentru jitter și „wander” în diferite benzi de frecvență pentru transmisii digitale cu diferite debite din rețelele plesiocrone

- Caracteristica de transfer a jitterului în cazul echipamentelor digitale – caracteristica  $H(f_j)$  a jitterului reprezintă raportul dintre jitterul de la ieșire a unui echipament și jitterul de intrare, exprimat în dB în funcție de frecvență, la un debit binar specificat ; în general se atenuază componentele de jitter peste o anumită frecvență – caracteristica generală  $H(f_j)$  este de tip trece jos (vezi fig. 30)

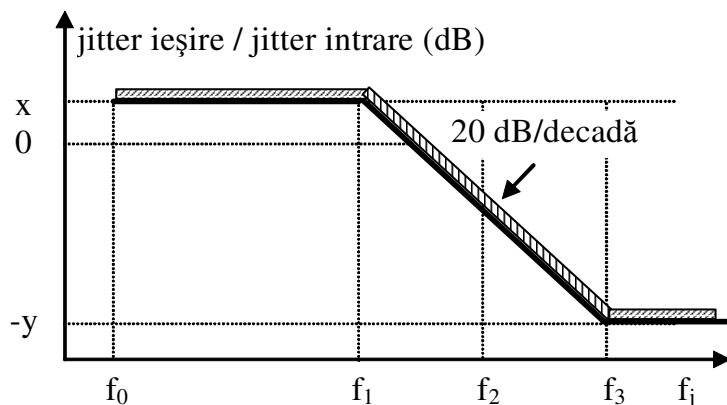


Fig. 30 Caracteristică de transfer în frecvență a jitterului

- Jitterul maxim la ieșirea echipamentelor digitale și jitterul maxim la ieșirea secțiunilor digitale