

6.8 Algoritmul de acces multiplu ALOHA

6.8.1 Aspecte generale

- ALOHA este un algoritm de acces aleator la un satelit de telecomunicații.
- A devenit operațional în anul 1971 la Universitatea din Hawaii și era utilizat pentru a interconecta cele câteva sisteme de calcul ale universității prin intermediul unui satelit de telecomunicații.
- Ulterior a stat la baza multor altor algoritmi de acces multiplu.
- Algoritmul ALOHA prezintă trei variante:
 - ALOHA – pur (P-ALOHA)
 - ALOHA cu segmente de timp (S-ALOHA)
 - ALOHA cu rezervare (R-ALOHA)

6.8.2 Algoritmul P-ALOHA

- Această versiune este extrem de simplă și constă în următoarele patru moduri de lucru:
 1. **Modul transmisiune**, un utilizator oarecare transmite un pachet de date prelucrat cu un cod detector de erori atunci când dorește acest lucru. În această fază el nu este interesat de activitatea celorlalți utilizatori.
 2. **Modul recepție**; după transmisiune utilizatorul trece pe recepție așteptând o confirmare de la partener (ACK). Dacă transmisiunea s-a suprapus total sau parțial cu transmisiunea altui utilizator se spune că a apărut o coliziune. Atunci partenerul detectează un mesaj cu erori și transmite o confirmare negativă (NACK).
 3. **Modul retransmitere**; după recepționarea unei confirmări negative mesajul este retransmis. Dacă retransmiterea are loc imediat va rezulta o nouă coliziune. Pentru a evita acest fenomen fiecare utilizator realizează retransmiterea mesajului rejectat după un interval aleator.
 4. **Modul expirare a timpului de confirmare**; după transmiterea unui pachet utilizatorul așteaptă mesajul de

confirmare (pozitivă sau negativă). Dacă acest mesaj nu sosește într-un interval de timp specificat transmiterea pachetului se reia.

- In cadrul protocolului ALOHA se consideră că un pachet de date are lungime fixă egală cu b biți;
- Pentru a evalua eficiența protocolului se vor defini o serie de parametri statistici:

- Rata de transmitere a pachetelor acceptate: λ .
- Rata de transmisie a pachetelor rejectate: λ_r
- Rata de transmisie totală: λ_t .

- Este evident că:

$$\lambda_t = \lambda_r + \lambda$$

- Pe această bază se poate defini debitul de transmitere a informației transmise:

$$\rho' = b \lambda \text{ biti / sec .}$$

- Respectiv traficul total de informație:

$$G' = b \lambda_t \text{ biti / sec .}$$

- Deoarece acești parametri nu sunt concludenți cu privire la eficiența transmisiunii se introduce o normare cu referire la capacitatea canalului R .

- In acest mod se definește debitul normat:

$$\rho = \frac{b}{R} \lambda \text{ unde } 0 \leq \rho \leq 1$$

- Și traficul total normat:

$$G = \frac{b}{R} \lambda_t \text{ unde } 0 \leq G \leq \infty$$

- Timpul necesar pentru transmiterea unui pachet este:

$$\tau = \frac{b}{R} \text{ sec unde}$$

- Cu această notație debitul informației transmise cu succes și traficul total devin:

$$\rho = \lambda \tau \text{ respectiv } G = \lambda_t \tau$$

- Eficiența cu care un protocol oarecare folosește canalul de comunicație poate fi evaluată prin analiza procentului reprezentat de debitul informației transmisă cu succes din capacitatea canalului.
- Acest procent poate fi determinat cunoscând probabilitatea ca un pachet să fie transmis cu succes.
- Un pachet este eronat dacă intră în coliziune cu un alt pachet.
- Aceasta se întâmplă dacă un alt pachet începe să fie transmis într-un interval mai scurt cu τ în fața primului bit al pachetului de referință sau pe durata τ de transmitere a acestuia.
- Cu alte cuvinte nu apare o coliziune dacă un alt pachet nu începe într-un interval cu durata 2τ secunde în jurul începerii pachetului util.
- Pentru a evalua probabilitatea de a se realiza acest eveniment trebuie cunoscută statistica transmiterii pachetelor în sistemul analizat.
- Dacă un număr oarecare de utilizatori transmit independent și sporadic pachete de date procesul rezultat poate fi modelat cu un proces Poisson.
- În acest caz probabilitatea ca într-un interval de θ secunde să se transmită k pachete este dată de expresia:

$$P(k) = \frac{(\lambda_t \theta)^k}{k!} e^{-\lambda_t \theta} \quad k \geq 0$$

- Probabilitatea ca un mesaj să fie transmis fără a apărea o coliziune este probabilitatea ca în intervalul $\theta = 2\tau$ să nu se transmită nici un mesaj:

$$P_0 = P(k=0) = e^{-2\lambda\tau} = e^{-2G}$$

- Pe de altă parte P_0 este dată și de

$$P_0 = \frac{\lambda}{\lambda_t} = \frac{\rho}{G}$$

- Se obține:

$$\rho = Ge^{-2G}$$

- Reprezentând această expresie (figura 6.8.1) se constată că în cele mai favorabile condiții se folosește 18% din capacitatea canalului ($\rho=0,18=(2e)^{-1}$)

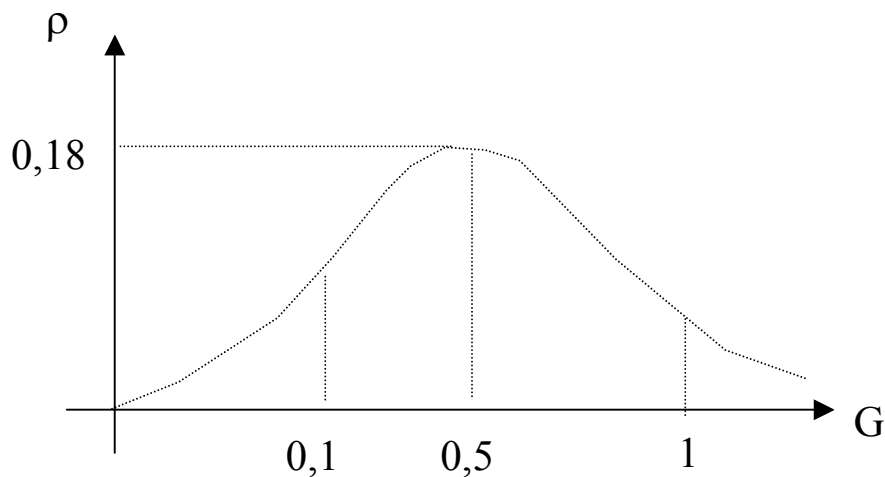


Fig. 6.8.1 Eficiența algoritmului P-ALOHA.

6.8.3 Algoritmul S-ALOHA

- După cum a reieșit din analiza dată în paragraful anterior algoritmul P-ALOHA este extrem de simplu dar și foarte puțin eficient.

- Se poate obține un câștig considerabil dacă se acceptă o oarecare ordonare în procesul de comunicație.
- Astfel, algoritmul S-ALOHA păstrează toate caracteristicile algoritmului P-ALOHA dar impune ca transmisiunea să se facă numai în niște segmente temporale create prin transmiterea unor impulsuri de sincronizare către utilizatori.
- La limită se poate considera că durata acestor ferestre este τ și că emisia trebuie să înceapă imediat după primirea impulsului de sincronizare.
- De asemenea, intervalul aleator considerat pentru a retransmite pachetele rejectate din cauza coliziunilor, va fi un număr întreg de segmente (intervale cu durata τ).
- O reprezentare a desfășurării comunicației luând două referințe: timpul resursei și timpul utilizatorului, este dată în figura 6.8.2.

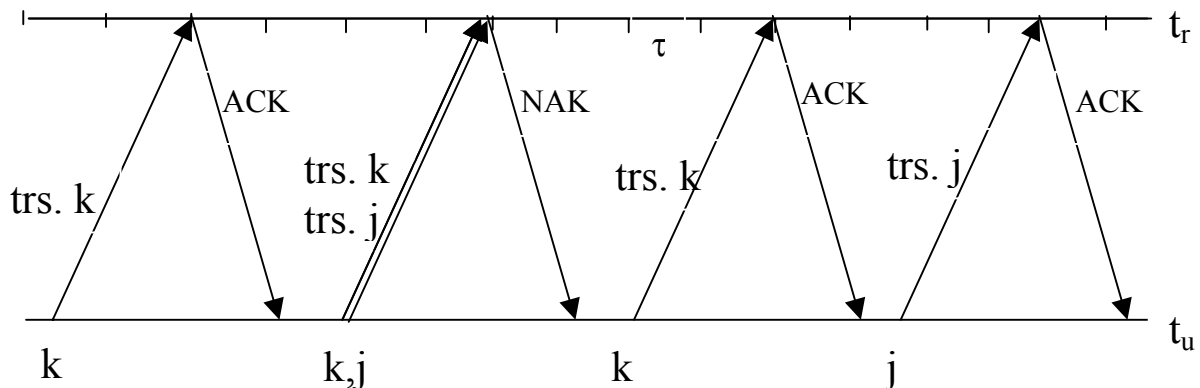


Fig. 6.8.2 Transmisiuni în cadrul algoritmului S-ALOHA; doi utilizatori: k și j

- Având în vedere restricțiile introduse, o coliziune poate să apară numai dacă două stații emit în același interval. Deci:

$$P_0 = \frac{\rho}{G} = e^{-\lambda_t \tau} = e^{-G}$$

$$\rho = G e^{-G} \quad G_{\max} = 1; \quad \rho = 0,37$$

- Reprezentarea grafică (fig. 6.8.3) evidențiază o creștere a eficienței de două ori în comparație cu algoritmul P-ALOHA.

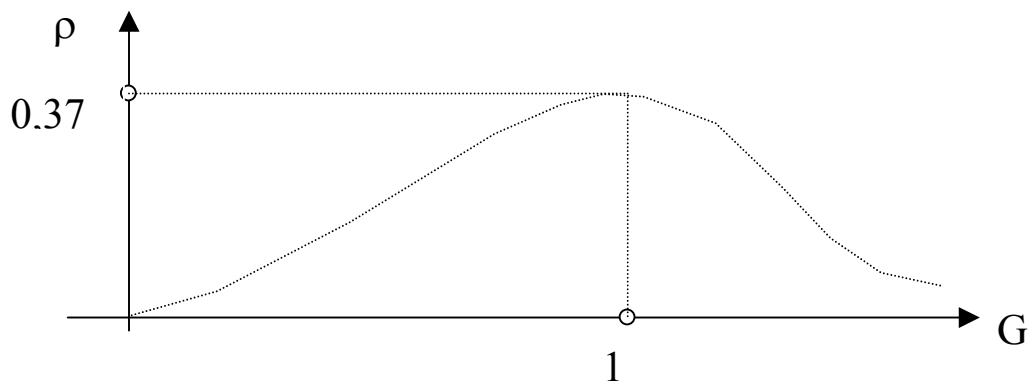


Fig. 6.8.3 *Eficiența algoritmului S-ALOHA.*

6.8.4 Algoritmul de acces multiplu R-ALOHA

- Este o versiune perfecționată care are la bază algoritmul S-ALOHA dar impune ca o stație să nu emită decât după o cerere prealabilă de rezervare.
- În acest scop alături de intervalele normale ce vor fi folosite pentru trafic sunt create și intervale mai scurte folosite pentru lansarea cererilor de rezervare.
- Într-un interval de rezervare terminalul comunică resursei (controlerului) dorința de a transmite date.
- Aceasta îi alocă un număr de segmente de trafic.
- Pentru a realiza o astfel de funcționare sistemele ALOHA-R prezintă două moduri de lucru:
 - a. modul nerezervat;
 - b. modul rezervat.
- Cele două moduri diferă prin împărțirea timpului disponibil.
 - a. În modul nerezervat timpul este împărțit numai în intervale de rezervare (scurte, fig. 6.8.4).
 - Lungimea acestor intervale este determinată astfel încât să permită transmiterea mesajelor de rezervare de către utilizatori și a mesajelor de alocare a unor intervale de trafic de către controler.

- Acest mod de lucru există la pornire și atunci când nici un utilizator nu transmite.
- b. **Modul rezervat** se stabilește după ce a fost acceptată o cerere de rezervare.
- În acest mod de lucru timpul resursei este împărțit în M segmente dintre care $M-1$ sunt segmente destinate traficului iar un segment este divizat într-un număr corespunzător de segmente de rezervare(fig. 6.8.4).
 - La o cerere de rezervare controlerul comunică alocarea primului interval liber.

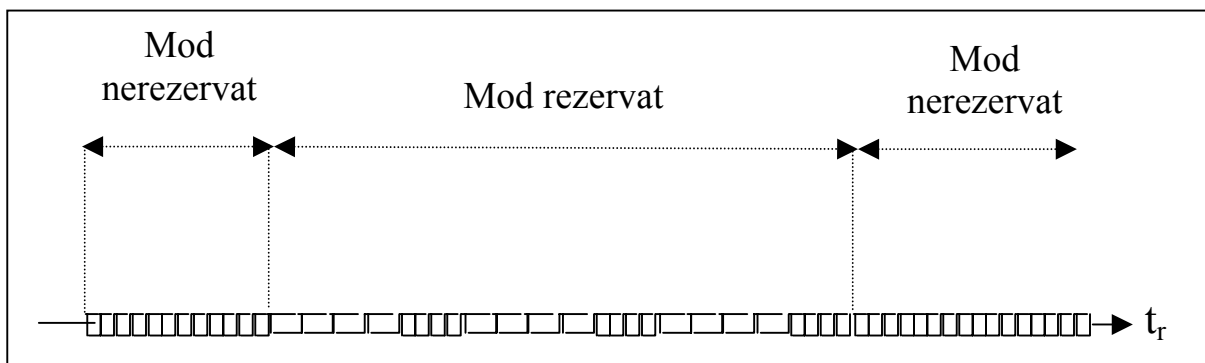


Fig. 6.8.4 Crearea segmentelor temporale în cele două moduri de lucru

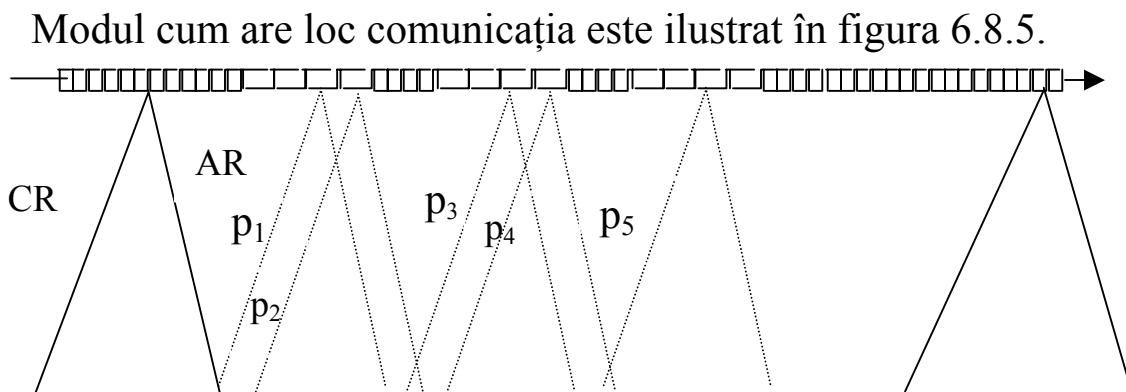


Fig. 6.8.5 Comunicația în sistemele care au la bază algoritmul ALOHA-R; utilizatorul n are de transmis 5 pachete; i se atribuie canalele 3 și 4. **CR**-cerere de rezervare; **AR** -atribuire de canale; p_k - pachet transmis.

- Utilizatorul poate folosi ferestrele alocate sau toate ferestrele libere. De regulă, la aceste sisteme se folosesc algoritmi de acces multiplu distribuiți astfel încât toți utilizatorii știu dacă și ce rezervări au fost făcute. De asemenea știe ce segmente sunt libere. Pentru sincronizare resursa transmite impulsurile corespunzătoare.

Evaluarea performanțelor realizate

- In cazul sistemului ALOHA-R probabilitatea transmiterii cu succes a unui pachet nu mai are semnificație deoarece au fost eliminate coliziunile.
- In consecință pentru aprecierea performanțelor vom folosi un alt parametru, întârzierea medie a pachetelor. Evident acest parametru depinde de debitul de informație normal. Variația ideală a întârzierii este dată în figura 6.8.6. curba a.

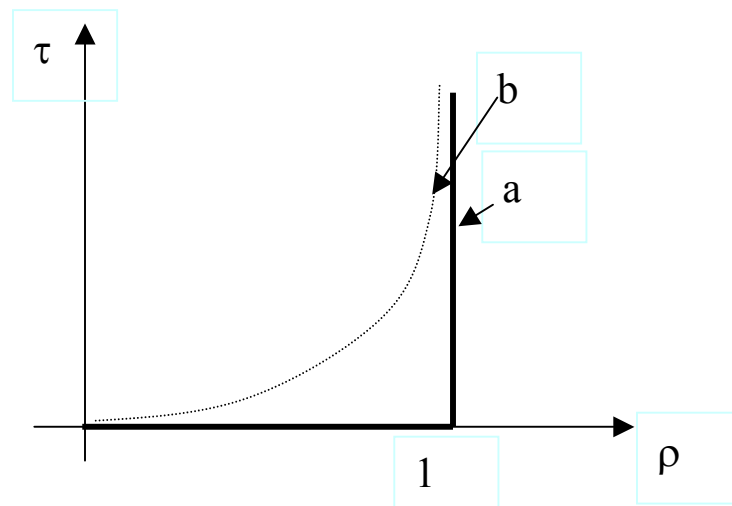


Fig. 6.8.6 *Variația întârzierii funcție de debitul normal*

- Se observă că dacă debitul normal este mai mic decât 1 întârzierea este nulă și crește la ∞ dacă $\rho > 1$.
- In sistemele reale întârzierea nu poate fi nulă și nu apare o creștere bruscă (curba b).
- Sistemul este cu atât mai bun, mai eficient folosit cu cât cele două diagrame se apropie una de alta.

- Pentru a compara sistemul R-ALOHA cu sistemul S-ALOHA se remarcă faptul că la acesta din urmă debitul maxim realizabil este de 0,66.
- Dacă se depășește debitul maxim din cauza retransmisiilor întârzierea tinde la ∞ .

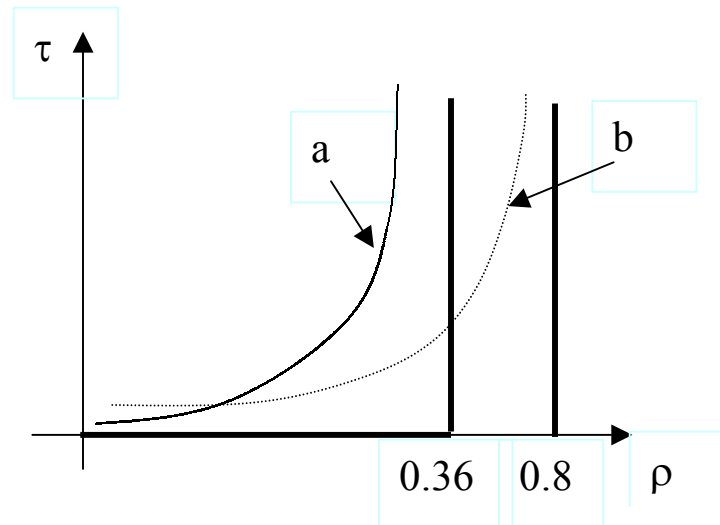


Fig. 6.8.7 *Comparație între întârzierea realizată de cele două sisteme considerate.*

- Pentru sistemele ALOHA-R limitarea apare din cauza folosirii unei ferestre pentru rezervări:

$$\rho_{\max} = \frac{M - 1}{M}; \quad M = 5; \quad \rho_{\max} = \frac{4}{5} = 80 \%$$

- Rezultă curba b din figura 6.8.7. Se constată că la debite mici sistemul ALOHA-S este mai bun introducând întârzieri mai mici.
- Coliziunile sunt puține în vreme ce segmentul de rezervare conduce la o întârziere relativ constantă. Situația se schimbă pe măsură ce debitul normal tinde spre 0,36.

6.9 Tehnici de interogare

- Atunci când populația de utilizatori crește folosirea unui sistem de comunicație cu acces aleator nu mai este recomandabilă.
- Se impune o ordonare a deservirii cererilor de legături de comunicație.
- O soluție poate consta în instalarea unui procesor care interoghează utilizatorii și când un utilizator solicită o conexiune, rezolvă solicitarea.
- Interogarea directă poate duce la rezultate acceptabile dacă numărul de cereri de comunicație este mare.
- În caz contrar trebuie găsită o soluție care să permită o eliminare rapidă a stațiilor care nu sunt active.
- O soluție interesantă pentru această problemă constă în așa numitul *arbore de căutare binar*.
- Această tehnică constă în împărțirea succesivă a populației de utilizatori în două și reținerea pentru comunicație a unei unități până rămâne un singur solicitant.
- Împărțirea se poate face pe baza structurii binare a numărului de identificare.
- Pentru a exemplifica să considerăm o resursă care lucrează cu 8 stații având numere de la 000 la 111; dintre acestea trei (001, 100 și 110) solicită legătura de comunicație.
- Acțiunea de interogare în arbore binar se desfășoară după cum urmează:
 1. Controlerul cere stațiilor care vor să emită să transmită cel mai semnificativ bit al numărului de ordine:
 2. Dacă a primit și biți de “1” și de “0”, după un criteriu oarecare, de exemplu nivelul semnalului, decide să deservească pe cele care au ‘1’. Cei cu zero trec în așteptare.
 3. Cere stațiilor rămase să transmită bitul 2.
 4. Selectează din nou stațiile care au transmis ‘1’ iar celelalte intră în așteptare.

5. Se continuă operația până când rămâne o singură stație. Aceasta va emite.
6. Când comunicația s-a terminat procedura se reia până sunt deservite toate solicitările. Un calcul simplu arată că la interogarea directă timpul necesar este:

$$T_{id} = M \tau \text{ secunde}$$

unde τ reprezintă este timpul de interogare pentru o stație.

- In cazul arborelui binar o trecere necesită $\log_2 M$ interogări.
- Dacă sunt M' solicitări rezultă

$$T_{nb}^0 = (M' \cdot \log_2 M) \tau$$

- De aici se poate deduce valoarea limită a lui M' sub care arborele binar este mai eficient:

$$M' \log_2 M \leq M \Rightarrow M'_{\max} = \frac{M}{\log_2 M}$$

- De exemplu la $M' = 4096$ rezultă:

$$M'_{\max} = \frac{4096}{12} = 341$$

- Deci dacă $M' < 341$ este convenabilă căutarea în arbore binar.
- Dacă $M' > 341$ este convenabilă căutarea directă.

6.10. Tehnici de acces multiplu folosite în rețele de comunicație locale (LAN)

- Interconectarea unor calculatoare, imprimante sau alte echipamente instalate într-o clădire sau în clădiri apropiate se face printr-o rețea dedicată cunoscută sub denumirea de rețea de comunicații pe arie locală (LAN).
- Spre deosebire de rețelele de arie largă care folosesc pentru comunicație canale din rețelele publice aici se folosește un mediu de comunicație de bandă largă instalat special.
- De cele mai multe ori este vorba de cablu coaxial dar, mai nou, se folosesc și fibre optice sau canale radio.

- De remarcat că în aceste cazuri banda de frecvență nu mai constituie o restricție foarte severă deci se pot accepta algoritmi de acces multiplu foarte simpli.
- Dintre algoritmi folosiți în continuare vor fi prezentați doi:
 - algoritmul cu sesizarea prezentei purtătoare și detectarea coliziunilor (CSMA-CD, *Carrier Sense multiple acces with collision detection*);
 - algoritmul pentru rețele în inel cu jeton de control (*Token Ring*).

6.10.1 Rețele CSMA-CD

- Acest algoritm se aplică în rețelele Ethernet dezvoltate de compania Rank Xerox;
- Prin sesizarea purtătoare nu trebuie să se înțeleagă neapărat sesizarea unei purtătoare RF ci sesizarea unei activități oarecare pe cablu sau în general în mediul de comunicație.
- Algoritmul CSMA/CD constă în următoarele moduri de lucru:
 1. **Detectia purtătoare;** un utilizator nu trebuie să transmită dacă o purtătoare este prezentă sau după dispariția purtătoare pe durata unui pachet .
 2. **Transmisia;** Dacă este îndeplinită condiția precedentă utilizatorul transmite până termină sau până detectează o coliziune.
 3. **Renunțarea (abort);** Dacă se detectează o coliziune, utilizatorul încheie transmiterea pachetului și transmite un semnal de bruiaj scurt pentru a se asigura că toți partenerii au sesizat coliziunea.
 4. **Retransmisia;** Utilizatorul așteaptă un interval aleator înainte de a reîncerca transmiterea. Pentru calculul întârzierii înaintea celui de a n-a încercare de transmisie se așteaptă un interval aleator care are la bază generarea unor numere uniform distribuite în intervalul $(0 \dots 2^{n-1})$ pentru $0 < n \leq 10$. Pentru $n > 10$ intervalul rămâne $(0 \dots 1023)$.

Unitatea de timp care înmulțește numărul este de 51,2 biți (51,2μs pentru R=10 Mbiți-secundă).

- In acest sistem pachetele de date au o structură fixă singurul element variabil fiind lungimea mesajului (figura 6.10.1).

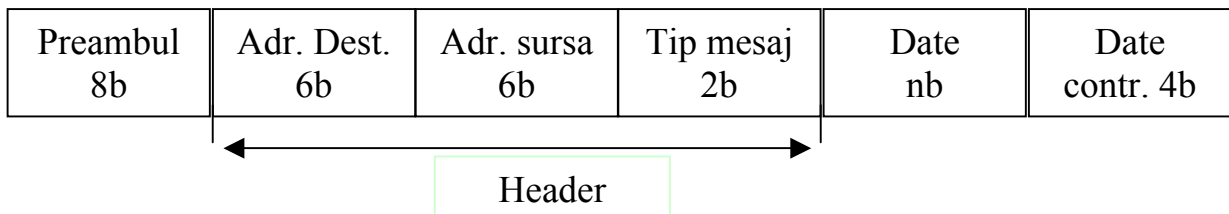


Fig. 6.10.1 Structura datelor în rețelele *ETHERNET*.

- La baza pachetului stau cuvintele (byte) de 8 biți.
 - Preambulul este format din 8 cuvinte având o structură 101010... pentru a permite sincronizarea.
 - Headerul conține:
 - ◆ Adresa destinatarului va fi studiată de parteneri pentru a vedea dacă mesajul li se adresează. Primul bit poate fi;
 - 1 pentru mesaje de grup.
 - 0 pentru mesaje individuale.
 - Dacă toți biții sunt 1 mesajul este pentru toți utilizatorii.
 - ◆ Adresa sursei (6b) cuprinde adresa unică a stației transmițătoare.
 - ◆ Tipul mesajului (2b) precizează cum trebuie interpretat mesajul (decodare, criptare, prioritate, etc)
 - Datele de control (4b) conțin biții calculați pe baza datelor transmise și folosind un polinom generator de ordinul 32.
 - Datele (n x b); câmpul de date care are o lungime variabilă (46...500).
 - Intervalul între două pachete este de minim 9,6 μs. Datele transmise în rețelele Ethernet au formatul Manchester.
 - Adică biții nu sunt transmiși prin nivele ci prin tranziții:
 - Pentru 1 se transmite o tranziție 0⇒1
 - Pentru 0 se transmite o tranziție 1⇒0

- În cazul unei rețele de 10 Mbiți/sec o succesiune de date este reprezentată în figura 6.10.2.

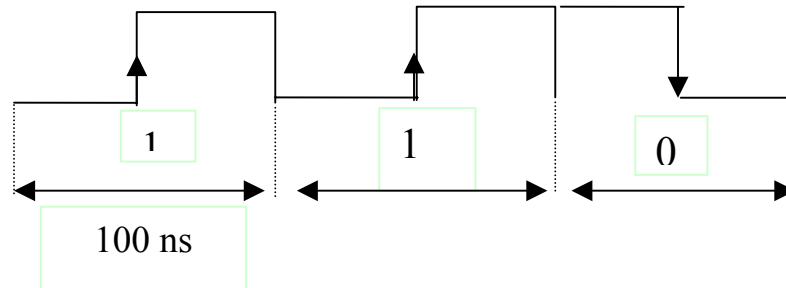


Fig. 6.10.2 O succesiune de date pentru o rețea Ethernet de 10 Mbiți/sec.

6.10.2 Rețele în inel cu jeton (token-ring)

- Rețelele în inel, spre deosebire de rețelele CSMA, conțin o serie de stații conectate prin interfețe active, pe un cablu în inel care realizează conexiuni punct-la-punct între stațiile succesive (figura 6.10.3).

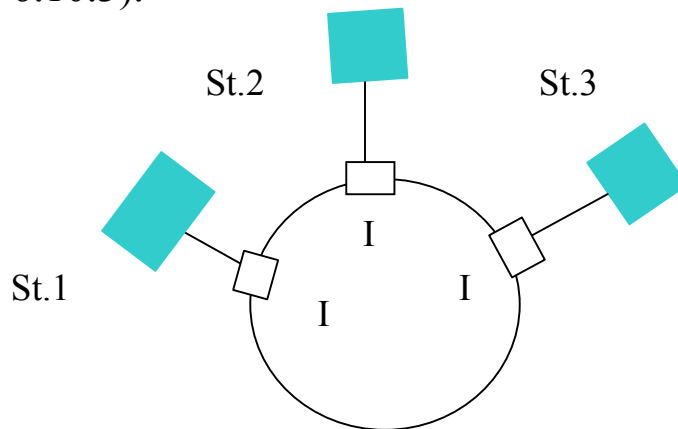


Fig. 6.10.3 Structura unei rețele în inel.

- Între stații circulă în mod normal un jeton care reprezintă o secvență particulară de date prin intermediul căreia utilizatorii sunt informați de starea rețelei.

- De exemplu jetonul poate fi o succesiune de 9 de 1 (111 111 111). Dacă aceasta este structura detectată nu are loc nici o transmisiune.
- Dacă o stație transmite ultimul bit devine '0' și nimeni nu va intra în comunicație până nu detectează jetonul original.
- În consecință aceste rețele prezintă două moduri de lucru:
 - recepție (listen)
 - transmisie (transmit).
- În modul **recepție** stația preia datele de la intrare și le transferă la ieșire cu o întârziere de 1 tact., analizându-le conținutul pentru a vedea dacă nu îi este adresat un mesaj.
- În modul **transmisie** se intră dacă s-a detectat jetonul original. Atunci stația inversează ultimul bit, rupe continuitatea și începe să transmită datele proprii până când termină. La încheierea transmisiei reface jetonul și altă stație poate intra în comunicație.
- Evident aici nu pot apărea coliziuni. Modul de lucru **transmisie** circulă de la o stație la alta.
- Singura restricție existentă la aceste rețele se referă la lungimea minimă a **inelului de cablu**.
- Acesta trebuie să permită transmiterea integrală a jetonului. Deci lungimea inelului depinde de :
 - numărul de biți din jeton,
 - viteza de transmisie a informației,
 - viteza de propagare pe cablu.
- Dacă de exemplu, se presupune un jeton de 9 biți la o rată de 10 Mbiți/secundă rezultă timpul necesar transmisiei jetonului:

$$t_j = n \cdot \frac{1}{R} = 900 \quad ns$$

- Considerând viteza $v = 200\text{m}/\mu\text{secundă}$ rezultă:

$$l_{\min} = t_j \cdot v = \frac{n}{R} \cdot v = 0,9 \cdot 200 = 180 \text{ m}$$

6.10.3 Comparație între performanțele realizate de cele două tipuri de rețele locale

- Comparația se poate face din punctul de vedere al întârzierii medii a pachetelor funcție de debitul de informație transmis.
- Estimările făcute în literatura au evidențiat că rezultă concluzii ce depind de viteza de transmisie.
- Astfel la $R=1\text{Mbit}/\text{secundă}$ performanțele sunt comparabile.
- La $R=10\text{Mbit}/\text{secundă}$ rețelele în inel sunt superioare în cele mai multe cazuri (ptr. $\rho > 0,22$).

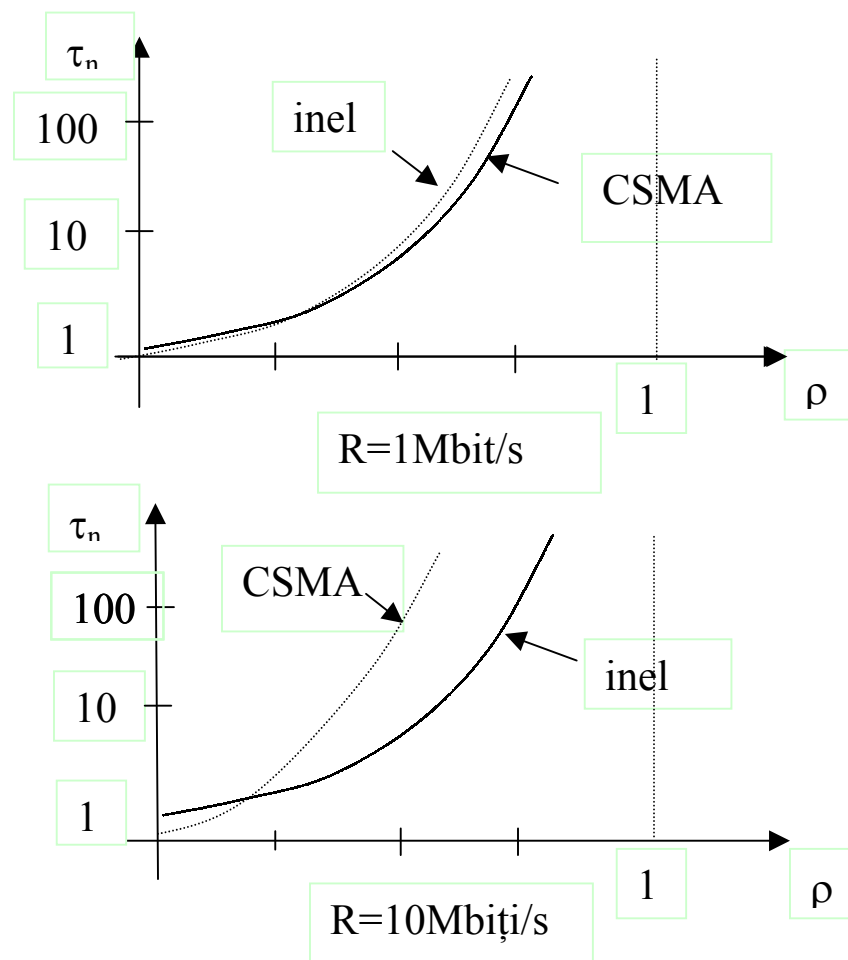


Fig. 6.10.4 *Comparație între performanțele celor două tipuri de rețele*

- Rezultatul este explicabil prin aceea că:

$$\rho = \frac{b \lambda}{R}$$

- Deci atunci când rata R crește, debitul real trebuie să crească pentru același debit normat.
- Atunci când debitul real crește, crește numărul de coliziuni deci întârzierea.
- În același timp la rețeaua în inel întârzierea crește sistematic fiind dată de excedentul consumat pentru transmiterea studiului-refacerea jetonului.

6.11 Tehnici de acces multiplu folosite în sistemul de comunicație Intelsat

6.11.1 Intelsat I

- Era comunicațiilor prin satelit a fost deschisă în 1965 prin lansarea satelitului geostaționar Early Bird. Acest satelit era echipat cu un transponder cu acces multiplu prin diviziune în frecvență.
- Amplificatorul final al emițătorului era realizat cu un tub cu undă progresivă (TWT) care prezintă două regimuri de lucru:
 - a) în limitare
 - b) liniar.
- a) Atunci când lucrează în regim de limitare puterea amplificatorului este mai mare dar dacă semnalul de intrare are mai multe componente la ieșire pe lângă semnalul util rezultă și o serie de produse de intermodulație. Existența acestor produse are două efecte:
 - se consumă o parte din putere.
 - Pot să existe în banda de lucru a altor sisteme de comunicație perturbându-le.
- b) În regim de lucru liniar puterea scade dar devine neglijabilă ponderea produselor de intermodulație.
- În cazul sistemului Intelsat I receptoarele stațiilor de sol nu erau foarte sensibile deci s-a considerat necesar ca emițătorul de pe satelit să linieze puterea maximă disponibilă; deci să lucreze în regim de limitare. Pentru a evita produsele de intermodulație s-a

decis ca numai două stații terestre să acceseze satelitul simultan: una din America și una din Europa. Cum în Europa erau trei stații (figura 6.11.1): Franța, Anglia, Germania, acestea au fost interconectate prin cable terestre și comunicația era asigurată de o singură stație (în fiecare lună alta). După demultiplexare această stație distribuia traficul către celelalte două.

- Acest satelit putea să preia 240 de căi telefonice ceea ce reprezintă puțin față de posibilitățile actuale. In anul 1965, însă, această era o capacitate mai mare decât cea asigurată de cablul transoceanic instalat cu cca 10 ani în urmă.

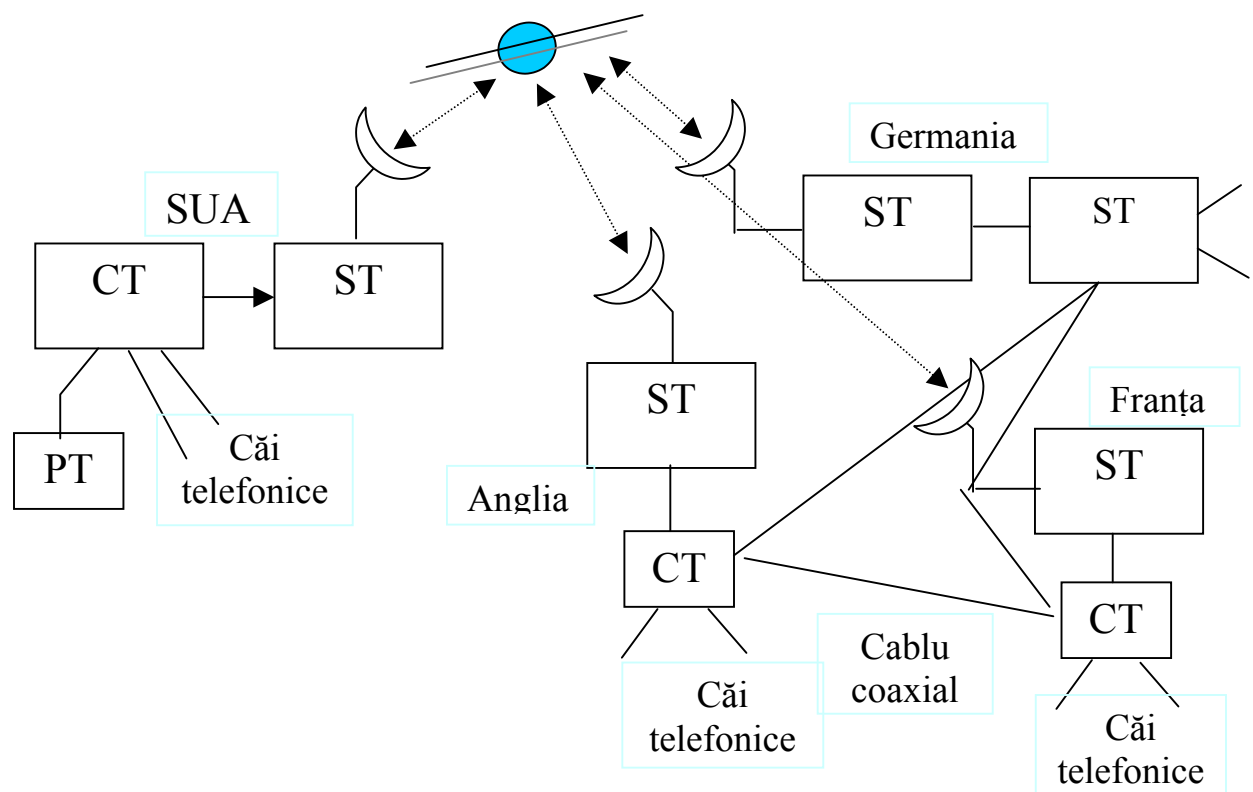


Fig. 6.11.1 *Arhitectura sistemului de comunicație Intelsat I*

6.11.2 Intelsat II și III

6.11.2.1 Funcționarea

- În etapele următoare s-au realizat receptoare pentru stațiile terestre cu performanțe crescute deci a devenit posibil ca amplificatorul de putere de pe satelit să folosească tubul cu undă progresivă lucrând în regim liniar.

- In acest mod s-a putut accepta accesul simultan al mai multor stații terestre.
- In noile condiții satelitul prelucrează simultan mai multe purtătoare modulate în frecvență (FM). Semnalele modulatorie se obțin prin multiplexarea cu diviziune în frecvență (FDM) a semnalelor provenite de la un număr oarecare de căi telefonice.
- Modul de lucru obținut s-a fost impus sub denumirea de *sistem de acces multiplu FDM-FM multidestație cu preasignare* sau, mai târziu, *sistem de acces multiplu cu mai multe canale pe o purtătoare RF (MCPC – multichannel per carrier)*.
- Specificul acestui sistem de acces multiplu pus în evidență prin denumirea menționată, constă în aceea că purtătoarea RF este modulată în frecvență cu un semnal multiplex format dintr-o grupă secundară (60 căi telefonice).
- Fiecare din cele 5 grupe primare care formează grupa secundară este *preasignată* să conțină căi telefonice având ca destinație una dintre stațiile terestre (țările) corespondente.
- O schemă bloc foarte generală a sistemelor de comunicație din generație Intelsat II-III la care se iau în considerație 6 stații terestre (A,B,...F) este dată în figura 6.11.2.
- Se observă cum semnalul multiplex format la o stație are 5 grupe primare care au destinații diferite: B_a, C_a, ... F_a. Cu literă mare s-a notat destinația și cu literă mică sursa. Semnalul RF este emis pe frecvența $f_{1a} \dots f_{1f}$ - spre satelit (fig.6.11.3).
- Satelitul schimbă frecvențele purtătoare ale semnalelor MF de la $f_{1a} \dots f_{1f}$ la $f_{2a} \dots f_{2f}$ și le transmite, împreună, către stațiile terestre.
- Stațiile terestre demodulează purtătoarele provenite de la stațiile corespondente și extrag, prin demultiplexare, căile telefonice care le sunt adresate. Ele știu ce grup să extragă datorită preasignării.

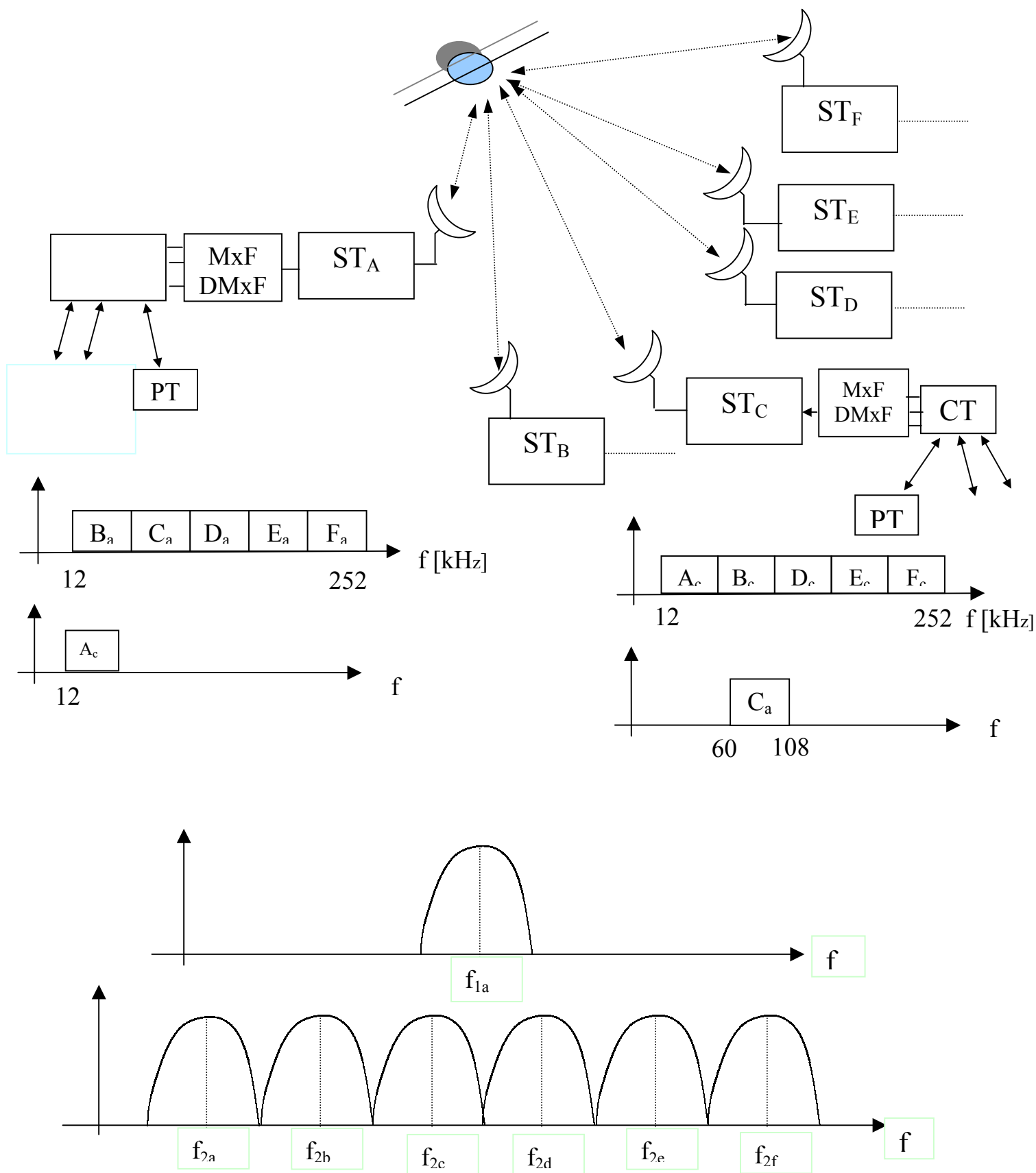


Fig. 6.11.3 Spectrele semnalelor RF emise și recepționate de stația A.

6.11.2.2. Aspecte specifice modului de lucru MCPC

- Pentru a se putea coopera modul în care poate fi realizat accesul multiplu în această variantă a fost standardizat.
- S-a pornit de la faptul că transponderul dispune de o bandă de 36 MHz care este utilizată prin diviziune în frecvență de un număr oarecare de căi telefonice.
- S-a constatat că numărul de căi telefonice transmise este puternic dependent de numărul de purtătoare: crește numărul de purtătoare scade numărul de căi telefonice (tabelul 6.11.1).
- O primă explicație a acestui efect constă în necesitatea lăsării unor benzi de rezervă. Numărul acestora, deci banda acoperită, crește dacă sunt mai multe purtătoare.
- Așadar cea mai convenabilă situație este atunci când transponderul realizează legătura între două stații terestre mari cu câte 800 de căi telefonice. S-ar pune întrebarea de ce nu se folosește această variantă totdeauna. Răspunsul este evident și constă în aceea că nu totdeauna o stație are suficient trafic pentru a ocupa toate cele 900 de căi telefonice.
- În acest caz trebuie prevăzute și stații mai mici, deci transponderul va fi folosit de mai multe purtătoare.

Tabelul 6.11.1

Număr de purtătoare pe transponder	Banda unei purtătoare (MHz)	Număr de c.t. pe purtătoare	Număr total de căi telefonice pe transponder
1	36	900	900
4	3x10;1x5	132; 60	456
7	85	60	420
14	2,5	24	336

- În această variantă puterea disponibilă va fi mai mică deoarece, pentru evitarea produselor de IM este necesar să se lucreze în regim liniar. S-ar putea să nu ajungă puterea pentru câte stații ar trebui preluate.

- Pornind de la această observație se constată că se poate realiza o clasificare a regimurilor de lucru pentru un transponder:
 - regim de bandă limitată;
 - regim de putere limitată.
- Pentru a preciza acest aspect să presupunem că un transponder cu banda de 36 MHz și putere disponibilă de 25 W trebuie să deservească un număr de 7 stații cu benzi de câte 5 MHz și care reclamă puteri de câte 5W.
- Evident, deși rămâne bandă disponibilă nu vor putea fi preluate decât 5 purtătoare. Se spune că se lucrează în regim *de putere limitată*.
- Dacă în schimb trebuie preluate 4 stații cu benzi de câte 10 MHz și putere radiată de 5W nu se pot prelua decât 3 cu toate că putere disponibilă rămâne. Limitarea este impusă de bandă. Acesta este regimul de lucru cu *limitare de bandă* (fig.6.10.4).

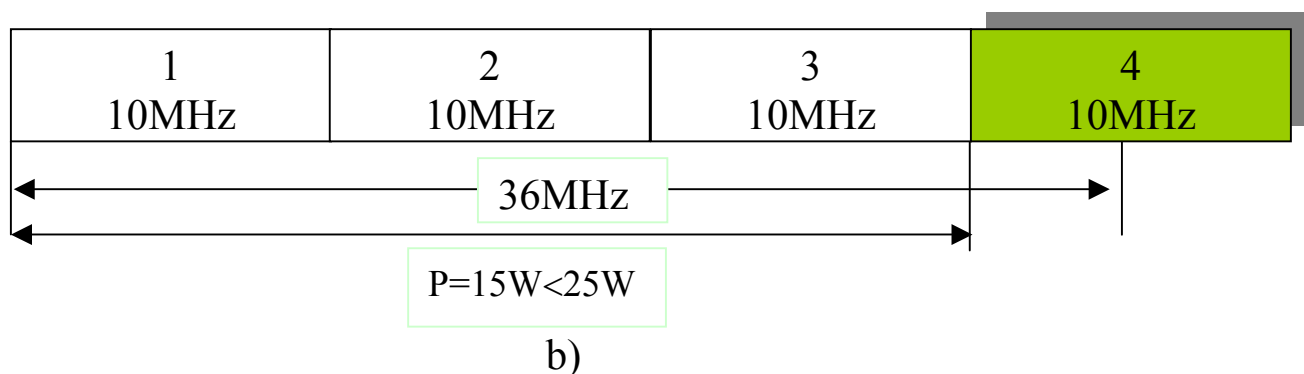
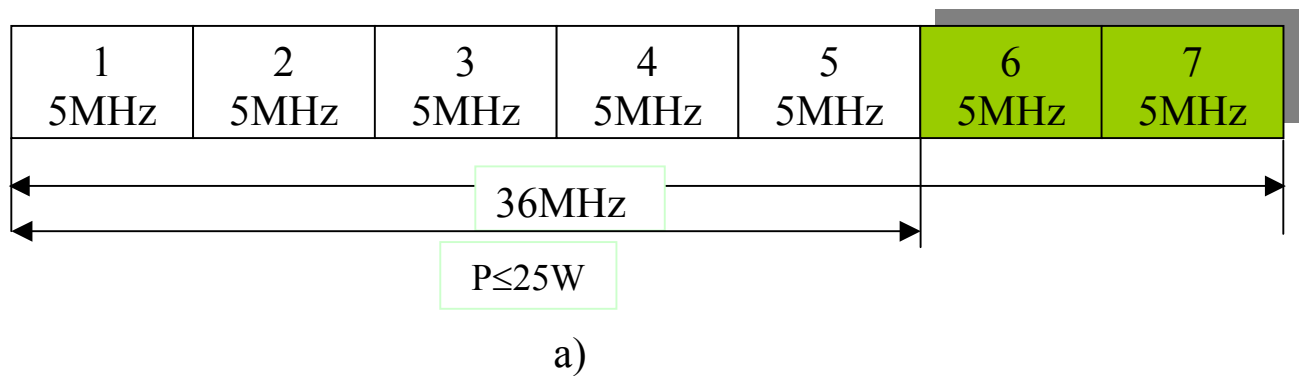


Fig. 6.11.4 Funcționarea în regim de: a) putere limitată , b) bandă limitată.

6.11.3. Intelsat IV

6.11.3.1. Principii de funcționare

- Tehnica FDMA cu mai multe căi pe o purtătoare și cu preasignare este eficientă dacă traficul permite ocuparea permanentă a tuturor pozițiilor.
- Acest lucru este puțin probabil deci, adeseori se transmit multe canale neocupate. Pentru a depăși acest neajuns trebuie concepută o metodă de asigurare flexibilă prin care atunci când un canal nu este folosit să poată fi scos din funcțiune.
- Un asemenea procedeu, care marchează un salt calitativ în comunicațiile prin sateliți cu tehnica FDMA, a fost introdus odată cu generația a IV Intelsat și a fost desemnat sub numele **SPADE** care reprezintă un acronim provenit din ‘**Single channel per carrier PCM multiple Access on Demand Assignment Equipment**’.
- Principalele caracteristici ale procedurii SPADE de acces multiplu sunt:
 1. Un canal telefonic este convertit A-D cu rata de 64 kbiți/secundă.
 2. Semnalul din banda de bază modulează QPSK (modulație de fază cu patru nivele sau liniară în cuadratură) o purtătoare RF.
 3. Fiecare canal RF ocupă o bandă de 45Khz. Deci banda unui transponder permite eroarea a 800 canale.
 4. Din cele 800 de canale 6 nu sunt folosite iar următoarele 794 permit realizarea a 397 perechi duplex.
 5. Purtătoarele sunt asigurate către utilizatori (stații terestre) dinamic, la cerere.
 6. Asignarea dinamică se realizează prin intermediul unui canal de serviciu care folosește diviziunea în timp. Banda canalului de control este de 160 KHz și permite accesul a 50 de stații; (Fiecare stație are alocat un segment fereastră cu durata de 1ms care se repetă la 50ms. Modulația folosită pe acest canal este BPSK.

- Structura benzii transponderului este dată în fig.6.11.5, iar o schemă bloc simplificată a sistemului în fig. 6.11.6 și 6.11.7.

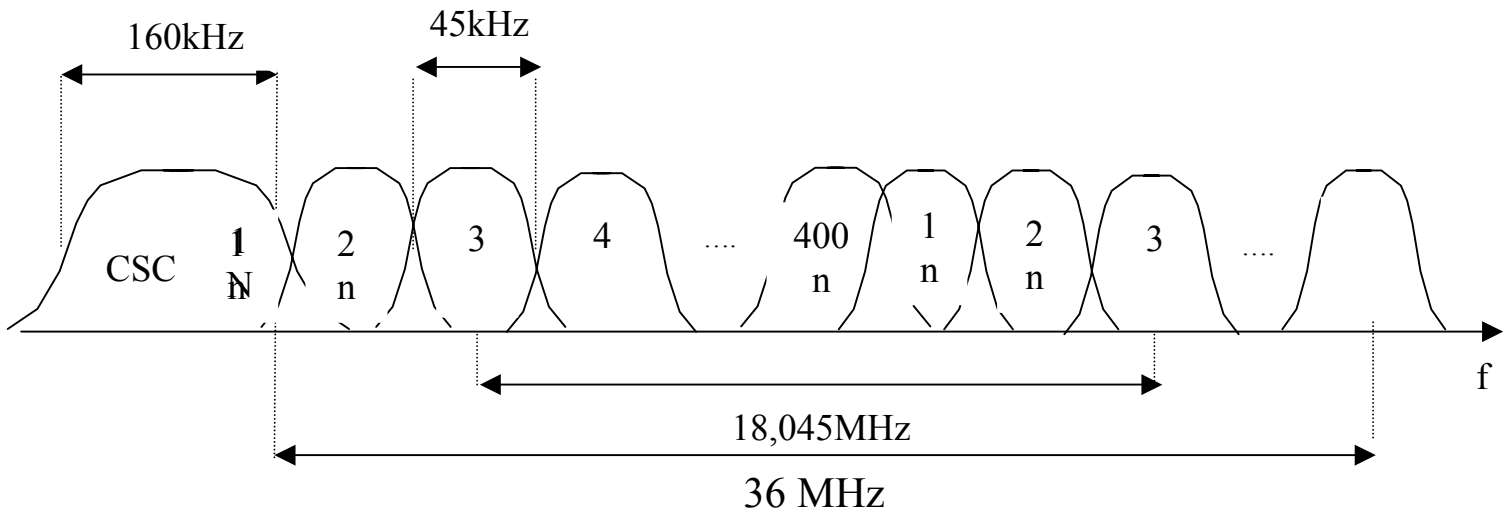


Fig. 6.11.5 *Structura benzii de frecvență în varianta de acces multintru SP4DF*

- Funcționarea sistemului poate fi descrisă după cum urmează:
- stația terestră care dorește să comunice analizează canalele libere și preia o pereche duplex. Pe canalul de control informează despre acest lucru celelalte stații.
 - Dacă nu apare un conflict – ceea ce este destul de puțin probabil – selecția canalului solicitat făcându-se aleator- canalul este alocat începe comunicația canalul este eliberat la sfârșitul convorbirii, evenimentul fiind comunicat celorlalte stații tot pe canalul de control.
 - Dacă două stații solicită același canal simultan primesc amândouă ton de ocupat. Atunci ele selectează alt canal liber tot aleator.

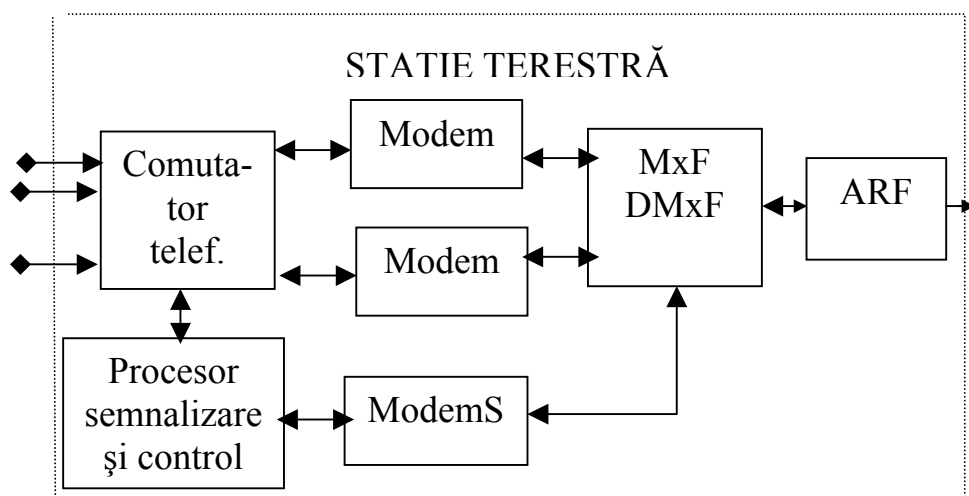


Fig.6.11.6. Schema bloc a unei stații terestre.

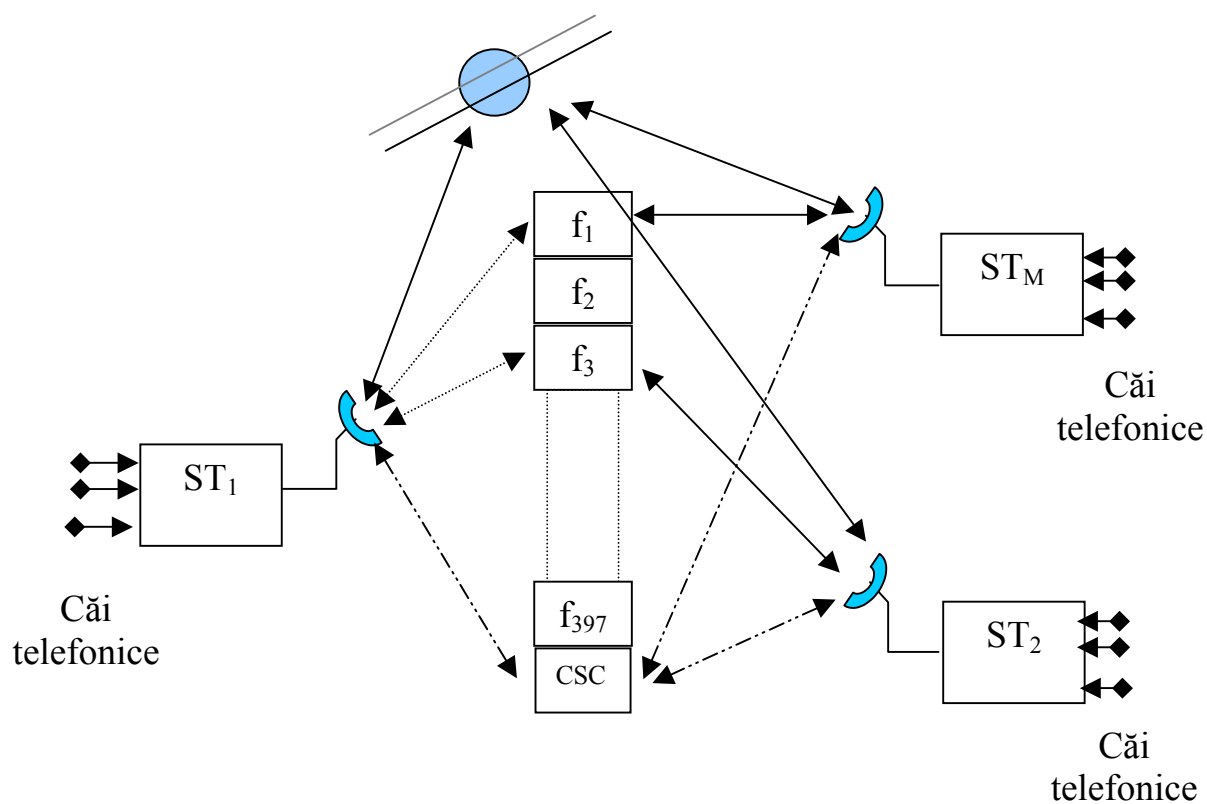


Fig.6.11.7 Schema bloc a sistemului de comunicație INTELSAT IV

6.11.3.2 Aspecte specifice sistemului SPADE

- Capacitatea transponderului este de 800 de canale telefonice deci comparabilă cu cea realizată de sistemul MCPC cu o singură purtătoare. Totuși acum sunt 800 de purtătoare. Normal ar trebui să existe mai puțin de 300 de canale (atunci la 14 purtătoare rezultau 336 canale). De ce nu este respectată logica? Explicația constă în alocarea la cerere și în faptul că atunci când o cale nu are date de transmis, imediat poate fi oprită emisia. Chiar dacă se transmite o convorbire, 60% din timp purtătoarea poate să nu fie transmisă. De asemenea transmisiunile sunt PCM deci mai bine protejate la perturbații.
- Eficiența sistemului se poate evalua prin probabilitatea ca un utilizator să găsească liber un canal atunci când are nevoie. Practic indicele de calitate este **probabilitatea de blocare** a unei convorbiri sau cu alte cuvinte, probabilitatea ca un utilizator să nu poată comunica din lipsă de canale. Curent acest parametru este de 1-2 %. S-a evaluat că un sistem SPADE cu 800 de căi duce la aceeași probabilitate de blocare ca un sistem MCPC cu 3200 căi.
- Un mod de lucru interesant este înlocuit atunci când satelitul lucrează simultan cu stații sensibile și cu stații mai puțin sensibile. Tipic există două variante de stații:
 - stații mari cu o sensibilitate de 40,7dB/K
 - stații mici cu o sensibilitate de 35dB/K.
- Dacă se alocă purtătoarele unei stații mari puterea totală permite transmiterea a 800 de canale. Pentru stațiile mici puterea trebuie mărită cu circa 5,7dB, deci de circa 4 ori. Dacă toate stațiile ar fi mici rezultă circa 250 de canale. Deoarece stațiile nu sunt toate mari sau toate mici, transponderul este gândit să poată lucra cu oricare. Deci un număr de purtătoare sunt alocate pentru stațiile mici (125). Se obține un total de 525 stații. Alegerea purtătoarei adecvate este făcută de stația care inițiază comunicația aceasta cunoscând tipul stației corespondente.

6.11.4 Folosirea accesului multiplu cu diviziune în timp la generația Intelsat V

6.11.4.1 Avantajele tehnicii TDMA

- Folosirea tehnicii TDMA se face mai târziu din cauza complexității echipamentelor. Acestea devin competitive cu cele corespunzătoare tehnicii FDMA la un anumit nivel tehnologic.
- Așa se face că în comunicațiile prin sateliți diviziunea în timp este aplicată începând cu Intelsat IV, când pe canalul de control și semnalizare (CSC) se folosește o transmitere TDMA cu 128 kbiți-secundă pentru realizarea accesului multiplu la transponder.
- Odată cu Intelsat V tehnica TDMA este extinsă la transmisiunea propriu-zisă folosind un sistem de 120 Mbiți/secundă. Mai mult satelitul are mai multe fascicule putându-se folosi și interconectarea electronică a fasciculelor.
- O scurtă comparație va pune în evidență calitățile și defectele celor două tehnici de acces multiplu (TDMA și FDMA):
 - FDMA nu necesită sincronizare între partenerii participanți la trafic.
 - FDMA poate fi afectată de produse de intermodulație prin prezența la satelit a mai multor purtătoare.
 - FDMA necesită căi separate echipate cu filtre și cu convertoare la emisie și la recepție. Cantitatea de echipamente crește odată cu creșterea numărului de utilizatori ce au acces simultan.
 - TDMA necesită o sincronizare între participanți, fiecare lucrând într-un segment de timp precis delimitat.
 - TDMA accesează satelitul cu o singură purtătoare, deci nu pot apărea produse de intermodulație.
 - Cantitatea de echipament la TDMA nu crește la fel de dramatic ca la FDMA cu mărirea numărului de utilizatori simultani.

- In sistemele de comunicație prin sateliți cu fascicule multiple trebuie realizată o interconectare a fasciculelor. Sistemul TDMA se pretează în mod natural la rezolvarea acestei probleme (generația Intelsat VI).
- De remarcat că performanțele relative ale sistemelor cu acces multiplu depind într-o mare măsură de sensibilitatea, și deci și de mărimea stațiilor terestre.
- In cazul stațiilor standard ($G/T = 35 \dots 41 \text{ dB/K}$) sistemele TDMA se dovedesc a fi foarte eficiente. Ele sunt comparabile cu cazul, rar întâlnit, al sistemelor FDM-FM cu o singură purtătoare (mai bune ca sistemul SPADE).

6.10.4.2 Structura semnalului multiplex TDMA

- Trebuie precizat de la început că există două standarde de transmisie prin sateliți:
 - standardul european;
 - standardul american (T carrier)
- Cele două standarde coexistă iar structura lor, în mare, este asemănătoare. Principalele elemente ale semnalului TDMA sunt:
 - a) cadrul PCM de bază numit cadrul Nyquist;
 - b) cadrul TDMA de viteză joasă;
 - c) cadrul TMA – de viteză mare.
- In continuare se va descrie structura acestor cadre pentru standardul european, uneori fiind punctate diferențele prezentate de standardul american.

a) Cadrul Nyquist

- semnalul vocal este eșantionat cu $f_e = 8000 \text{ Hz}$. Cadrul Nyquist reprezintă structura ce se poate forma într-o perioadă de eșantionare ($T_e = 125 \mu\text{s}$).
- Așa cum se observă în figura 6.11.8 în această perioadă se realizează 32 de segmente temporale, 30 dintre acestea conțin câte un eșantion reprezentat pe opt biți provenit de la una din treizeci de căi telefonice diferite.

- Celelalte două segmente sunt rezervate pentru:
 - transmiterea unor informații pentru aliniere cadre;
 - transmiterea unor informații de semnalizare/adresare.

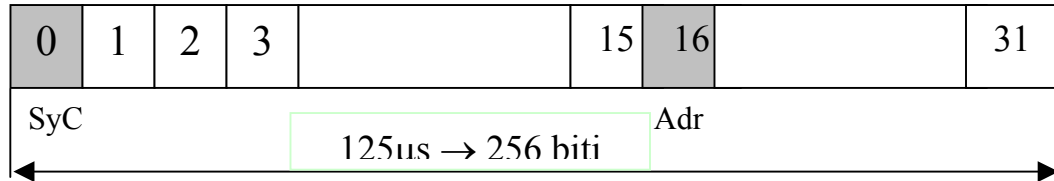


Fig. 6.11.8 Structura cadrului Nyquist

- Un calcul simplu evidențiază că pentru a transmite această informație este necesar un sistem care să lucreze cu viteza:

$$R_i = 256 \times 800 = 2,048 \text{ Mbiți/secundă}$$

- Se poate menționa că standardul american transmite numai 24 căi telefonice și un bit de sincronizare (deci 193 biți, și viteza este, corespunzător, mai redusă);

b) **Cadrul TDMA de viteză joasă** se obține prin gruparea a 16 cadre Nyquist. Rezultă o structură de 2ms conținând 4096 biți.

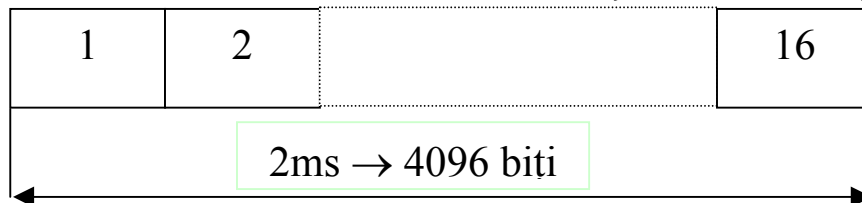


Fig. 6.11.9 Structura cadrului TDMA de viteză joasă

c) **cadrul TDMA de viteză mare**

- Datele trebuie transmise prin intermediul unui satelit care este folosit împreună cu alte stații terestre.
- Pentru aceasta trebuie folosit un procedeu prin care cadrul de joasă frecvență să ocupe un segment temporal mult mai mic.
- Ideea constă în transmiterea informației, în această fază, cu o viteză mult mai mare.
- Datele de viteză mare sunt transmise ca un impuls de radiofrecvență modulat QPSK în segmentul rezervat stației. Acesta este cadrul de viteză mare (figura 6.11.10).

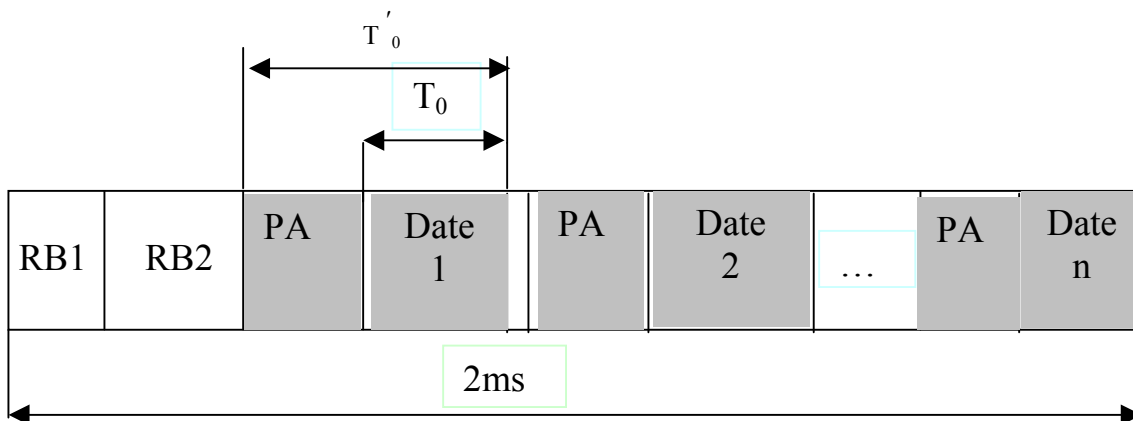


Fig. 6.11.10 Structura cadrului TDMA de viteză mare

- Așa cum se observă în figura 6.11.10 cadrul de viteză mare constă din unul sau două impulsuri de referință emise de o stație terestră **master**.
- Pe această bază stațiile '**slav**' își determină momentul când trebuie să emită. Cel de al doilea impuls de referință poate fi transmis pentru a mări probabilitatea sincronizării corecte atunci când condițiile de lucru reclamă acest lucru.
- Urmează semnale provenite de la diverse stații terestre: aceste semnale conțin pachete de date obținute prin transmiterea cu viteză mare a cadrului de viteză joasă și dintr-un **preambul**. Durata totală a cadrului este tot de 2ms.
- Alegând un factor de compresie de 59 se obține o durată a pachetului de date de 33,8μsec. Adăugând la acestea un preambul de cca. 300 biți se obține o durată de cca. 38,9μsec.
- Viteza de transmisie a cadrului va fi deci $59 \times 2,048 = 120,832$ MBiți/secundă.
- Pe durata de 2ms se pot transmite cca. 50 de pachete provenite de la stații diferite. O stație poate folosi mai multe segmente iar alocarea poate să fie fixă sau dinamică (la cerere). Se va constata că numărul maxim de căi transmise este de $50 \times 30 = 1500$ căi telefonice.

6.11.4.3 Funcționarea sistemelor INTELSAT-TDMA

- Procedul folosit pentru *schimbarea vitezei de transmitere* este foarte simplu. La stația terestră fluxul de date de joasă frecvență intră într-un registru dintr-o pereche de registre. Cele două registre au intrări și ieșiri comune dar lucrează în contratimp; unul este controlat de tactul de viteză mică, celălalt de tactul de viteză mare; unul primește date în vreme ce celălalt le transmite.
- Deci în vreme ce registrul 1 se încarcă la viteza R_L registrul 2 livrează datele, la momentul corespunzător, viteza R_H .
- Evident, la recepție situația se prezintă în mod similar.

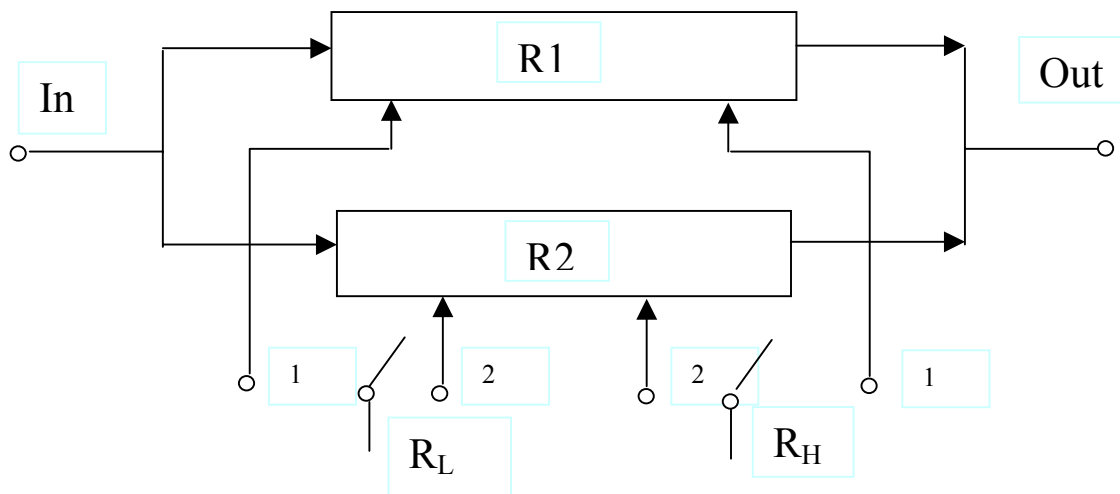
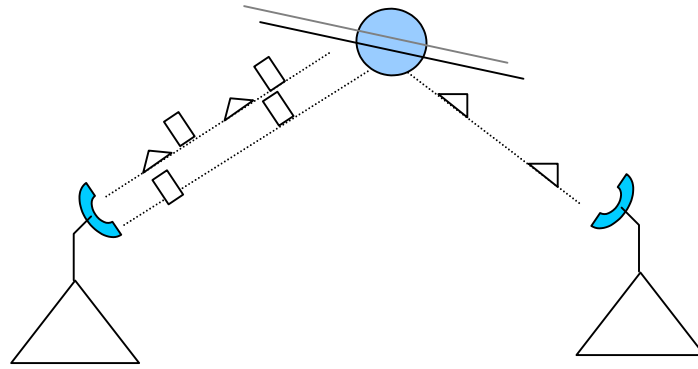


Fig. 6.11.11 Schimbarea vitezei de transmitere a datelor

- Este ușor de observat că datorită vitezelor mari de lucru *sincronizarea precisă a stațiilor este esențială*. Modul cum se realizează o astfel de sincronizare rezultă din schema dată în figura 6.10.12. Deci există o stație terestră **master** (de referință) care transmite o succesiune de impulsuri pe care le primesc toate celelalte. Pentru a verifica sincronizarea generatorului propriu, o stație terestră *sclav*, transmite la rândul ei un tren de impulsuri pe care-l primește înapoi de la satelit suprapus peste impulsurile de referință. Dacă există o eroare aceasta va fi folosită pentru corecție.



S.T. Sclav

Fig.6.11.12 Sincronizarea sateliților

- Așa cum am menționat în introducerea la sistemul TDMA acestea pot lucra în mod convenabil în sistemul multi-fascicul cu comutarea satelitului (TDMA-SS).
- Sistemele moderne de comunicații prin satelit folosește un satelit cu mai multe fascicule care acoperă zone complementare.
- De exemplu un satelit situat deasupra Atlanticului poate avea un fascicul pentru Africa, unul pentru Europa, unul pentru America de Sud altul pentru America de Nord.
- Evident, este necesar ca stațiile terestre din cele patru zone să poată comunica unele cu altele funcție de necesități.
- Aceasta se realizează prin așa-numita comutare a satelitului (fig. 6.11.13).

