

6. SISTEME DE COMUNICAȚIE CU ACCES MULTIPLU

6.1 Aspecte generale

- Un sistem de comunicație constă din echipamentele de emisie/recepție, banda de frecvență alocată, timpul de lucru disponibil etc.
- Se poate spune că odată realizat un astfel de sistem s-a creat (constituit) o *resursă de comunicație*.
- Proprietarul (administratorul) este interesat în folosirea cât mai eficientă a acestuia. Acest interes este cu atât mai accentuat cu cât resursa (sistemul de comunicație) are o complexitate mai mare.
- Un singur utilizator va putea folosi eficient o astfel de resursă numai în cazuri cu totul particulare.
- Soluția constă în a permite mai multor utilizatori să aibă acces la resursa de comunicație.
- Aceasta se realizează prin o serie de tehnici cunoscute sub denumirea de tehnici de multiplexare-acces multiplu.
- Se folosește denumirea în această formă deoarece ambele noțiuni se referă la folosirea în comun a resursei de comunicație de către mai mulți utilizatori, fără a se perturba reciproc, prezentând o serie de elemente comune dar și câteva diferențe ne semnificative.
- Aceste idei vor fi aprofundate la sfârșitul paragrafului următor.

6.2 Tehnici de multiplexare-acces multiplu

- Tehnicile de acces multiplu se folosesc și în comunicațiile analogice și în cele numerice.
- În vederea concretizării noțiunilor prezentate, în cele ce urmează, ne vom referi la cazul sistemelor de comunicație numerice.
- În cazul sistemelor numerice se pot identifica două căi de a mări debitul de informație transmis prin intermediul unei resurse de comunicație:

- a) Mărirea capacității resursei:
- b) alocarea cât mai eficientă a capacității resursei.
- Capacitatea de transmisiune a unei resurse poate fi determinată cu ajutorul relației lui Shannon

$$C = B \log_2 \left(\frac{P_s}{2BN_0} + 1 \right)$$

- Deci capacitatea poate fi mărită prin:
 - mărirea raportului semnal zgomot (mărirea puterii emise sau micșorarea pierderilor);
 - mărirea benzii alocate.
- In cele ce urmează acești parametri sunt considerați impuși.
- Deci rămâne soluția alocării eficiente a capacității existente.
- Acesta este domeniul unde intervin tehnicile de acces multiplu. Se pune problema de a crea posibilitatea ca mai mulți utilizatori să transmită mesaje prin intermediul resursei date fără a se perturba unul pe altul.
- Pentru aceasta una dintre dimensiunile resursei va fi divizată și fiecărui utilizator i se alocă o poziție pe dimensiunea aleasă.
- Plecând de la această idee au fost imaginate următoarele tehnici de multiplexare/acces multiplu cu aplicație în comunicațiile radio:
 1. *Diviziunea în frecvență (FD)* banda totală de împarte în subbenzi și fiecare utilizator are alocată o subbandă:
 2. *Diviziunea în timp TD*: timpul de lucru se împarte în segmente temporale; fiecare utilizator are alocat un segment care se repetă cu o perioadă oarecare.
 3. *Diviziunea în cod CD*; în sistemele de comunicație cu spectru împrăștiat (spread spectrum) informația de transmis este împrăștiată cu ajutorul unui cod. Recuperarea ei se face numai cunoscând codul. Folosind coduri diferite se pot separa semnalele transmise de diverși utilizatori.

4. *Diviziunea spațială (SD)* sau refolosirea frecvențelor prin transmiterea cu mai multe fascicule. Dacă antena de emisie este directivă semnalele lucrând pe aceleași frecvențe pot transporta informații diferite care vor fi destinate unor utilizatori amplasați în poziții corespunzătoare: exemplu sateliții cu mai multe fascicule.
5. *Diviziunea prin polarizare (PD)* sau refolosirea frecvențelor prin polarizare. Două semnale având plane de polarizare perpendiculare sunt ortogonale. Deci semnalele radio corespunzătoare pot folosi aceeași bandă de frecvență. Această tehnică merge numai la comunicațiile la care nu apare o modificare a polarizării în cursul propagării (sateliți).

➤ In esență toate tehnicile de multiplicare sau acces multiplu se bazează pe folosirea unor semnale ortogonale în domeniul considerat:

- timp

$$x_i(t), i = 1, 2 \dots$$

$$\int_{-\infty}^{\infty} x_i(t) x_j(t) dt = \begin{cases} k & i = j \\ 0 & i \neq j \end{cases}$$

- frecvență

$$X_i(f) \quad i = 1, 2 \dots$$

$$\int_{-\infty}^{\infty} X_i(f) X_j(f) df = \begin{cases} k & i = j \\ 0 & i \neq j \end{cases}$$

- cod

$$R_{C_i; C_j}(\tau) = \frac{1}{T_0} \int_{-\frac{T_0}{2}}^{\frac{T_0}{2}} C_i(z) C_j(t+\tau) dt = \begin{cases} k & i=j \\ 0 & i \neq j \end{cases}$$

etc.

- Cu aceste elemente se pot preciza noțiunile de multiplexare și acces multiplu.
- În timp, mai multe semnale au putut fi transmise pe același canal de comunicație prin multiplexare.
- În această fază alocarea unei căi de comunicație se făcea local fiind realizată în cadrul unor rame din centrală.
- Odată cu apariția comunicațiilor prin sateliți, într-o primă fază, procedura a rămas în esență, dar multiplexarea se realiza de la distanță.
- Treptat au fost introduse tehnici de alocare dinamică și au apărut și sisteme terestre care folosesc asemenea tehnici.
- Constatându-se depărtarea de conceptul original s-a apelat la unul nou *accesul multiplu*. Trecerea fiind treptată este dificilă o distincție netă.
- Se poate spune că multiplexarea constă în folosirea resursei de comunicație în comun prin alocare apriori, combinarea căilor făcându-se foarte aproape de utilizator.
- Accesul multiplu constă în folosirea în comun a unei resurse de comunicație, de la distanță, printr-o alocare dinamică a căilor de comunicație.

6.3 Diviziunea în frecvență

6.3.1 Multiplexarea căilor telefonice în telefonia convențională

- Transmiterea căilor telefonice prin perechi de fire aeriene a ajuns destul de repede într-un impas datorită dificultății de a măări numărul de căi din punct de vedere constructiv.
- Atunci s-a constatat că banda de trecere a unui cablu coaxial este mult mai largă decât cea necesară transmiterii unei căi telefonice (B de ordinul Megaherților, $B_0 = (3-4) \text{ KHz}$).
- A fost ușor să se ajungă la ideea ca divizând banda B în subbenzi comparabile cu B_0 se puteau transmite mai multe semnale folosind același mediu.

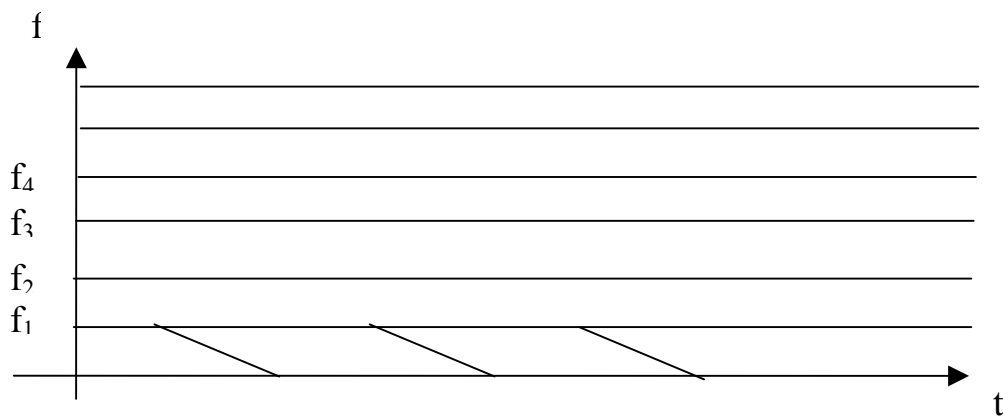


Fig. 6.3.1 Multiplexarea în frecvență: împărțirea în subbenzi

- Pentru realizarea operației se poate apela la schemele bloc principale date mai jos. Pentru a folosi eficient banda s-a apelat la tehnica de modulație MA-BLU.

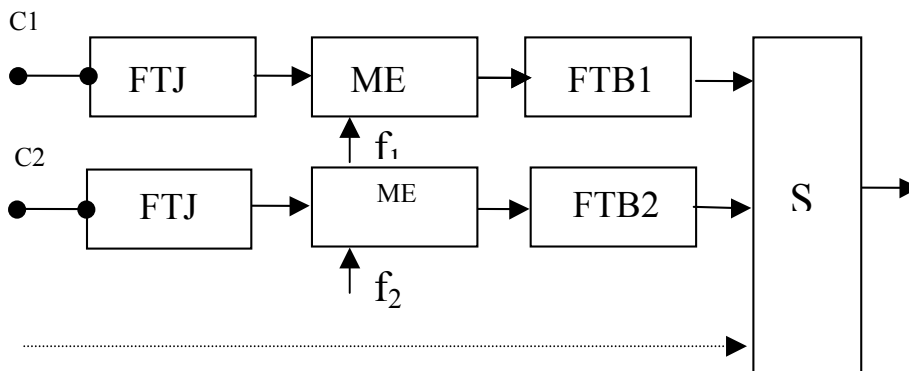


Fig. 6.3.2 Schema de principiu a unui multiplexor FD

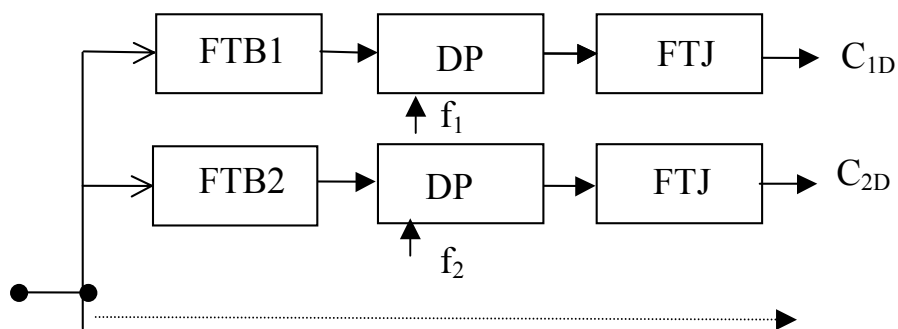


Fig. 6.3.3 Schema de principiu a unui demultiplexor FD

- Semnalele prelucrate sunt reprezentate în figura 6.3.4.

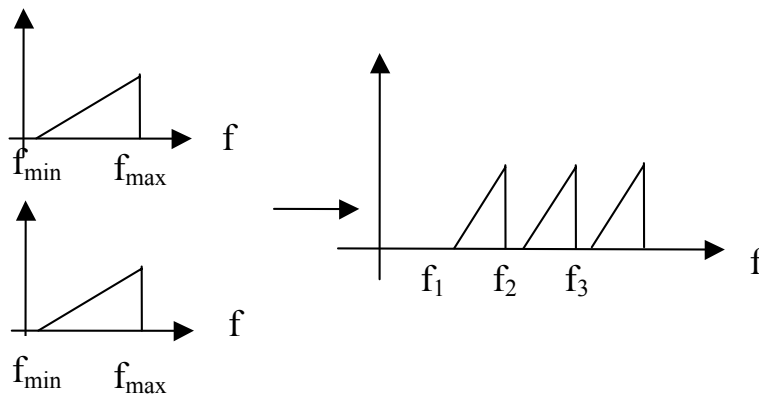


Fig. 6.3.4 Semnalele prelucrate la multiplexarea FD.

- Evident trebuie lăsată și o mică bandă de gardă pentru a ușura proiectarea filtrelor.
- Din păcate soluția dată mai sus, simplă din punct de vedere conceptual, nu este utilizabilă din motivele prezentate la producerea semnalelor MA-BLU:
 - filtrele LC sau RC nu pot fi realizate la orice frecvență;
 - la frecvențe mari filtrele pot fi realizate în tehnologie piezoceramică sau cu cuarț dar nu pot fi asigurate, în condiții economice, pentru orice canal,.
 - etc.
- Mai mult dacă un echipament ar lucra cu N canale ar trebui N filtre diferite.
- Pentru a minimiza aceste dificultăți s-a trecut la organizarea sistematică a semnalului multiplex.
- Sistematizarea obținută stă la baza producerii semnalelor.

6.3.2 Structura semnalelor multiplex folosite în telefonia convențională

- Elementul de bază al acestor semnale este calea telefonică: simbolul căii telefonice în domeniul frecvență este:

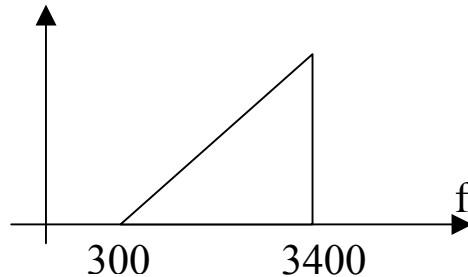


Fig. 6.3.5 Semnalul telefonic

- Douăsprezece căi telefonice formează o grupă primară. Fiecare cale ocupă o bandă de 4KHz, (fig. 5, banda necesară este 300...3400 Hz - la care se adaugă o rezervă pentru filtrare).
- Deci banda ocupată de o grupă primară este de 40KHz.
- Se disting două tipuri de grupe primare:
- A $f=(12...60)$ KHz
 - B $f=(60...108)$ KHz.
- Grupa primară de tip A se formează folosind semnale BLU-S iar grupa primară de tip B folosind semnale BLU-I. Simbolurile asociate sunt date în figura 6.

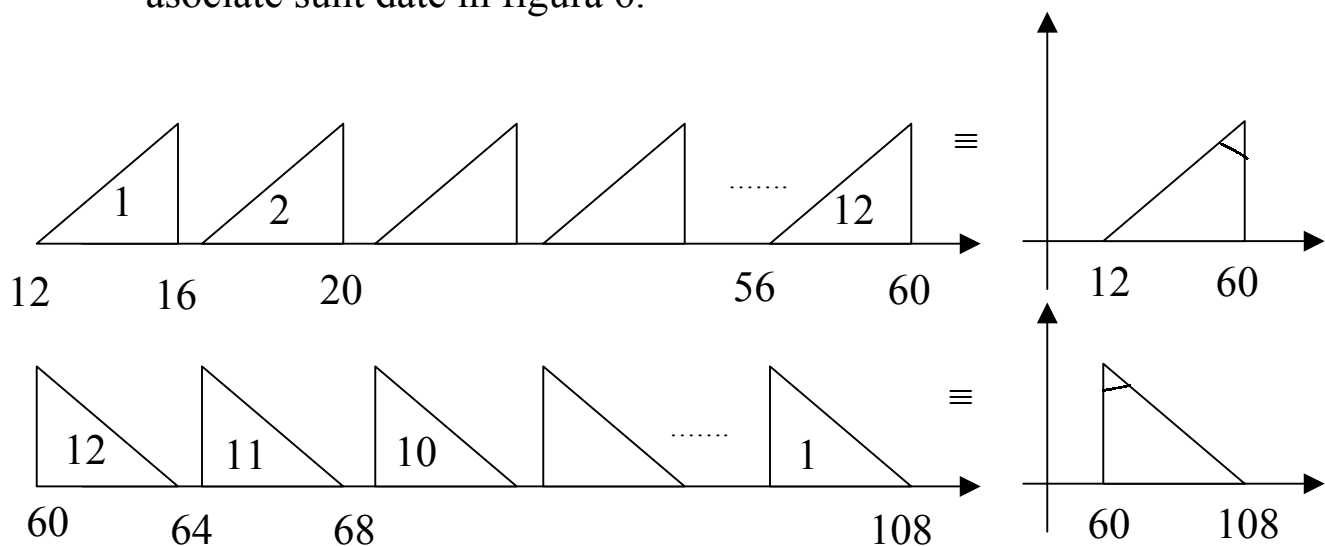


Fig. 6.3.6 Grupele primare de tip A și B.

- 5 grupe primare formează o grupă secundară. Banda grupei secundare este de 240KHz. Acesta se mai numește și supergrupă.

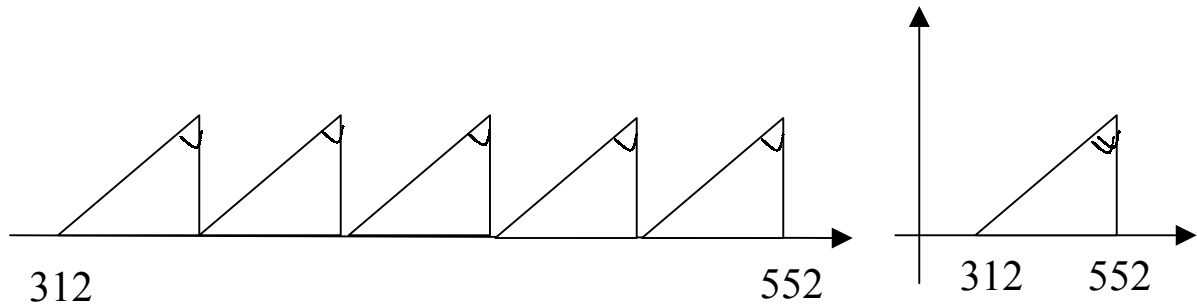


Fig. 6.3.7 Structura unei grupe secundare

- Se poate continua cu grupe terțiare etc.

6.3.3 Prelucrarea semnalelor multiplex telefonice

- În continuare se vor analiza – succint - producerea și demultiplexarea acestor semnale. Prelucrarea semnalelor telefonice multiplex urmărește îndeaproape structura acestora așa cum a fost descrisă în paragraful anterior.
- Se produc grupe primare după care acestea se combină în grupe secundare etc.
- S-a constatat că însăși grupele primare nu se pot produce, în mod convenabil, prin modulație directă. În consecință au fost concepute două metode de producere pentru grupele primare:
 - a) cu premodulare
 - b) cu pregrupare.

1. Producerea grupelor primare B prin premodulare

- Această metodă constă în realizarea unui semnal BLU intermediar cu frecvența purtătoare de 48KHz.
- De aici printr-o schimbare de frecvență semnalul corespunzător fiecărei căi este transferat în poziția corespunzătoare din grupul primar (fig. 6.3.7).

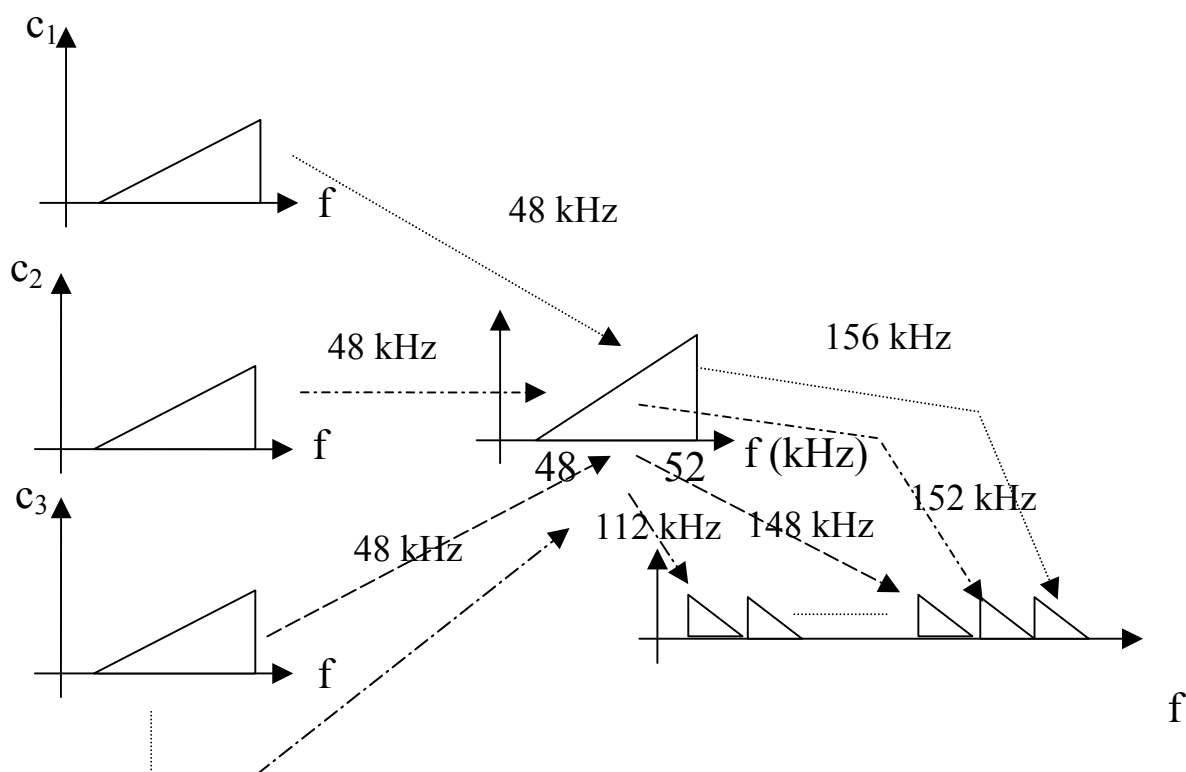


Fig.6.3.8 Producerea grupelor primare prin premodulare

➤ Schemele bloc folosite pentru producere și demodulare sunt date în figura 6.3.9.

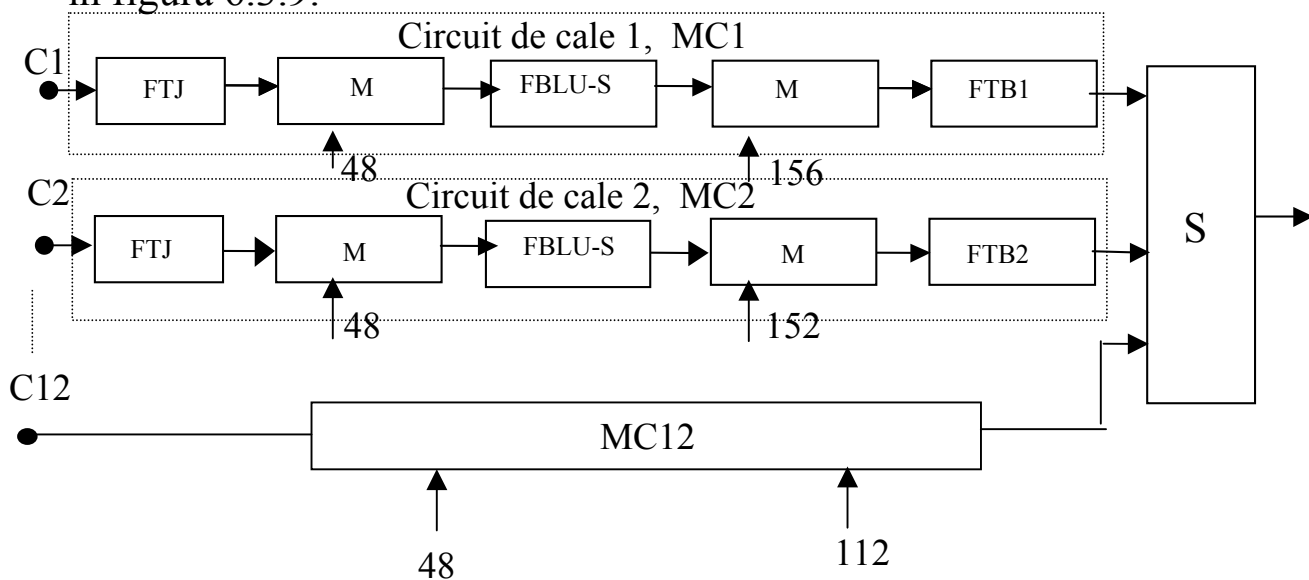


Fig. 6.3.9 Producerea grupelor primare prin premodulare

2. Producerea grupelor primare B prin pregrupare

- In acest caz se formează pregrupe de câte trei căi. Apoi pregrupele se transferă, împreună, la locul potrivit din cadrul grupei primare.
- Pregrupele se realizează cu frecvențe purtătoare de valoare redusă pentru a simplifica realizarea filtrelor BLU ($f_c=12k, 16k, 20k$).
- Schematic procedeul poate fi reprezentat ca în figura 6.3.10;

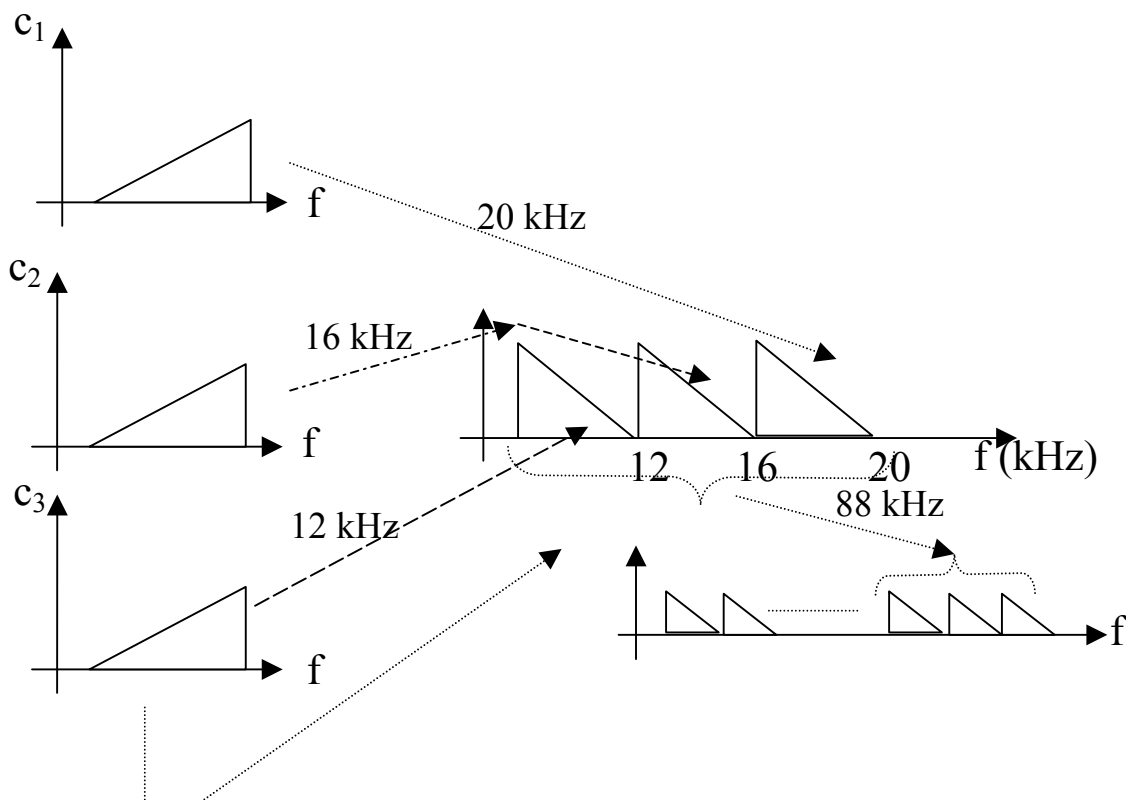


Fig. 6.3.10 Producerea grupelor primare prin

- Pentru acest procedeu nu vor fi date scheme bloc. Pot fi deduse pe baza prelucrării descrise.
- Se va constata și în acest caz posibilitatea modularizării dar sunt necesare trei tipuri de filtru BLU.
- Este adevărat că lucrează la frecvențe mai joase deci se realizează mai ușor. A doua schimbare de frecvență poate folosi filtre trece sus.

6.3.4 Folosirea tehnicii de diviziune în frecvență (FD) în comunicațiile satelitare

- Comunicațiile telefonice la distanțe mari au fost asigurate prin:
 - cablu de mare capacitate
 - radiorelee.
- Unele dintre stațiile intermediare dintr-un lanț de radiorelee pot fi instalate pe un satelit.
- Treptat această soluție a devenit tot mai importantă eliminând din competiție cablurile transoceanice.
- Trebuie precizat că odată cu dezvoltarea filtrelor optice, soluția de transmitere prin cablu a revenit, cel puțin pe distanțe medii.
- Oricum sistemul global de comunicații actual, nu poate fi imaginat fără un număr tot mai mare de componente de comunicații satelitare.
- În cea mai mare parte sistemele fixe de comunicație folosesc sateliți *geostaționari sau geosincroni*. Cu alte cuvinte sateliții au orbite circulare în planul ecuatorului, la o înălțime astfel aleasă încât viteza de rotație să coincidă cu perioada de rotație în jurul axei pământului.
- Calculul a condus la o înălțime de 35,8 km (19,33 mile marine).
- În consecință un astfel de satelit rămâne practic fix, deasupra unui punct situat pe suprafața pământului.
- Plasând trei asemenea sateliți la intervale de 120° se poate acoperi (acceptabil) suprafața pământului. Excepție fac zonele polare care din fericire, sunt și slab populate. Există și sateliți care nu sunt geostaționari.
- Din punctul de vedere al procesului de comunicație un satelit este un repetitor neregenerativ cunoscut și sub denumirea de transponder.
- Prin aceasta se înțelege că satelitul preia semnalul provenit de la o stație terestră pe legătura “ascendentă” (up-link) îl amplifică, îi schimbă frecvența purtătoare și îl emite pe legătura “descendentă” (down-link) către o altă stație terestră.

- Cei mai cunoscuți sateliți comerciali lucrează în banda C, (4-6GHz). În acest caz legătura “ascendentă” are purtătoarea în banda de 6GHz iar legătura “descendentă” în banda de 4GHz.
- Prin convenție, banda alocată este de 500MHz, și se divide la 12 transpondere fiecare folosind o bandă de 36Mhz.
- Printre cele mai cunoscute sisteme de comunicație fixe se numără seria Intelsat. Primele generații (I-IV) au folosit tehnica de diviziune în frecvență pentru realizarea accesului multiplu al utilizatorilor (stațiile terestre).
- Pentru transmisiune fiecare utilizator (stație terestră) folosește sistemul de diviziune în frecvență pentru a combina un număr oarecare de căi telefonice formând un semnal multiplex (FDM). Acest semnal modulează în frecvență o purtătoare RF în banda de 6 GHz, alta pentru fiecare stație.
- În final stația accesează, tot prin diviziune în frecvență (FDMA) satelitul.
- Deci schema folosită poate fi sintetizată FDM-FM-FDMA.
- Avantajul esențial al procedurii constă în simplitatea sa. Stațiile terestre lucrează independent fără a fi necesară acea sincronizare, care este necesară în alte sisteme (de exemplu în sistemele TDMA).

6.4. Sisteme de acces multiplu cu diviziunea de timp – TD

6.4.1. Principiul de realizare

- Dimensiunea timp a resursei este împărțită în cadre sau perioade de durată T .
- În variantele inițiale perioada T era determinată prin analiza semnalelor celor mai lente ce urmau a fi transmise.

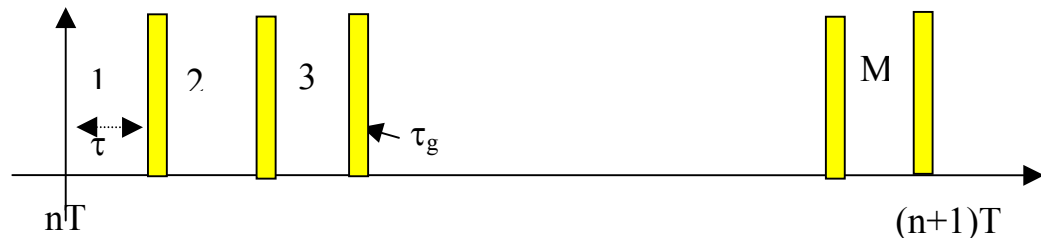


Fig. 6.4.1 Multiplexarea prin diviziune în timp.

- Este de fapt perioada de eșantionare a acestora. Fiecare cadru este împărțit în M segmente temporale (sloturi) fiecare segment având o zonă activă și una de gardă (fig. 6.4.1).
- Spațiul de gardă evită diafoniile care pot să apară între căi în cazul unor eventuale desincronizări.
- Schema bloc dată în figura 12 corespunde celei mai simple soluții prin care se poate crea un semnal multiplex pe baza diviziunii în timp.
- La multiplexare sistemul de control alocă fiecărei surse o fereastră care se repetă în toate perioadele (cadrele) cu durată T .
- Cu datele culese în acest interval se constituie semnalul ce se va transmite și care are structura dată în figura 6.4.2.

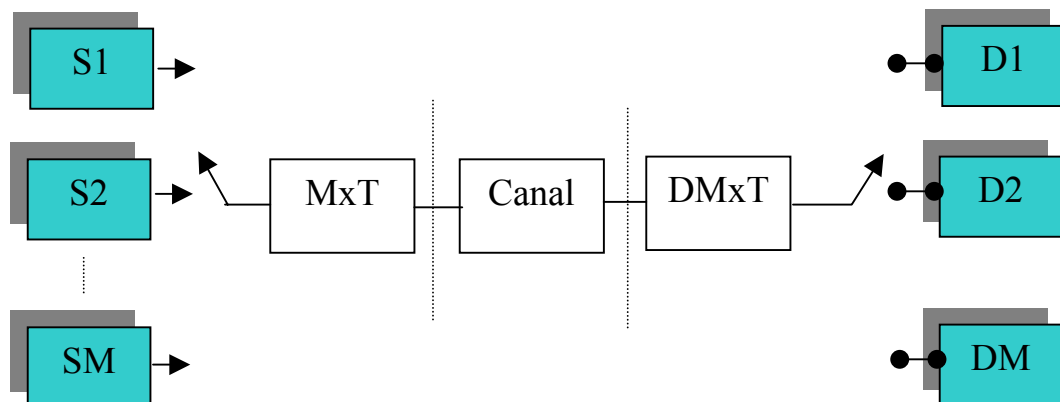


Fig. 6.4.2 Realizarea diviziunii în timp

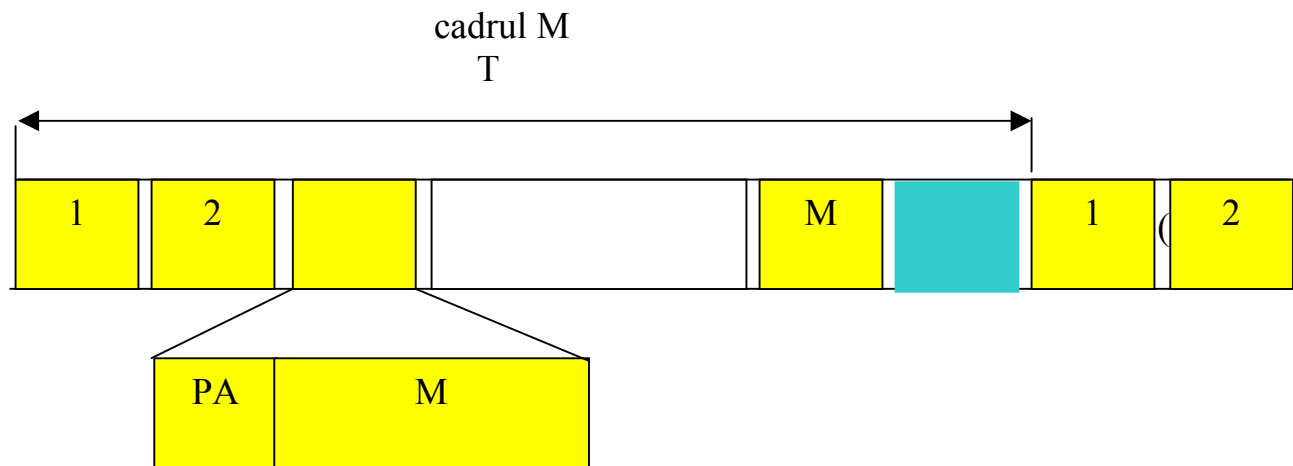


Fig. 6.4.3 Structura datelor transmise în sistemele TD

- Mesajul se transmite împreună cu un preambul care conține date de adresare, sincronizare, biți de control etc.
- De remarcat că, de regulă, se lasă un spațiu de gardă și la nivelul cadrelor.
- Se mai poate remarca faptul că mesajul poate fi un eșantion extras pe o cale telefonică sau poate fi o secvență de date corespunzătoare unei surse mai complexe, de exemplu o stație terestră.

6.4.2 Variante de alocare a segmentelor temporale

- Există două variante prin care unui utilizator i se alocă (atribuie) un segment temporal în care să transmită date:
 - alocare fixă
 - alocare dinamică, la cerere.
- În cazul alocării fixe fiecare sursă are alocat, permanent, un segment fie că are sau nu ceva de transmis.
- Structura cadrelor, din punctul de vedere al surselor care transmit, se repetă.
- Aceasta este varianta cea mai simplă dar, așa cum se va vedea mai departe, este eficientă numai în cazuri particulare.
 - De exemplu dacă traficul este uniform distribuit se poate sesiza că resursa este folosită în mod corespunzător, fără a risipi capacitatea de transmisiune.

- Dacă traficul este sporadic, în impulsuri vor rămâne foarte multe ferestre neocupate, iar numărul lor va crește cu timpul de lucru.
- Pentru concretizare se consideră patru surse care folosesc împreună un canal de comunicație. Informațiile de transmis de către fiecare sursă sunt grupate în pachete notate cu p_{jk} (j-sursa, k-intervalul) așa cum se observă în figura 6.4.4.
- Se remarcă faptul că un număr de 9 segmente au rămas neutilizate. Raportând la cele 16 disponibile, rezultă o folosire de sub 50% a capacității de transmisiune.
- O soluție pentru a evita această pierdere constă în folosirea unor tehnici specifice care cu prețul unei oarecari întârzieri mărește eficiența.

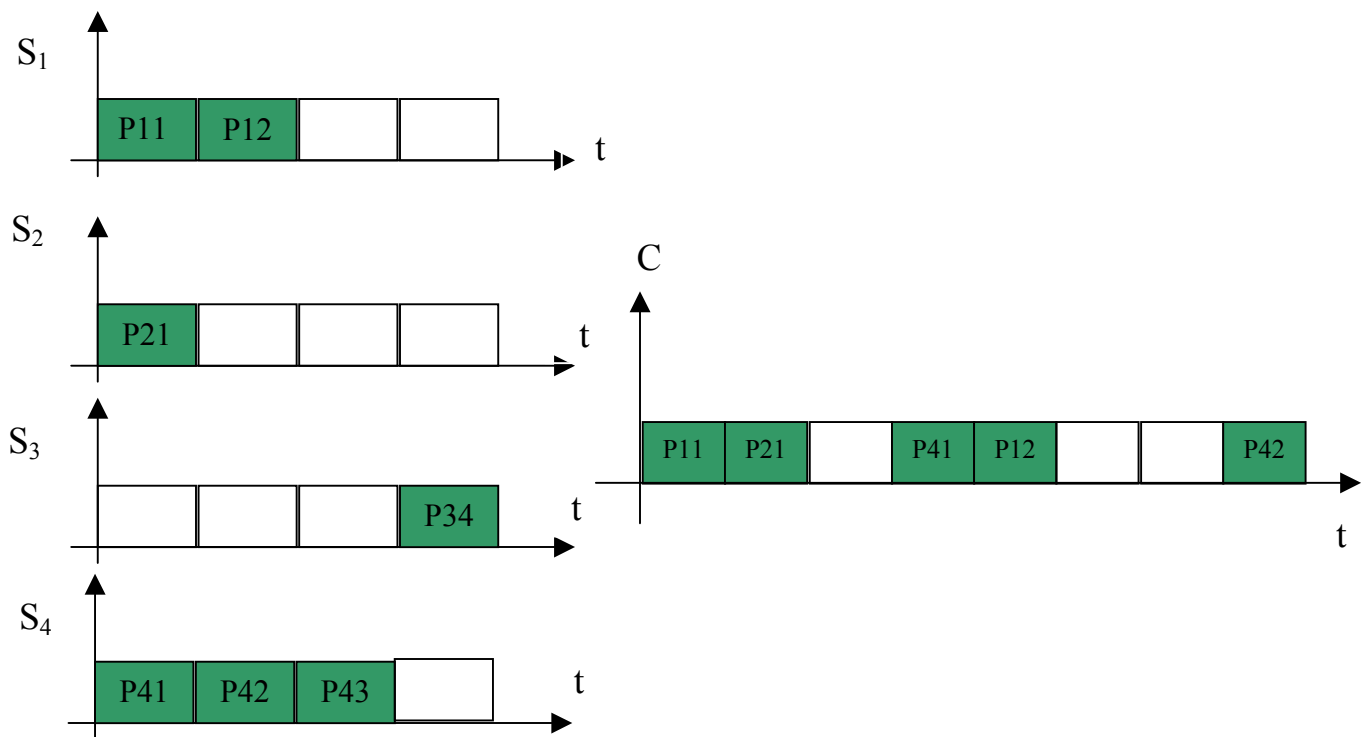


Fig.6.4.4 *Alocarea fixă a canalelor temporale*

- În cazul multiplexoarelor tehnicile menționate sunt cunoscute sub denumirea de multiplexare statistică, concentrare de date sau comutare de pachete.

- În cazul accesului multiplu se folosește alocarea *la cerere* sau *dinamică* a canalelor.

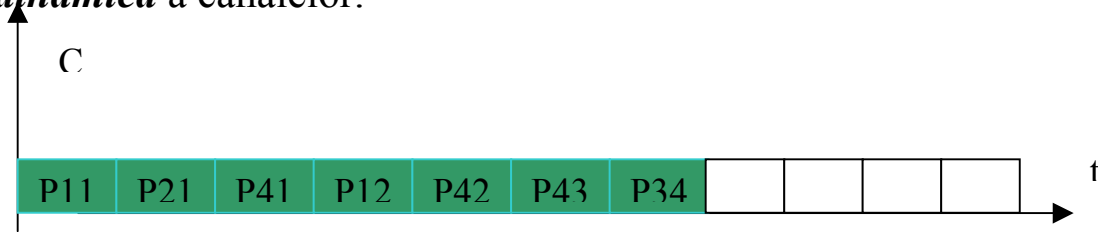


Fig. 6.4.5 Alocarea dinamică a canalelor temporale

- Efectul acestor procedee este ilustrat în figura 6.4.5 unde se observă cum pachetele de date folosesc toate segmentele putând accepta și alte transmisiuni în spațiul disponibil sau putând folosi o resursă de comunicație cu o capacitate mai mică.

6.4.3. Eficiența alocării la cerere

- Se poate arăta că dacă traficul este sporadic alocarea la cerere a canalelor poate conduce la o creștere semnificativă a eficienței folosirii resursei.
- Se consideră cazul a M surse independente identice. Dacă fiecare are nevoie în momentul transmisiunii de o rată de transmisiune R_m iar transmisiunile sunt independente este evident că la dimensionarea sistemului trebuie să se considere cazul când toate sursele transmit simultan (fig. 6.4.6-a):

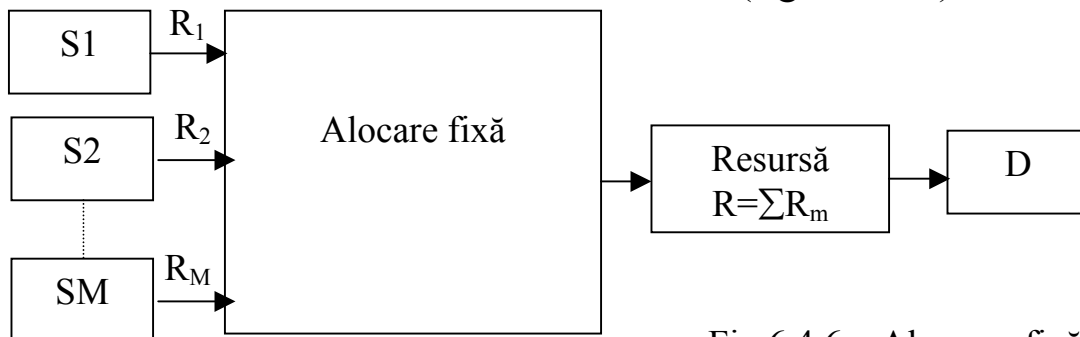


Fig.6.4.6-a Alocarea fixă

- Dacă alocarea se face la cerere și se acceptă o întârziere oarecare se poate considera că fiecare sursă lucrează cu o rată medie conform reprezentării date în fig. 6.4.6-b;

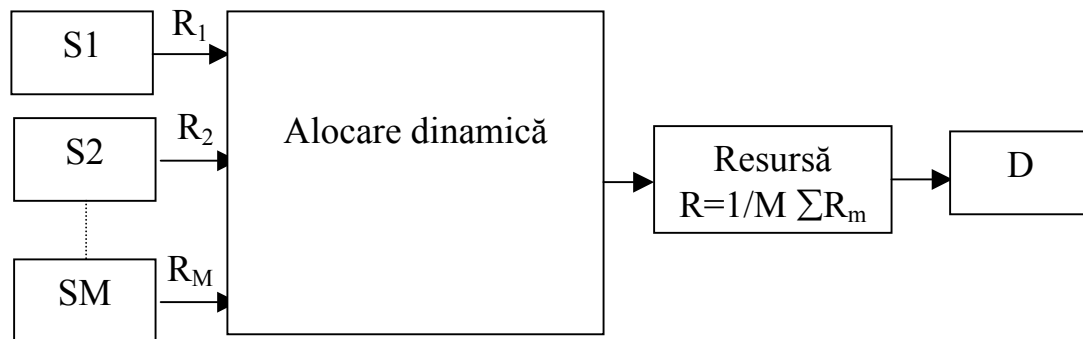


Fig 64.6-b Alocarea dinamică

- Rezultatele obținute, sintetizate în figura 16 evidențiază o creștere a eficienței de cca M ori.
- Aceasta este adevărat în anumite limite determinate de caracteristicile statistice ale surselor de informație. Oricum este evident că pentru trafic în impulsuri prin alocare dinamică se poate folosi o resursă cu capacitate mult mai mică.

6.4.4. Utilizarea diviziunii în timp pentru accesul multiplu în comunicațiile prin sateliți

- Considerând (din nou) seria INTELSAT se observă că acest procedeu apare pentru prima dată la generația IV pentru transmiterea realizată pe canalul de serviciu, pe care se lansau cererile de alocare de canale radio.
- La generațiile următoare diviziunea în timp se folosește și pentru transmisiunea de bază.
- Introducerea mai târzie se explică prin necesitatea folosirii unei tehnologii adecvate astfel încât sistemele să fie competitive cu cele care folosesc diviziunea în frecvență și care nu necesită sincronizare.
- Modul de lucru al rețelelor de comunicație prin satelit cu acces multiplu cu diviziune în timp (TDMA) este ilustrat în figura 6.4.7.

- O stație terestră oarecare formează un semnal complex combinând un număr oarecare de căi telefonice, eventual tot prin diviziune în timp.

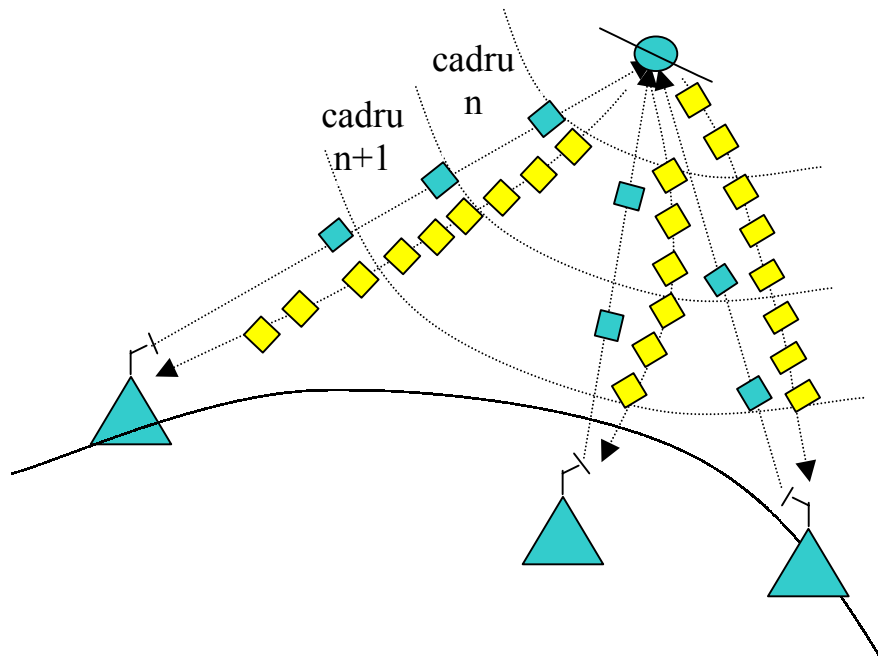


Fig. 6.4.7 Accesul TDMA în comunicațiile prin sateliți.

- Datele astfel obținute sunt grupate într-un pachet și sunt transmise spre satelit în segmentul temporal alocat în acest scop prin modularea unei purtătoare RF :TDM-FM-TDMA;
- Satelitul transferă pachetele pe o altă purtătoare și le transmite, pe toate, către stațiile terestre;
- Acestea extrag mesajele ce le sunt adresate și le rutează către utilizatorii corespunzători.

6.5. Analiza comparativă a performanțelor realizate de tehnicile FDMA și TDMA

- În cursul acestei analize se vor avea în vedere doi parametrii:
 - rata de transmitere necesară;
 - întârzierea medie a mesajelor.

- Pentru a concretiza va fi luată în considerație o resursă de comunicație capabilă să suporte o rată de transmisiune de R biți/secundă.
- Resursa este accesată de M surse de informație (S_i $i=1,\dots,M$) fiecare generând pachete de câte b biți cu perioada T ;
- Datele generate de surse sunt introduse în registre tampon (bufere) unde așteaptă momentul transmiterii;
- În varianta FDMA situația poate fi reprezentată schematic ca în figura 6.5.1.

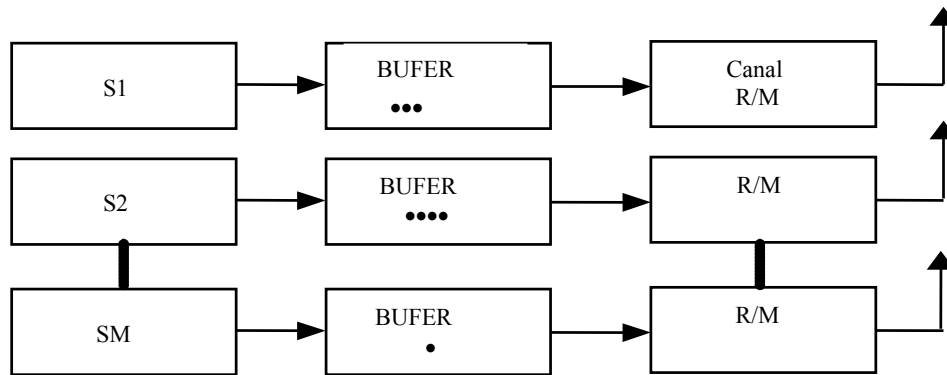


Fig. 6.5.1 Accesul FDMA la o resursă de comunicație

- Când canalul este liber, și în acest caz, la o proiectare corectă este, practic, tot timpul liber datele se vor transmite cu viteza R/M .
- Canalul este permanent liber deoarece fiecare sursă de date are alocat, tot timpul, un canal radio de comunicație de bandă B/M proiectat pentru a prelua traficul de date.
- În cazul sistemelor TDMA (fig. 6.5.2) datele de la cele M surse sunt disponibile simultan iar transmisia are loc în segmentul alocat (T/M).

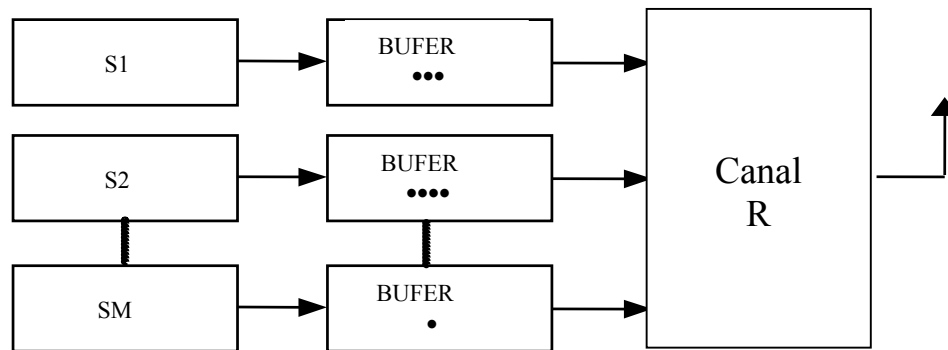


Fig. 6.5.2 *Accesul TDMA la o resursă de comunicație*

6.5.1 Rata de transmitere necesară

- Se poate arăta că rata de transmitere necesară pentru a putea prelua informația de la cele M surse este aceeași indiferent dacă diviziunea se realizează în timp sau în frecvență.
- Intr-adevăr, dacă se lucrează cu diviziune în frecvență, canalul de comunicație cu capacitatea R/M trebuie să poată transmite b biți în T secunde, deci:

$$\frac{R}{M} = \frac{b}{T} \Rightarrow R = \frac{Mb}{T} \text{ biți / sec undă}$$

- Dacă se lucrează cu diviziune în timp atunci canalul integral (cu capacitatea R) trebuie să poată transmite b biți în T/M secunde; deci rezultă:

$$R = \frac{b}{\frac{T}{M}} = \frac{Mb}{T} \text{ biți / sec undă}$$

6.5.2 Întârzierea medie a mesajelor

- Din acest punct de vedere se poate arăta că sistemele TDMA introduc o întârziere medie mai mică decât sistemele FDMA.
- Pentru a arăta acest lucru se va defini întârzierea mesajului ca fiind:

$$T_i = t_a + t_t \text{ secunde}$$

- aici t_a este timpul de așteptare al unui pachet înaintea transmisiei iar t_t întârzierea datorată transmisiei.
- Pentru sistemele FDMA, sursa are la dispoziție tot timpul canalul de bandă B/M, deci pachetul începe să fie transmis imediat ce s-a constituit. În consecință $t_a=0$.
- La o proiectare optimă durata de transmitere este T, adică mesajul (pachetul) este disponibil la sfârșitul perioadei T. Deci:

$$t_t = T; \quad T_{iFD} = T \text{ secunde}$$

- Pentru sistemele TDMA, pachetul de date generat de o sursă oarecare are la dispoziție, pentru transmitere toată banda canalului dar numai un interval T/M.
- Deci ca și mai sus rezultă că la proiectare optimă durata de transmisie este:

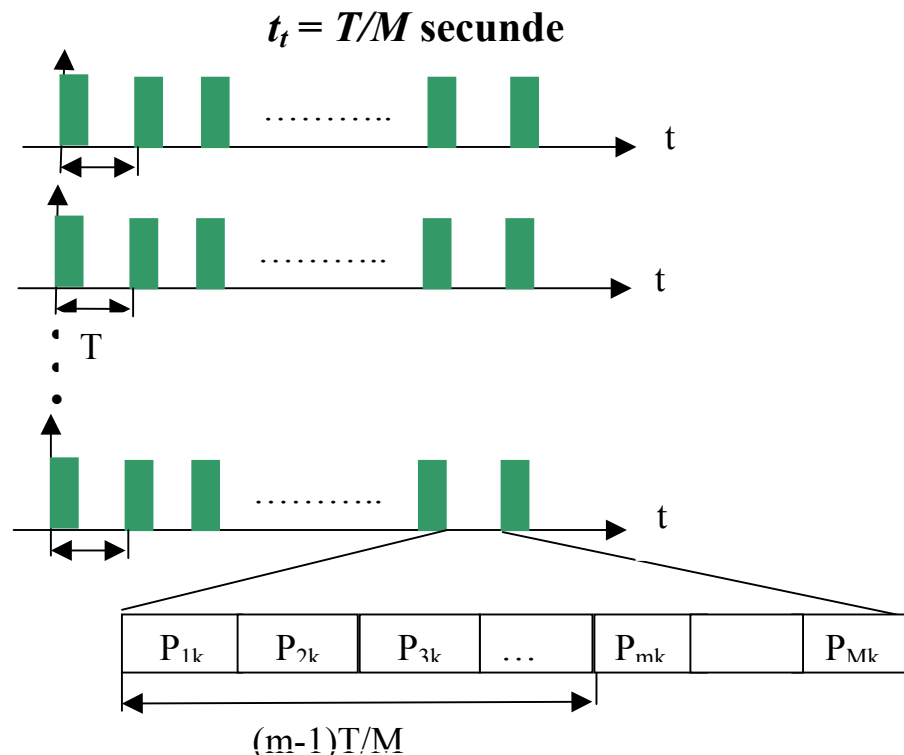


Fig. 6.5.3 Transmiterea mesajelor în sistemele TDMA

- În vederea evaluării duratei de așteptare se va considera, ca și în cazul precedent, că toate mesajele sunt disponibile la începutul perioadei T .
- Fiecare pachet așteaptă până la începutul segmentului care-i este rezervat (figura 6.5.3).
- Deci intervalul de așteptare variază de la 0 la $(M-1)T/M$, valoarea sa medie fiind $(M-1)T/2M$.

- Se obține:

$$D_{TD} = \frac{T}{M} + \frac{T}{2} - \frac{T}{2M} = \frac{T}{2} \left(1 + \frac{1}{M} \right) = T_{FD} - \frac{T}{2} + \frac{T}{2M} =$$

$$T_{FD} - \frac{T}{2} \left(-\frac{1}{M} + 1 \right) = T_{FD} - \frac{T}{2M} (M-1) = T_{FD} - \frac{b}{2M} (M-1)$$

- Deci dacă din punctul de vedere al capacității necesare pentru transmiterea informației cele două sisteme sunt echivalente din punctul de vedere al întârzierii mesajelor sistemele TDMA sunt superioare.

6.6. Accesul multiplu prin diviziune în cod, CDMA

- În sistemele FDMA – planul resursei a fost divizat în domeniul frecvență.
- În sistemele TDMA - în domeniul timp.
- Se poate imagina o variantă combinată TDMA-FDMA la care divizarea se face în ambele domenii rezultând benzi de frecvență alocate pentru un interval de timp.
- Se poate considera că soluția CDMA are la origine această variantă cu precizarea că în diverse intervale de timp un utilizator va folosi diverse benzi de frecvență (fig. 6.6.1):

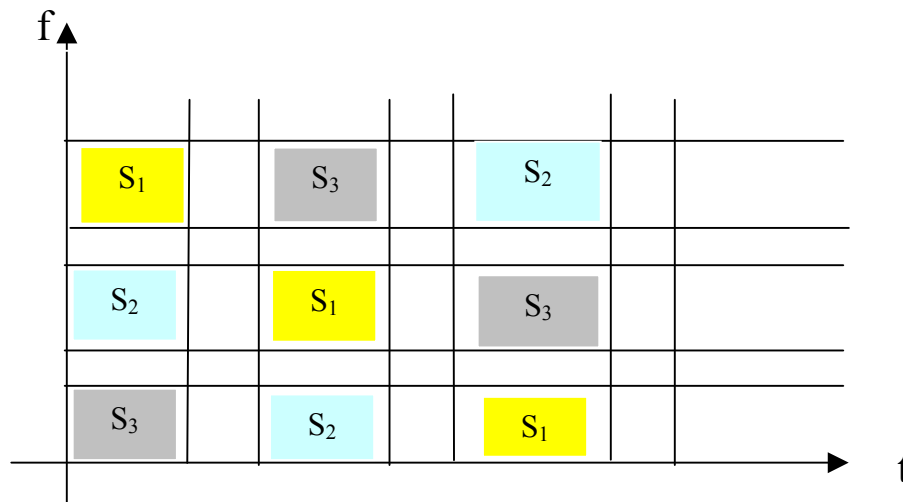


Fig. 6.6.1 Diviziunea mixtă timp-frecvență în sistemele CDMA

- Despre aceste sisteme se va discuta amănunțit cu alt prilej.
- În cele ce urmează se vor aminti câteva aspecte principale;
- Primul aspect se referă la aceea că există două variante mai importante care pot fi utilizate pentru a realiza *accesul multiplu*:
 - *Sistemele de comunicație cu secvență directă*
 - *Sistemele de comunicație cu salt de frecvență.*
- Pentru a ilustra metoda se va descrie varianta *cu salt de frecvență*. Aceasta poate fi înțeleasă prin extensia directă a procedurii menționat anterior.
- Dacă intervalele alese sunt scurte se constată că semnalul s_1 care ar necesita pentru transmisie un singur canal în frecvență pentru un timp mai îndelungat folosește în intervale succesive benzi diferite deci, de fapt, toată banda sistemului.
- Pe de altă parte sursele sunt multe, fiecare emite cu putere mică, deci contribuția fiecăreia la deteriorarea raportului semnal zgomot va fi mică astfel încât se ajunge la concluzia că nu este necesară sincronizarea între transmisiuni;

- Pentru a genera un asemenea semnal se poate folosi schema bloc dată în figura 6.6.2.
- Tactul este dat de durata segmentului temporal.
- În fiecare segment codul generat este altul deci frecvența generată, modulată și transmisă este alta.
- Dacă datele folosesc pentru transmisie tot modulație în frecvență (FSK) atunci codul și datele se pot combina și împreună realizează modulația unei purtătoare.

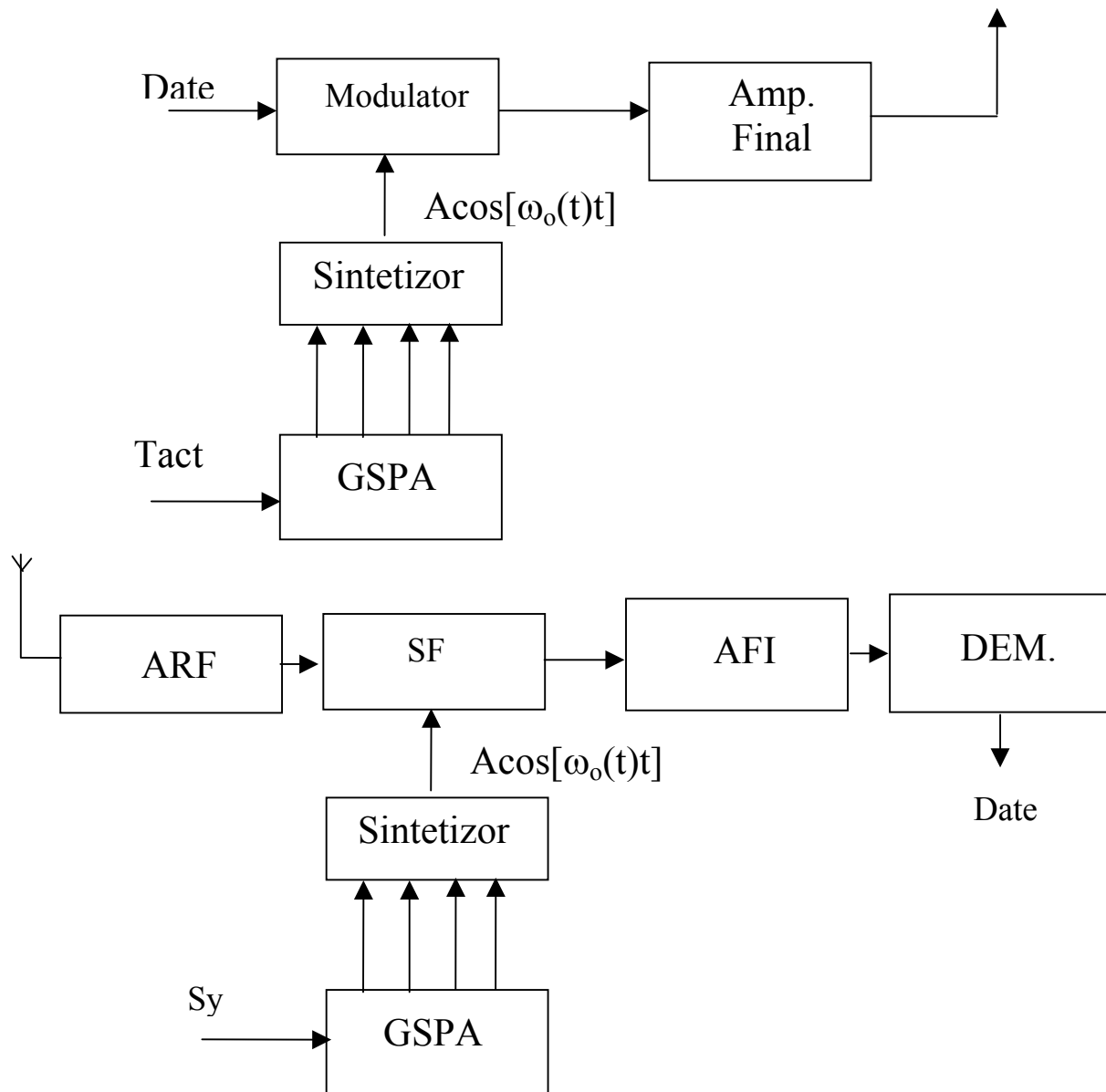


Fig. 6.6.2 Structura unui sistem de comunicație CDMA

- Se poate pune problema este de ce prezintă interes un asemenea sistem.
- Răspunsul se găsește în avantajele sale bine cunoscute dintre care menționăm:
 1. *Secretul comunicației*: codul este cunoscut de utilizatorii autorizați. Varietatea codurilor este foarte mare; dacă nu este cunoscut este greu de descoperit.
 2. *Canalele radio sunt afectate de fading*; unii utilizatori pot beneficia de canale cu calitate redusă, din punctul de vedere al propagării. Folosind un astfel de sistem această deficiență se mediază. Evident se poate impune un prag din punct de vedere calitativ.
 3. *Rezistența la bruiaj*;
 4. *Flexibilitatea*; Nu este necesară o sincronizare între partenerii care folosesc în comun resursa de comunicație. Separarea între canale este asigurată de cod; oricând se pot adăuga noi utilizatori fără modificări de arhitectură.