

capitolul 4 MULTIPLEXAREA ȘI DEMULTIPLEXAREA ÎN FRECVENȚĂ

4.1. Principiile multiplexării și demultiplexării în frecvență

Multiplexarea în frecvență constă în translarea spectrelor semnalelor în benzi de frecvență separate, apropiate, formând o bandă în jurul sau în apropierea unei purtătoare unice – fig. 4.1. Aceasta înseamnă de fapt modularea purtătoarei cu mai multe semnale.

Separarea semnalelor la receptor – *demultiplexarea*, se face prin filtrare. De fapt, este o demodulare, prin heterodinare și filtrare.

Pentru utilizarea eficientă a frecvențelor disponibile, este necesar ca benzile ocupate de semnale în semnalul complex (multiplex) să fie cât mai mici. Semnalul modulat cu cel mai îngust spectru posibil este cel modulat în amplitudine cu bandă laterală unică (MA-BLU).

Semnalul MA-BLU (fig. 4.2) se obține separând una din benzile laterale (BL-I sau BL-S) din semnalul MA cu purtătoare și 2 benzi laterale; se obțin:

- semnalul BLU-S (se folosește banda superioară);
- semnalul BLU-I (se folosește banda inferioară).

Pentru obținerea semnalelor BLU se folosesc modulatori (mixeri) echilibrați (eliminarea/reducerea purtătoarei) și procedeul filtrărilor succesive¹ (separarea unei benzi laterale).

Semnalul cel mai vehiculat este cel telefonic (vocal) cu banda **300 – 3400Hz**. Pentru transmisia acestui semnal se alocă o bandă puțin mai mare, de **4kHz**, filtrele nefiind perfecte. O bandă de **4kHz** în domeniul de frecvențe în care se face transmisia se numește *canal*. Pentru fiecare semnal telefonic se alocă un canal în care se introduce semnalul BLU corespunzător. Când se transmit semnale cu spectru mai larg (radiofonic, de date, ...) se alocă mai multe canale (benzi mai largi).

Extragerea semnalului util se face prin demodulare coerentă și filtrare, de regulă efectuând produsul dintre semnalul BLU și purtătoarea refăcută – fig. 4.3.

Pentru acces multiplu la aceeași cale de transmisie prin multiplexare în frecvență, se procedează ca în exemplul din fig. 4.3. Spectrele semnalelor utile se translează în canale adiacente prin modulare MA-BLU, separând benzile laterale potrivite și sumând semnalele BLU obținute. În fig. 4.3 s-au utilizat benzile laterale superioare iar frecvențele de translație sunt: $f_{01}, f_{02}, f_{03} = 8, 12, 16\text{kHz}$; evident, se pot folosi și alte frecvențe. Se va observa că la recepție se procedează mai întâi la filtrarea benzilor și apoi la demodulare coerentă.

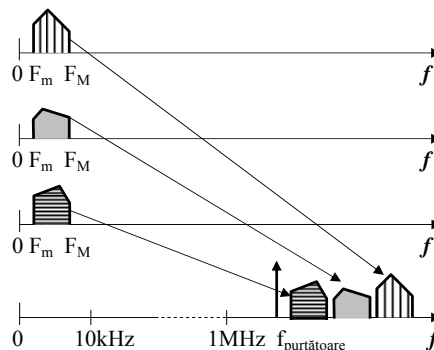


Fig. 4.1. Principiul multiplexării în frecvență

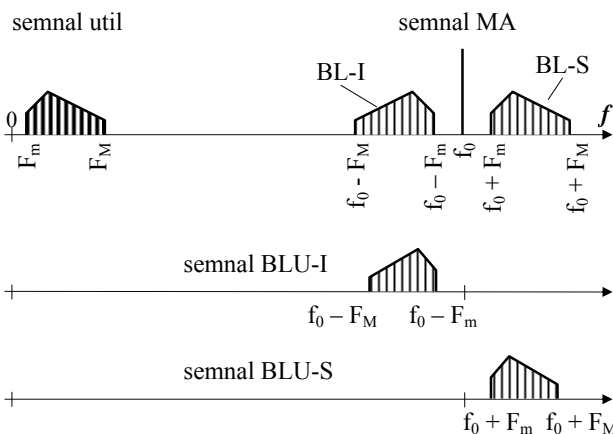


Fig. 4.2. Spectrele semnalelor: util, MA, BLU-I și BLU-S

¹ V. Cehan "Bazele radioemițătoarelor" Ed. Matrix Rom, cap. 6.

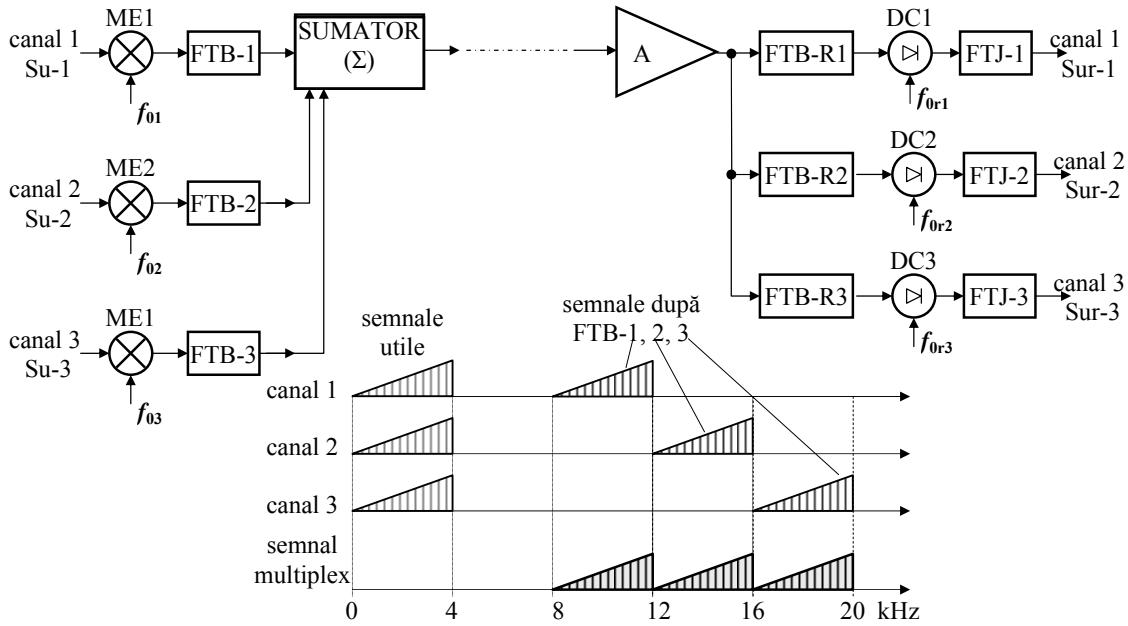


Fig. 4.3. Schema bloc a unui sistem de telecomunicații cu multiplexare în frecvență cu 3 canale și translările spectrelor (ME – modulator echilibrat, DC – detector coerent)

4.2. Tehnici de multiplexare în frecvență

După cum se știe, pentru obținerea semnalelor BLU prin metoda filtrărilor succesive, se procedează la modularea în amplitudine urmată de separarea benzii laterale dorite (translări de spectre) cu mai multe purtătoare, cu frecvențe tot mai ridicate.

La multiplexarea în frecvență, după primele translări se efectuează și primele sumări (ca în exemplul din fig. 4.3) obținând un semnal multiplex cu spectrul sumă a spectrelor translate într-o bandă de frecvențe. În alte benzi se formează ca mai sus, alte semnale multiplex. Ansamblul acestor semnale ocupă o bandă numită *bandă de bază*; cu semnalul din banda de bază se modulează (de obicei în frecvență) o purtătoare de RF (UIF, EIF). Se vor expune principiile de obținere a semnalului în banda de bază.

Obișnuit, un ansamblu de 12 canale alcătuiesc un *grup primar* (sau grup), cu lărgimea de bandă $4 \cdot 12 = 48\text{kHz}$.

Se formează două grupe primare (fig. 4.4):

- *grupul primar de bază A* cu banda 12 ... 60kHz format cu semnale BLU-S (numite și *tip A*) și
- *grupul primar de bază B* cu banda 60 ... 108kHz format cu semnale BLU-I (*tip B*).

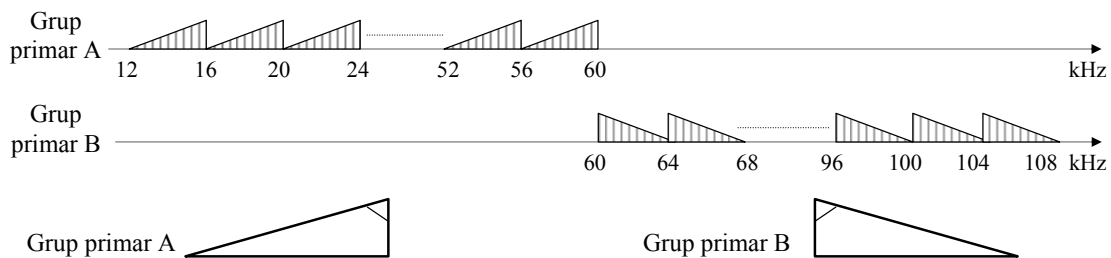


Fig. 4.4. Formarea grupurilor primare A și B, simbolizare

Gruparea canalelor se poate opri aici – și în acest caz semnalul în banda de bază este format din cele două grupe ($2 \cdot 12 = 24$ canale în banda de bază 12 ... 108kHz).

De obicei și grupurile primare se aranjează prin translări de spectre (în frecvență) în structuri (benzi) mai mari. De exemplu, cu 5 grupuri primare se obține o bandă de bază cu 60 canale; alăturarea grupurilor se poate face în diverse moduri – două modalități apar în fig. 4.5.

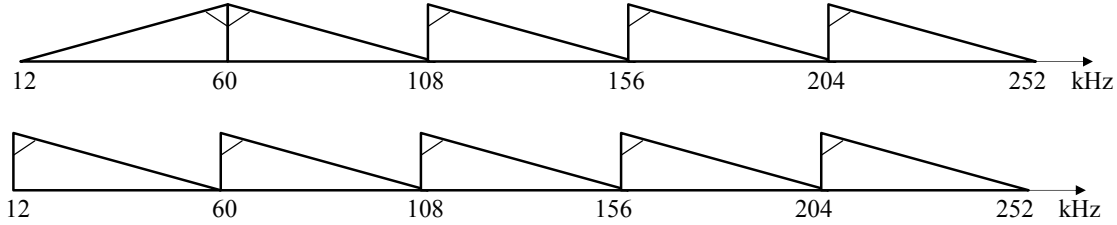


Fig. 4.5. Formarea unor benzi de bază cu 60 canale, din grupuri primare A (GA) și/sau B (GB)

Prin reunirea a 5 grupuri primare (GA și/sau GB) se obține un *grup secundar* (sau *supergrup*) cu 60 canale, ocupând o bandă de $5 \cdot 48 = 240$ kHz. Grupul secundar format în banda 312 – 552 kHz se numește *grup secundar de bază*.

La rândul lor, supergrupurile pot fi reunite în grupuri mai mari (1800 – 1900 canale).

Prin reunirea a 5 grupuri secundare (GS) se obține un *grup terțiar* cu $5 \cdot 60 = 300$ canale; grupul terțiar format în banda 812 – 2044 kHz se numește *grup terțiar de bază*.

Prin reunirea a 3 grupuri terțiare se obține un *grup cuaternar* cu $3 \cdot 300 = 900$ canale.

Uneori se reunesc 3 grupuri cuaternare, obținând o capacitate de 2700 canale.

Grupurile primare (12 canale, 48 kHz lărgime de bandă) se formează prin două procedee: cu premodulare și cu pregrupare.

a. În procedeul de formare cu premodulare, spectrele tuturor semnalelor se translează în aceeași poziție (pe axa frecvenței); de exemplu (fig. 4.6), spectrele 0 – 4 kHz se translează în banda 48 – 52 kHz, prin MA a unei purtătoare de 48 kHz și separarea benzii laterale superioare.

În continuare, se execută o a doua translare, numită *modulație de canal*, realizată cu 12 purtătoare cu frecvențe decalate cu 4 kHz. Din fiecare semnal MA rezultat în urma modulației, se separă banda laterală dorită pentru formarea unui grup primar A sau B. În fig. 4.6 s-a considerat formarea unui grup primar B, pentru care trebuie selectate benzile laterale inferioare. Acestea trebuie plasate în intervalul 60 – 108 kHz și ca urmare, frecvențele de purtătoare (pentru modulația de canal) trebuie să fie: 112, 116, 120, ..., 156 kHz.

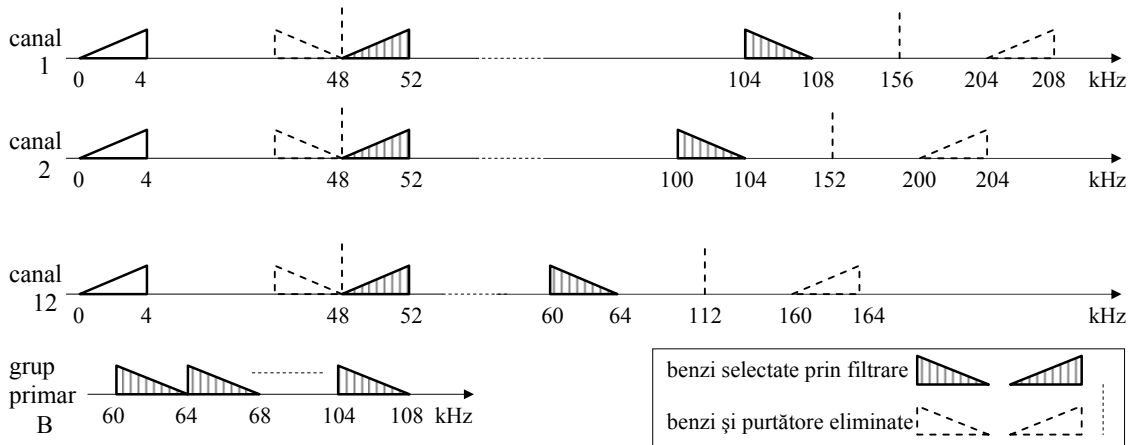


Fig. 4.6. Formarea unui grup primar B prin premodulare

Evident, se poate alege altă frecvență de premodulare în locul a 48kHz; de exemplu, se poate alege 132kHz, în care caz frecvențele pentru modulația de canal sunt 196, ..., 240kHz.

Structura echipamentelor de multiplexare și demultiplexare pentru exemplul de mai sus apare în fig. 4.7. Operațiile pot fi urmărite pe figură. Se remarcă prezența transformatorilor diferențiali TR-D care asigură transmisiile semnalelor pe numai 2 fire în ambele sensuri. TR-D sunt transformatoare hibride, fiecare cu 2 înfășurări (una cu priză mediană), cu porturile conjugate, cu funcționare cunoscută. TR-D se introduc pentru separarea semnalelor care circulă în ambele sensuri pe linia cu 2 fire, pe cele care “pleacă” de pe canal (de la microfon) de cele care “vin” la receptor (la difuzor).

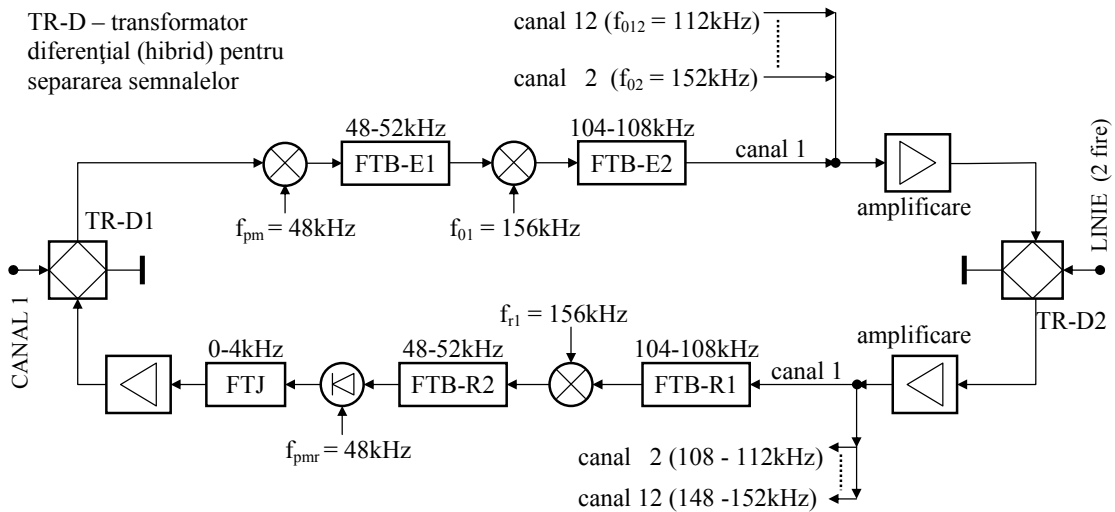


Fig. 4.7. Schema bloc a echipamentului de multiplexare și demultiplexare în frecvență prin premodulare pentru un grup primar B (translările de frecvență din fig. 4.6)

b. În procedeele de multiplexare cu pregrupare, mai întâi se formează grupe de canale mai mici, care apoi sunt aranjate în grupul final.

Pentru obținerea unui grup primar B, în prima etapă cele 12 canale se grupează câte 3, în 4 *pregrupuri* (în aceeași bandă de frecvențe); în a doua etapă se aranjează pregrupele în grupul primar. Operațiile și structura echipamentelor la nivel de schemă bloc apar în fig. 4.8 și 4.9.

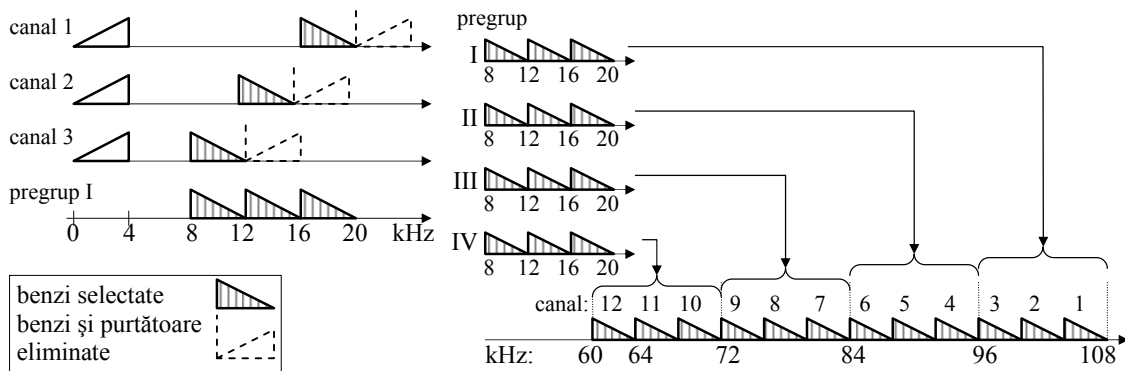


Fig. 4.8. Obținerea unui grup primar B prin pregrupare

Grupurile secundare, terțiare și ternare se formează prin procedee asemănătoare celor descrise.

Sistemele de comunicații prin radiorelee folosesc de obicei grupuri mari, cu multe canale (sute ... mii). Sistemele de comunicații prin sateliți utilizează mai puține canale (zeci, rar sute).

În ambele sisteme, în benzile de bază, se rezervă 1-2 canale *de serviciu*, pentru convorbiri între operatori (în acestea se pot introduce mai multe canale telegrafice de serviciu).

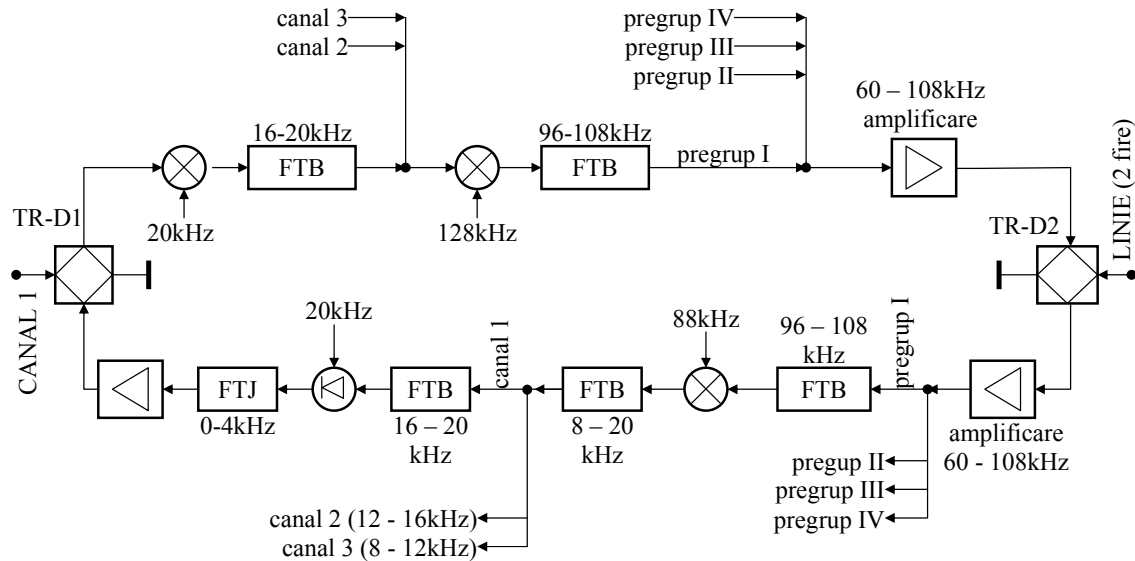


Fig. 4.9. Schema bloc a echipamentului de multiplexare și demultiplexare în frecvență prin pregrupare pentru un grup primar B (translările de frecvență din fig. 4.8)

Banda de bază este realizată la un centru urban de telecomunicații (centrală telefonică) și transferată prin cablu sau linie de radioreleu (prin modularea unei purtătoare de IF) la alt centru sau la stația de sol pentru comunicații prin satelit.

Banda de bază conține mesaje cu destinații în întreaga lume. Stația de sol este conectată cu mai mulți sateliți care acoperă diferite regiuni de pe glob. Ca urmare, în stație mesajele sunt mai întâi demultiplexate și apoi regrupate în funcție de destinații; cu noile grupuri se modulează purtătoare pentru diferiți sateliți, cu care este conectată stația.

Semnalul multiplex este evident aleator, cu caracteristici statistice în funcție de caracteristicile semnalelor de pe canale.

Nivelul mediu ($N_{a\ med}$) măsurat pe un canal pe care se transmite continuu vorbire este $-8 \dots -18\text{dBm}$; valorile frecvențe sunt în jurul a -9dBm . Transmisiile au loc de obicei în ambele sensuri; se poate considera că în medie, ambii corespondenți utilizează canalul timpuri egali. Pe de altă parte, în convorbiri există și pauze care în medie, durează jumătate din timpul convorbirii într-un sens. Rezultă că de fapt, puterea medie pe canal într-un sens este $1/4$ din puterea medie măsurată pentru cazul activității continue (fără pauze, tot timpul într-un singur sens), adică nu $100\mu\text{W}$ (-9dBm) ci $25\mu\text{W}$ (-15dBm).

În cazul semnalului multiplex, discuția de mai sus duce la următoarele considerații:

- din sistemul cu n_c canale, numai n_a sunt active;
- dacă n_c este destul de mare (sute), se poate considera că active într-un sens sunt $n_c/4$ canale;
- dacă puterea medie măsurată pe un canal în activitate continuă într-un sens, în punctul de referință cu nivel zero este $P_{med\ 0c}$ ($100\mu\text{W}$, cum s-a arătat), puterea medie într-un sens pe canalul cu semnal multiplex este $P_{med\ 0} = P_{med\ 0c} \cdot n_c/4$;
- logaritmând ultima expresie rezultă nivelul semnalului multiplex în punctul de nivel zero:

$$N_{med\ 0} = 10 \log P_{med\ 0c} - 10 \log 4 + 10 \log n_c$$

$$N_{med\ 0} = -15 + 10 \log n_c \quad (\text{dBm o}) \quad - \text{recomandată de CCIR pentru } n_c \geq 240 \text{ canale} \quad (4.1)$$

$$N_{med\ 0} = -1 + 4 \log n_c \quad - \text{recomandată de CCIR pentru } 12 \leq n_c < 240 \quad (4.2)$$

În proiectare are importanță și nivelul de vârf N_{av} . Măsurătorile arată că pe canale multiplex, $N_{av} = 3,1 \dots 15,3\text{dBm o}$ ($2 \dots 34\text{mW}$) pentru 960 ... 12 canale; valorile mai mari corespund unui număr de canale mai mic.