

Capitolul 3

SISTEME DE COMUNICAȚII ANALOGICE

3.1 STRUCTURA UNUI SCA

Prin *sistem de comunicații* se înțelege acel sistem care realizează transmiterea mesajelor între două puncte utilizând propagarea undelor electromagnetice.

Structura unui sistem de comunicații, prezentată în introducerea acestui curs, este reluată în figura 3.1.

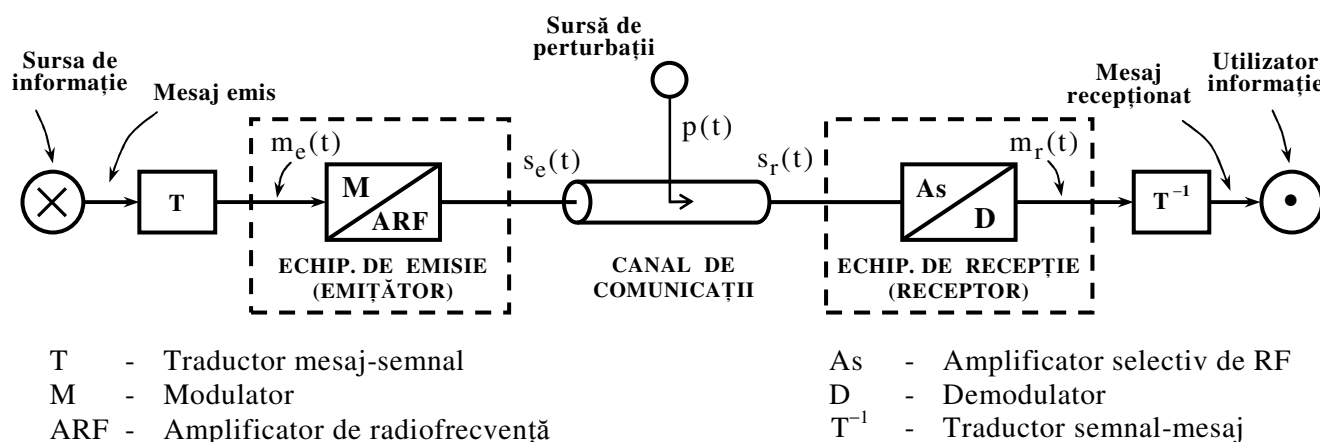


Fig. 3.1 Schema bloc a unui sistem de comunicații.

Sursa de mesaje acționează asupra traductorului T care transformă mesajele în semnale electrice. Aceste semnale modulează în continuare o purtătoare cu scopul de a realiza un bun randament al propagării și recepției. Modulațiile folosite pot fi modulații *analogice liniare* sau *exponențiale*.

Semnalul modulat este amplificat cu ajutorul ARF-ului și transmis prin canalul de comunicație până la punctul de recepție.

Din cele prezentate, rezultă că **rolul emițătorului** constă în a prelucra mesajul primit de la sursa de mesaje pentru a-l aduce la o formă adecvată transmiterii spre punctul de recepție.

La trecerea prin canalul de comunicație, semnalul propagat suferă o serie de transformări, și anume el este:

- atenuat,
- întârziat,
- distorsionat și afectat de perturbări.

Deci, canalul real are o serie de defecte dintre care cele mai importante sunt:

- *deformează* (distorsionează) semnalul de transmis;
- *introduce perturbări* nedorite (zgomote, interferențe, etc.);
- este *scump* și trebuie folosit cât mai economic posibil.

Semnalul captat la punctul de recepție este amplificat de amplificatorul selectiv, demodulat și aplicat traductorului T⁻¹ care face operația inversă celei de la emisie, obținându-se mesajul la recepție care este destinat utilizatorului.

Calitatea sistemului este apreciată prin compararea mesajului transmis cu cel refăcut la recepție folosind diverse criterii de fidelitate.

Prin urmare, **rolul receptorului**, ce constituie punctul final al unui sistem de comunicații,

este de a obține prin prelucrarea semnalului transmis, un mesaj cât mai apropiat de cel oferit de sursa de mesaje.

Pentru a se putea realiza comunicația, adică transferul informației de la o sursă spre un destinatar prin intermediul canalului de transmisiune, este necesar să fie îndeplinite următoarele condiții:

- sursa și destinatarul trebuie **să realizeze un acord** în ceea ce privește reprezentarea simbolică a informației de transmis (de exemplu: asupra tipului de modulație, asupra codului utilizat etc.);
- canalul trebuie să fie **transparent**, adică să joace numai un rol neutru în transmitere, fără a interveni asupra informației de transmis;
- canalul trebuie să fie **adaptat** (atât tehnic cât și economic) la tipul sursei și destinatarului între care se realizează comunicația;
- informația de transmis trebuie pusă sub o **formă compatibilă** cu canalul.

3.2 NOȚIUNI GENERALE

3.2.1 UNDELE ELECTROMAGNETICE

Domeniul de frecvențe al undelor electromagnetice este împărțit în subdomenii care corespund, în principiu, modalităților de propagare și unor tipuri de servicii practice ce sunt foarte diferite (telecomunicații, radar, aplicații industriale, medicină etc.).

Undele electromagnetice cuprind în ordinea creșterii frecvenței:

- undele hertziene,
- undele infraroșii,
- undele optice și UV,
- razele X,
- radiațiile cosmice.

Undele hertziene au domeniul de frecvență,

$$f = 3 \cdot 10^3 \div 3 \cdot 10^{12} \text{ Hz}$$

respectiv, lungimea de undă,

$$\lambda = 10^5 \div 10^{-4} \text{ m}$$

Domeniul de frecvență ocupat de undele hertziene se mai numește *domeniul de radiofrecvență (RF)*. Telecomunicațiile obișnuite folosesc undele hertziene având

$$f = 3 \cdot 10^3 \text{ Hz} \div 4 \cdot 10^{10} \text{ Hz} = 40 \text{ GHz}$$

Încă de la debutul sistemelor de telecomunicații, împărțirea undelor în benzi și game, și atribuirea lor diverselor servicii și utilizatori, face obiectul unor *convenții internaționale* de care se ocupă CCIR și IFRB, două comitete ale UIT.

În 1865, când a început dezvoltarea legăturilor telegrafice transcontinentale și intercontinentale, se ține la Paris prima conferință a Uniunii Telegrafice Internaționale, transformată în 1947 în Uniunea Internațională de Telecomunicații (UIT), aflată sub egida ONU.

UIT are patru organisme permanente:

- *Secretariatul general*;
- *Comitetul Consultativ Internațional de Telegrafie și Telefonie*, CITT, care se ocupă de transmisiunile prin cablu și telegrafice (inclusiv, echipamentele respective);
- *Comitetul Consultativ Internațional de Radiocomunicații*, CCIR, care se ocupă de comunicațiile și echipamentele radio (inclusiv legăturile prin sateliți, radioastronomie etc.);
- *Comitetul Internațional de Înregistrare a Frecvențelor*, IFRB (International Frequency Registration Board), având ca sarcină utilizarea rațională a spectrului de frecvență disponibil și atribuirea benzilor pentru diverse servicii.

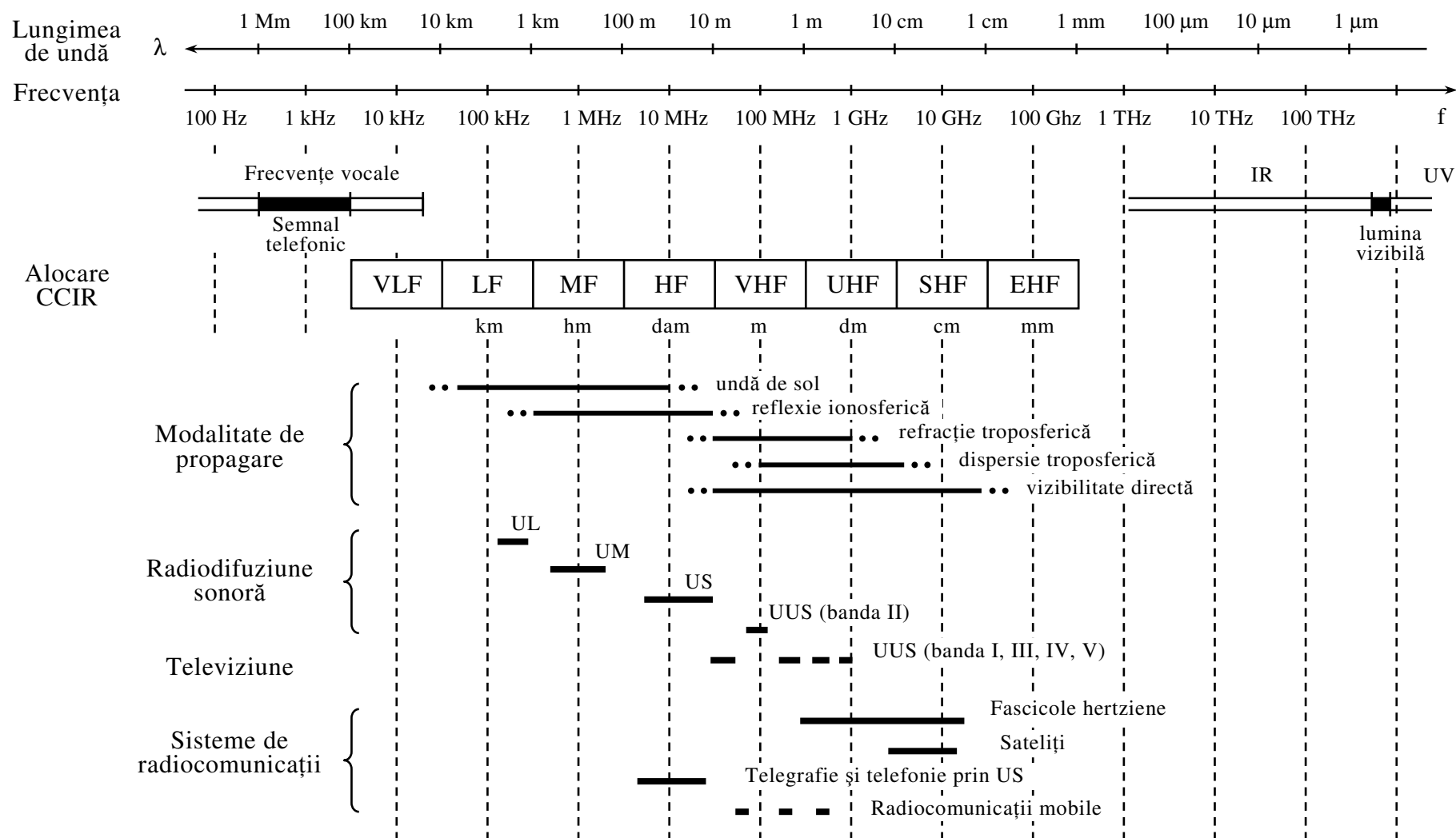


Fig. 3.2 Domeniile de frecvență și destinațiile lor.

Aceste comitete emit avize care sunt supuse ratificării Adunării Generale, care se ține din 4 în 4 ani.

Subdomeniile de frecvență stabilite de IFRB și principalele lor aplicații sunt rezumate în figura 3.2. Pentru undele hertziene, în tabelul 3.1 sunt prezentate în detaliu: numărul benzii, domeniul de frecvență ocupat, denumirea și simbolizările acestor benzi stabilite pe plan internațional.

Tabelul 3.1 Benzile de frecvență aparținând undelor hertziene.

Nr. benzii	Gama de frecvență	Denumirea	Simbolul
4	3 ÷ 30 kHz	unde mirametrice	VLF
5	30 ÷ 300 kHz	unde kilometrice	LF
6	300 ÷ 3000 kHz	unde hectometrice	MF
7	3 ÷ 30 MHz	unde decametric	HF
8	30 ÷ 300 MHz	unde metrice	VHF
9	300 ÷ 3000 MHz	unde decimetric	UHF
10	3 ÷ 30 GHz	unde centimetric	SHF
11	30 ÷ 300 GHz	unde milimetric	EHF
12	300 ÷ 3000 GHz	unde decimilimetric	-

3.2.2 REPARTIZAREA BENZILOR DE FRECVENȚĂ

Se știe că orice purtătoare modulată ocupă un anumit spectru de frecvențe. Pentru a realiza transmiterea simultană a mai multor mesaje cu posibilitatea separării lor la recepție, sistemele de comunicație au la bază *principiul divizării în frecvență*, adică, pentru fiecare tip de transmisiune radio sau serviciu, pentru fiecare emisiune sau stație de emisie etc., se alocă o anumită bandă de frecvență (fig. 3.3).

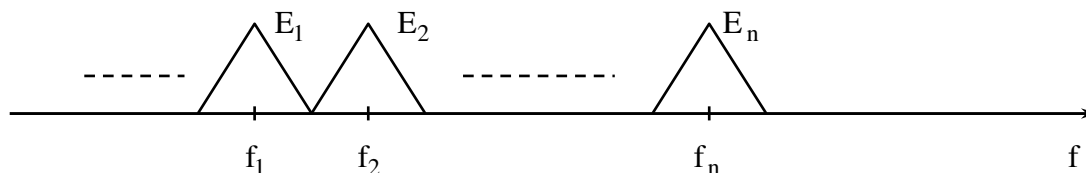


Fig. 3.3 Principiul divizării în frecvență.

Alocarea și utilizarea frecvențelor se face de asemenea în conformitate cu regulamentele și acordurile internaționale, stabilite de CCIR și IFRB.

Din punct de vedere al atribuirii benzilor de frecvență, globul terestru este împărțit în trei regiuni și se utilizează unele delimitări zonale. Unele dintre aceste zone sunt formate din teritorii aparținând la mai multe regiuni. Europa face parte din Regiunea 1.

Exemple de repartizare a unor domenii de frecvență pentru Regiunea 1:

Domeniul de frecvență	Serviciul
130-150	- Mobil maritim
	- Fix
150-160	- Mobil maritim
	- Radiodifuziune (prin acord particular)
160-255	- Radiodifuziune
255-285	- Radiodifuziune
	- Mobil maritim
	- Radionavigație aeronautică

• Domeniul de frecvență 285÷525 kHz

285-315	- Radionavigație maritimă (Radiofaruri)
315-405	- Radionavigație aeronautică
405-415	- Radionavigație aeronautică
415-490	- Radionavigație aeronautică
490-510	- Radionavigație maritimă
510-525	- Mobil maritim
	- Mobil (primejdie și apel)
	- Mobil maritim
	- Radionavigație aeronautică

Aceste repartizări se găsesc prezentate în normele și standardele CCIR.

În domeniul radiocomunicațiilor (comunicații care utilizează propagarea u.e.m. în spațiul liber), serviciile amintite au următoarele semnificații:

Serviciul fix este serviciul de RC care realizează legătura între puncte fixe bine determinate (Exemplu: serviciul fix aeronautic transmite informații referitoare la navigația aeriană).

Serviciul mobil este serviciul de RC care realizează legături între stații fixe și stații mobile, sau între stații mobile.

Serviciul de radiodifuziune (RD) este serviciul de RC în care emisiunile sonore sunt efectuate în scopul recepționării lor directe de către publicul larg. Sistemele care asigură serviciul de RD trebuie să difuzeze știri și programe culturale sonore pentru publicul larg în condițiile unei transmisiuni de înaltă calitate.

Deoarece emisiunile de RD prezintă o importanță deosebită în cadrul comunicațiilor radio, în continuare sunt prezentate gamele de frecvență utilizate de acestea:

Gama de frecvență	Denumirea gamei	Tipul transmisiunii
150 ÷ 285 kHz	UL	MA
525 ÷ 1605 kHz	UM	
3,20 ÷ 3,40 MHz	US	
5,95 ÷ 17,90 MHz		
21,45 ÷ 26,10 MHz		
65 ÷ 73 MHz	UUS (norma EST)	MF
41 ÷ 68 MHz	UUS (norma VEST)	
87,5 ÷ 108 MHz		

Observație

Domeniile neocupate atât între game cât și în interiorul gamei de US au alte destinații: legături comerciale, agenții presă, SOS etc.

3.2.3 CARACTERISTICILE TEHNICE ALE SC

Principalele caracteristici ale stațiilor sau sistemelor de comunicații sunt prezentate pe scurt în continuare.

1) - *Frecvența alocată stației* este frecvența care coincide cu centrul benzii de frecvență în care stația este autorizată să lucreze.

2) - *Frecvența de referință* este frecvența care are o poziție bine determinată față de frecvența alocată stației. Este o frecvență reper în banda impusă stației.

3) - *Frecvența emisiunii* este frecvența care coincide cu centrul benzii de frecvență ocupată de emisiune și ar trebui să fie egală cu frecvența alocată stației.

4) - *Frecvența caracteristică* este frecvența care poate fi ușor identificată și măsurată în banda ocupată de emisiune și ar trebui să fie egală cu frecvența de referință.

Frecvențele 1 și 2 sunt *frecvențe teoretice*, frecvențele 3 și 4 sunt *frecvențe practice*.

5) - *Toleranța de frecvență* este ecartul de frecvență maxim admisibil între frecvența alocată unei stații și frecvența emisiunii aceleiași stații, sau între frecvența de referință și frecvența caracteristică.

Toleranța se exprimă în *Hz* sau în *ppm* din frecvența alocată ($10^{-6}f_0$) și două exemple sunt date în tabelul 3.2.

Tabelul 3.2 Valoarea toleranței de frecvență pentru diverse SC.

Tipul sistemului de comunicație	Toleranța
stații de radiofonie din banda 10 kHz÷29,7 MHz	10÷20 Hz
radiorelee din banda 470 MHz÷10,5 GHz	300 ppm

6) - *Banda de frecvență alocată stației* este banda de frecvență în care stația este autorizată să lucreze. Lărgimea ei este egală cu lărgimea de bandă necesară, mărită cu dublul valorii absolute a toleranței de frecvență.

7) - *Banda de frecvență ocupată de emisiune* este banda de frecvență determinată astfel încât în afara ei, sub frecvența limită inferioară și peste frecvența limită superioară, să fie radiate puteri medii egale fiecare cu 0,5% din puterea medie totală radiată.

8) - *Banda de frecvență necesară unei emisiuni* este banda care cuprinde întregul spectru de frecvență rezultat din modulație sau numai partea suficientă pentru a realiza transmisiunea.

9) - *Radiația neesențială* este radiația pe una sau mai multe frecvențe situate în afara benzii necesare și al cărei nivel poate fi redus fără a afecta transmisiunea informației corespunzătoare (exemple: radiațiile pe armonici, radiațiile parazite, produsele de intermodulație etc.).

Radiațiile aflate în apropierea imediată a limitelor benzii necesare și care sunt rezultatul procesului de modulație utilă pentru transmiterea informației nu intră în categoria radiațiilor neesențiale.

10) - *Bruiatul* constă în deteriorarea calității unui serviciu de RC, în stânjenirea sau întreruperea repetată a acestui serviciu din cauza unei radiații oarecare.]

11) - *Puterea de ieșire a radioemițătorului* - reprezintă puterea medie furnizată feeder-ului de antenă. După condițiile de mediere se disting:

- puterea de vârf - puterea medie pe o perioadă de RF la vârf de modulație;
- puterea medie - estimată pe un timp lung în raport cu cea mai joasă frecvență modulatorie;
- puterea purtătoarei - puterea medie pe perioadă de RF în absența modulației.

3.3 SCHEME BLOC DE EMIȚĂTOARE

3.3.1 ROLUL EMIȚĂTORULUI

Din analiza structurii unui SC rezultă că rolul unui emițător constă în a prelucra mesajul primit de la sursa de mesaje, aducându-l la o formă adecvată transmiterii spre punctele de recepție cu ajutorul undelor electromagnetice.

Principalele funcții ale unui emițător sunt:

- generarea semnalului purtător;
- prelucrarea semnalului generat pentru a fi adus la parametrii necesari;
- prelucrarea finală a semnalului modulator în vederea modulației;
- realizarea modulației;
- prelucrarea semnalului modulat pentru a fi adus la nivelul necesar excitării antenei de emisie sau liniei de transmisiune;
- transformarea semnalului electric modulat în unde electromagnetice cu ajutorul antenei de emisie A_E sau altor surse (de exemplu, optice).

Pentru a realiza aceste funcțiuni schema de principiu a unui emițător trebuie să aibă structura din figura 3.4.

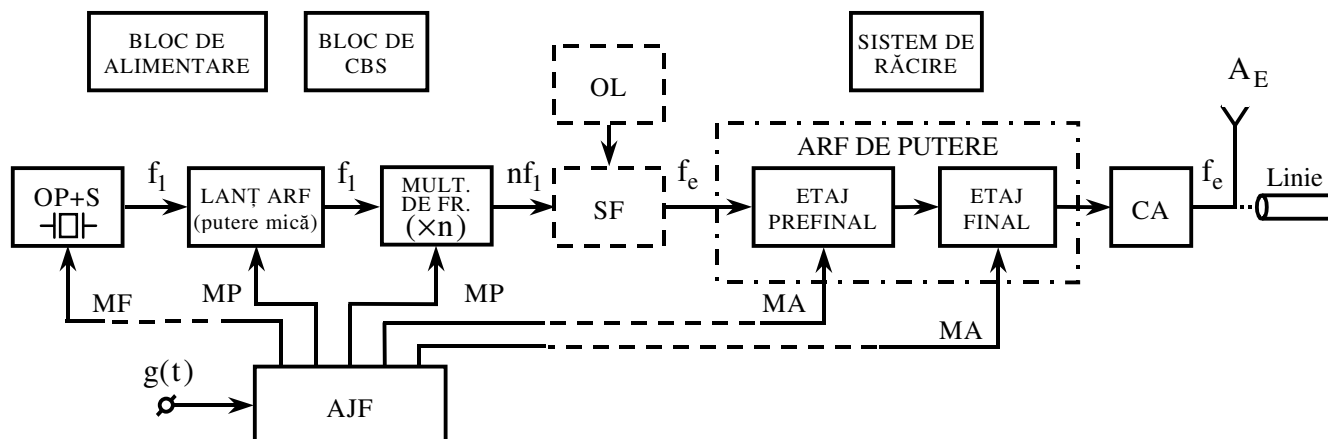


Fig. 3.4 Schema bloc a unui emițător.

Oscilatorul pilot împreună cu separatorul (OP+S), au rolul de a furniza oscilații de frecvență foarte stabilă într-o gamă impusă. În prezent se folosesc tot mai mult sintetizoare care au la bază tot oscilatoare cu frecvență stabilizată (în majoritatea cazurilor cu cuarț).

Lanțul de ARF de putere mică, multiplicatorul de frecvență și eventual schimbătorul de frecvență împreună cu oscilatorul local (SF și OL), prelucrează semnalul astfel încât să poată comanda etajul final.

Etajul ARF de putere furnizează semnalului de transmis energia necesară excitării sistemului radiant prin intermediul circuitului de adaptare (CA), iar etajul AJF prelucrează semnalul util încât să poată modula semnalul purtător de RF.

Modulația se poate face la nivele diverse având în vedere tipul emisiunii.

Emițătoarele mai dispun în general și de sisteme de comandă, de blocare și semnalizare, iar cele de puteri medii și mari necesită și de sisteme de răcire.

Scheme mai complete se vor da în cazuri particulare ținând seama de tipul concret al emisiunii.

3.3.2 CLASIFICAREA EMIȚĂTOARELOR

Emițătoarele sunt în prezent de o mare diversitate și se pot clasifica după mai multe criterii:

• După *puterea de ieșire*, emițătoarele sunt:

- de foarte mică putere, $P_E < 3 \text{ W}$;
- de putere mică, $P_E = 3 \div 100 \text{ W}$;
- de putere medie, $P_E = 0,1 \div 3 \text{ kW}$;
- de putere mare, $P_E = 3 \div 100 \text{ kW}$;
- de foarte mare putere, $P_E > 100 \text{ kW}$.

• După *gama frecvenței de lucru* (corespunzătoare benzilor pentru unde hertziene), emițătoarele sunt:

- de UL (LF) când $\lambda = 10 \div 1 \text{ km}$;
- de UM (MF) când $\lambda = 1000 \div 100 \text{ m}$;
- de US (HF) când $\lambda = 100 \div 10 \text{ m}$;
- de unde metrice (VHF) când $\lambda = 10 \div 1 \text{ m}$;
- de unde decimetrice ș.a.m.d.

- După *tipul semnalului de modulație*, emițătoarele sunt:
 - telegrafice,
 - telefonice,
 - de RD sonoră,
 - de TV etc.
- După *destinație*, emițătoarele se pot clasifica:
 - de RD,
 - de radiolegături (telegrafice, telefonice etc.),
 - de radionavigație (radiobalize, radioforuri).
- După *modul de exploatare*, se disting emițătoare:
 - fixe,
 - portabile,
 - mobile maritime,
 - pentru aeronave,
 - mobile terestre etc.

3.3.3 EMIȚĂTOARE MA

a) - Emițătoare MA cu purtătoare

Schema bloc a unui astfel de emițător este reprezentată în figura 3.5.

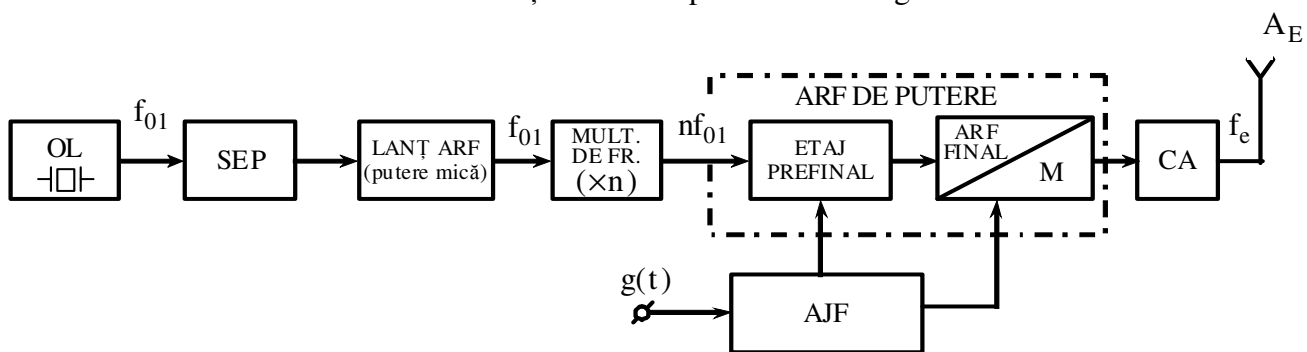


Fig. 3.5 Schema emițătorului MA cu purtătoare.

Oscilatorul local (OL) generează un semnal sinusoidal pe frecvența $f_{01} = f_e/n$. Nu se admite să funcționeze direct pe f_0 deoarece apare pericolul reacției globale și al oscilațiilor parazite care pot duce la distrugerea emițătorului.

Pentru a asigura stabilitatea de frecvență impusă (normele sunt foarte severe) se folosesc oscilatoare controlate de cristale de cuarț sau sintetizoare de frecvență care au la bază tot un oscilator cu cuarț.

Separatorul (SEP) are rolul de a oferi condiții optime de lucru oscilatorului, adică îi asigură o impedanță de sarcină mare și constantă.

Amplificatoarele pe f_{01} nu ridică probleme deosebite de proiectare și realizare fiind etaje ARF care funcționează pe frecvență fixă cu nivel mic la intrare.

Multiplicatorul de frecvență cu n este un etaj neliniar, multiplicarea putând fi realizată prin mai multe modalități. Cea mai utilizată metodă este folosirea unui amplificator selectiv lucrând la semnal mare. De exemplu, curentul de colector al unui amplificator cu tranzistor în regim de semnal mare este puternic distorsionat, bogat în armonici (semnalul sinusoidal este transformat în impulsuri). La ieșire etajului, armonica $nf_{01} = f_e$ este selectată cu un FTB axat pe frecvența corespunzătoare.

Amplificarea de putere se realizează în două etaje: ARF prefinal și final.

Pentru a asigura impedanța de sarcină optimă etajului final se folosește un *circuit de adaptare* (CA) antena de transmisiune.

Modulația se realizează la nivel mare de putere. În cazul în care modulația ar fi realizată la nivel mic, atunci semnalul modulat trebuie prelucrat în etajele următoare fără a altera amplitudinea, deci etajele de putere ar trebui să lucreze în clasă A, sau B în contratimp, dar în aceste situații au randamente scăzute, neconvenabile. Pentru randament bun trebuie folosite *amplificatoare clasă C*, dar acestea distorsionează anvelopa semnalelor modulate.

De aceea, modulația se realizează în cazul emițătoarelor de puteri mari în etajul final sau cel mult prefinal.

Cel mai convenabil ar fi din punct de vedere al distorsiunilor, modulația realizată în circuitul de ieșire al amplificatorului final (la emițătorii de puteri mari având tuburi electronice în etajele finale, modulația se face în circuitul anodic), dar apare în schimb alt dezavantaj ce poate fi pus în evidență dacă se analizează puterea semnalului MA. Să luăm cazul modulației unei purtătoare cu semnal sinusoidal, pentru care se poate scrie,

$$P_{MA} = P_0 \left(1 + \frac{m^2}{2} \right)$$

unde P_0 este puterea purtătoarei nemodulate (când semnalul modulator este nul), obținută la ieșirea etajului reprezentat în figura 3.6, adică alimentarea este dată numai de sursa de alimentare.

Deci, P_0 este livrată de sursa anodică E_A .

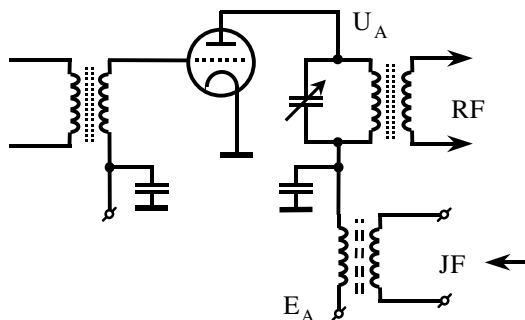


Fig. 3.6 Amplificator final cu modulația pe circuitul de ieșire.

În procesul de modulație, tensiune anodică U_A variază în ritmul semnalului modulator și puterea semnalului crește, $P_{MA} > P_0$. Deoarece E_A rămâne constantă, rezultă că excedentul de putere provine de la AJF și nu de la sursa de alimentare. Deci puterea furnizată de acesta trebuie să fie

$$P_{JF} = \frac{m^2 P_0}{2} \Rightarrow P_{JF \max} = \frac{P_0}{2}$$

Această relație arată că pentru un etaj final de 800 kW, puterea ce trebuie asigurată de etajul de JF este de 400 kW, adică o valoare foarte mare.

Pentru a reduce acest dezavantaj se realizează compromisul (specific practicii ingineresti) între distorsiunile acceptate pentru anvelopă și puterea etajului final de JF, realizându-se modulația în circuitul de intrare al etajului final de RF - în exemplul dat, modulația de grilă sau modulația combinată la ieșire și intrare (adică modulația anod-grilă).

Cel mai mare emițător MA cu purtătoare din țară este emițătorul de RD pe UL de la Bod, având parametrii următori:

$$f_c = 155 \text{ kHz}$$

$$\epsilon < 10^{-8}$$

$$m_{\text{mediu}} = 30 \%$$

$$P_{\text{medie}} = 1,2 \text{ MW} \quad (2 \times 600 \text{ kW})$$

$$f_m \in (50 \div 4500) \text{ Hz}$$

$$B_{MA} = 9 \text{ kHz}$$

$$\delta_{\text{mod}} < 1\% \text{ (în procesul de modulație)}$$

$$P_{\text{rad. neesențiale}} < 40 \text{ mW.}$$

b) - Emițătoare MA-PS

Schema bloc a acestui emițător este dată în figura 3.7.

Specific este de această dată realizarea modulației la nivele mici de putere ale purtătoarei, deoarece la nivele mari suprimarea purtătoarei este practic imposibilă. Dar în acest caz, amplificatoarele de putere care trebuie să amplifice semnalele modulate, trebuie să lucreze în regim linear - deci au randament mic și ca urmare aceste emițătoare sunt folosite cel mai mult pentru comunicațiile de puteri mici.

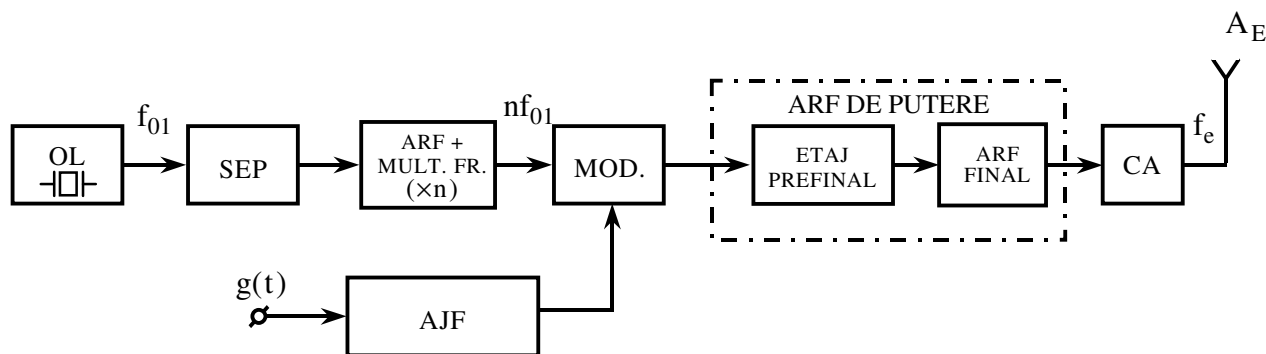


Fig. 3.7 Schema bloc a emițătorului MA-PS.

c) - Emițătoare MA-BLU

După cum se știe de la studiul semnalelor MA-BLU, cea mai folosită metodă de producere a acestor semnale este metoda filtrării.

Schema bloc a emițătorului folosind această metodă este prezentată în figura 3.8.

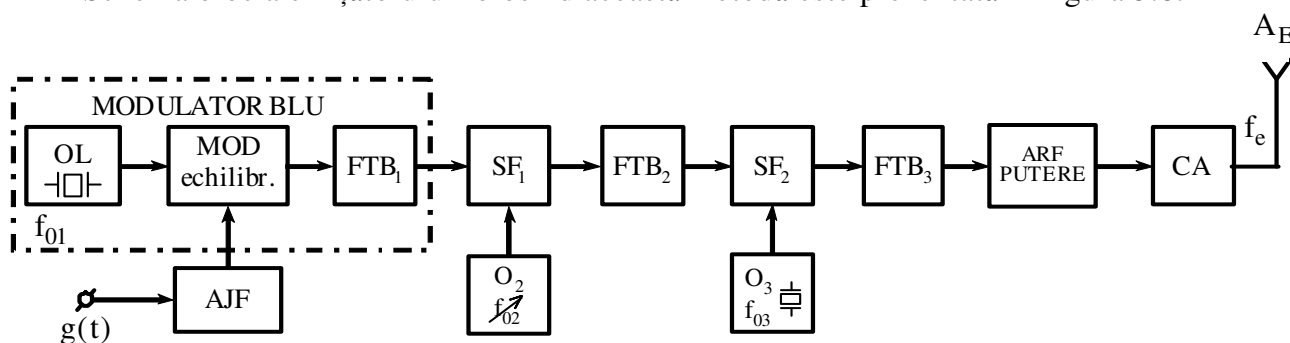


Fig. 3.8 Schema bloc a emițătorului MA-BLU.

Ca și în cazul anterior, modulația se realizează la nivel mic, deoarece modulatorul echilibrat realizează semnale MA-PS.

Filtrele folosite pot fi fie ceramice, fie realizate cu componente discrete.

Pentru a aduce semnalul modulat în banda de frecvență dorită se folosește principiul conversiilor succesive cunoscut de la TAD.

Frecvența f_{02} se face reglabilă pentru a putea ajusta frecvența emițătorului la valoarea dorită, dacă este cazul.

3.3.4 EMITĂTOARE MF

Emițătoarele MF pot folosi:

- metoda directă (adică modularea directă în frecvență a oscilatorului) sau
- metoda indirectă (adică modularea în fază cu semnalul modulator integrat).

a) - Emițător MF – folosind metoda directă

Schema bloc este prezentată în figura 3.9, unde rolul etajelor este în mare cunoscut. Se reamintește că prin multiplicarea frecvenței purtătoare se realizează o multiplicare și a deviației de frecvență. De acest efect trebuie ținut cont atunci când se dimensionează modulatorul.

Limitatorul, ca și la demodulatoarele MF, are rolul de a elimina variațiile nedorite ale amplitudinii, deoarece atât modulația cât și multiplicarea nu se pot realiza în mod ideal.

Amplificatorul de putere poate fi realizat în clasa C, deoarece semnalele MF au amplitudini constante. Deci, acest amplificator funcționează cu randament bun.

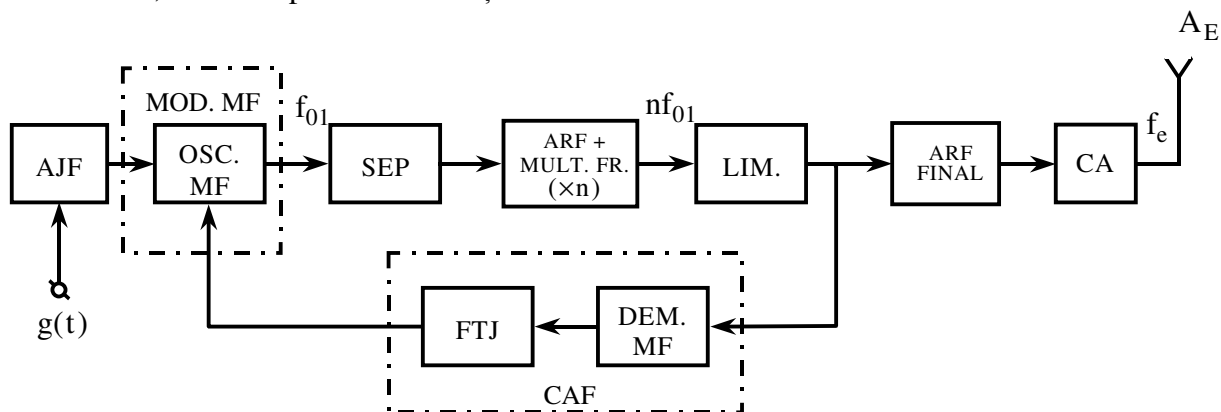


Fig. 3.9 Schema bloc a emițătorului MF folosind metoda directă.

Controlul automat al frecvenței (CAF)

Din cauză că semnalele MF se obțin prin acționare directă asupra oscilatorului, stabilitatea acestuia scade. Pentru ameliorare se introduce sistemul CAF. Sesizarea variațiilor frecvenței purtătoare se face printr-o demodulare MF și o filtrare TJ cu frecvență de tăiere foarte coborâtă (câțiva Hz). Rezultă astfel o tensiune proporțională cu variațiile de frecvență lente ale purtătoarei ce este folosită pentru comanda modificării în sens invers a frecvenței oscilatorului fie prin intermediul diodei varicap modulatorie, fie printr-o diodă varicap separată.

b) - Emițător MF – folosind metoda indirectă

Schema bloc a acestui emițător este reprezentată în figura 3.10.

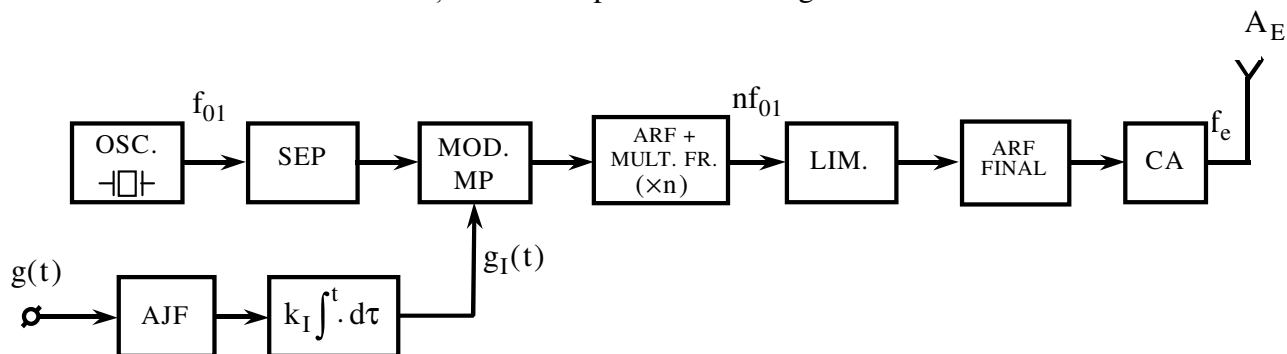


Fig. 3.10 Schema bloc a emițătorului MF folosind metoda indirectă.

În acest caz oscilatorul poate lucra pe frecvență fixă, deci poate fi realizat cu cuarț asigurând în acest fel stabilitatea impusă emițătorului. În consecință nu mai este necesar sistemul CAF. Modularea în fază a purtătoarei, cu semnalul modulator integrat, permite obținerea unui semnal MF la ieșire. Într-adevăr,

$$\begin{aligned}
 s_{MP}(t) &= U(t) \cos[\omega_{01}t + k_{MP}g_I(t)] = U(t) \cos\left[\omega_{01}t + k_{MP}k_I \int^t U_m f(\tau) d\tau\right] = \\
 & \quad [cu g_I(t)] \\
 &= U(t) \cos\left[\omega_{01}t + k_{MP}k_I U_m \int^t f(\tau) d\tau\right] = U(t) \cos\left[\omega_{01}t + \Delta\omega_1 \int^t f(\tau) d\tau\right] = s_{MF}(t) \\
 & \quad [cu g(t)]
 \end{aligned}$$

unde k_{MP} este constanta modulatorului de fază, iar amplitudinea $U(t)$ s-a luat variabilă deoarece procesul de modulare nu este ideal.

După multiplicarea în frecvență cu n și realizarea limitării se obține,

$$s_{eMF}(t) = U_0 \cos \left[\omega_0 t + \Delta\omega \int^t f(\tau) d\tau \right], \quad \omega_0 = n\omega_{01}$$

$$\Delta\omega = n\Delta\omega_1$$

Exemplu

Pentru $f_0 = 75 \text{ MHz}$, $f_{01} = 3 \text{ MHz}$, $\Delta f_M = 50 \text{ kHz}$, $f_{mM} = 10 \text{ kHz}$,

se determină:

$$\beta_{tr} = \frac{\Delta f_M}{f_{mM}} = 5 \Rightarrow \beta_{tr1} = \frac{\beta_{tr}}{n} = \frac{\beta_{tr} f_{01}}{f_0} = 0,2$$

$$\Delta\phi_1 = \beta_{tr1} = 0,2 \text{ radiani}$$

Deci, modulația de fază trebuie să se realizeze cu o deviație maximă de $\Delta\phi_1 = 0,2$ radiani.

3.4 SCHEME BLOC DE RADIORECEPTOARE

3.4.1 FUNCȚIUNILE ȘI CLASIFICAREA RADIORECEPTOARELOR

Un radioreceptor (RR) trebuie să îndeplinească următoarele *funcțiuni*:

- să selecteze semnalul canalului dorit din multitudinea de semnale existentă în punctul de recepție;
- să amplifice semnalul selectat până la un nivel la care se poate realiza demodularea în condiții bune;
- să demoduleze semnalul selectat în scopul extragerii semnalului electric corespunzător mesajului conținut;
- să amplifice semnalul demodulat până la nivelul necesar prelucrării ulterioare în vederea obținerii mesajului.

Aceste funcțiuni nu sunt realizate în mod ideal de RR-le reale care introduc distorsiuni funcție de care se apreciază calitatea și clasa RR-lui respectiv.

Clasificarea RR-lor se poate face după foarte multe criterii (după destinație, mod de lucru, tipul modulației, gama de unde etc.)

În cele ce urmează va fi prezentată numai clasificarea după modul de prelucrare al semnalului RF, după care radioreceptoarele sunt:

- cu simplă detecție;
- cu amplificare directă;
- cu reacție;
- cu superreacție;
- cu o schimbare de frecvență:
 - infraheterodină,
 - sincroheterodină,
 - superheterodină;
- cu mai multe schimbări de frecvență.

Cele utilizate în prezent aproape în exclusivitate sunt cele cu SF. Celelalte au doar importanță istorică sau mai sunt folosite de amatori (cazul RR cu reacție).

3.4.2 NECESITATEA ȘI MODUL DE REALIZARE AL SF

În general, majoritatea echipamentelor de radiorecepție sunt concepute și realizate pentru a recepționa mai multe canale de frecvențe purtătoare diferite. Pentru a îmbunătății principalii parametrii caracteristici ai acestor echipamente (selectivitatea, sensibilitatea, fidelitatea), a fost necesară introducerea SF în procesul de recepție.

Realizarea SF se face cu schema bloc din figura 3.11. Semnalul recepționat preselecat, $u_s(t)$, care poate fi MA sau MF, înainte de a fi demodulat, se aplică la una din intrările SF care este un etaj cu element activ neliniar.

Rolul SF este de a transla spectrul semnalului $u_s(t)$ axat în jurul frecvenței recepționate, f_s , în jurul unei frecvențe fixe f_i - numită **frecvență intermediară**.

Pentru realizarea acestei operații, la cealaltă intrare a SF se aplică un semnal sinusoidal, generat cu ajutorul unui OL,

$$u_h(t) = U_h \cos \omega_h t$$

Deoarece etajul SF este un circuit neliniar, semnalul de la ieșirea sa va avea mai multe componente de RF modulate, ale căror frecvențe purtătoare sunt combinații ale frecvențelor f_h și f_s ,

$$f = mf_h + nf_s, \quad m, n \in \mathbf{Z}$$

Dintre aceste componente, cea utilă pentru a face SF cu eficiență ridicată este componenta de frecvență egală cu diferența dintre f_h și f_s :

- dacă $f_h > f_s$: $f_i = f_h - f_s$ (adică pentru $m = 1, n = -1$)
- dacă $f_h < f_s$: $f_i = f_s - f_h$ (adică pentru $m = -1, n = 1$)

Pentru a se obține f_i de valoare constantă, atunci când f_s ia valori diferite, corespunzătoare stațiilor recepționate, este necesar ca f_h să fie variabilă:

$$f_i = f_h - f_s \quad \text{sau} \quad f_i = f_s - f_h$$

Cum pentru un RR, frecvența f_i este fixată, prin varierea frecvenței f_h se determină frecvența f_s a stației de recepționat (adică stația recepționată).

Selectarea componentei utile de frecvență f_i din multitudinea de componente obținute la ieșirea SF se face cu ajutorul unui amplificator selectiv cu frecvența centrală f_i - numit *amplificator de frecvență intermediară* (AFI).

Dacă la intrarea AFI-ului din cauze diverse apar și alte componente pe frecvențe aflate în jurul frecvenței f_i , acestea pătrund și ele în AFI dând naștere la interferențe, adică perturbă recepția.

Schimbarea de frecvență poate fi *aditivă* sau *multiplicativă*:

- aditivă: $u_x(t) = a_0 + a_1 u_i(t) + a_2 u_i^2(t) + \dots$, $u_i(t) = u_s(t) + u_h(t)$
- multiplicativă: $u_x(t) = k u_s(t) u_h(t)$

Prin SF modulația semnalului $u_s(t)$ se conservă. Să arătăm acest lucru considerând SF de tip multiplicativ. Deoarece semnalele de la intrările SF sunt:

$$u_s(t) = U(t) \cos[\omega_s t + \Phi(t)]$$

$$u_h(t) = U_h \cos \omega_h t$$

atunci la ieșire se obține:

$$u_x(t) = k u_s(t) u_h(t) = k \frac{U(t) U_h}{2} \left\{ \cos[(\omega_h + \omega_s)t + \Phi(t)] + \cos[\underbrace{(\pm \omega_h \mp \omega_s)}_{\omega_i} t \mp \Phi(t)] \right\}$$

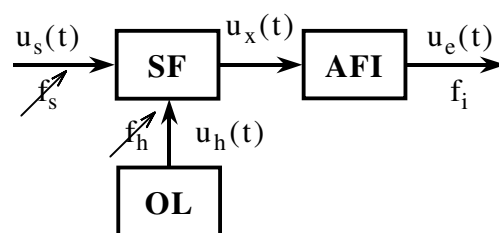


Fig. 3.11 Schimbarea de frecvență.

Dacă:

$$\omega_h > \omega_s \Rightarrow \omega_h - \omega_s = \omega_i$$

$$\omega_h < \omega_s \Rightarrow \omega_s - \omega_h = \omega_i$$

După AFI rezultă

$$u_e(t) = K U(t) \cos[\omega_i t \pm \Phi(t)]$$

Pentru MA:

$$\left. \begin{array}{l} U(t) = U_s[1 + mf(t)] \\ \Phi(t) = \varphi_s = ct \end{array} \right\} \Rightarrow u_e(t) = U_e[1 + mf(t)] \cos[\omega_i t + \varphi_s]$$

Pentru MF:

$$\left. \begin{array}{l} U(t) = U_s = ct \\ \Phi(t) = \Delta\omega \int^t f(\theta) d\theta \end{array} \right\} \Rightarrow u_e(t) = U_e \cos\left[\omega_i t + \Delta\omega \int^t f(\theta) d\theta\right]$$

Deci prin operația de SF - modulația s-a conservat, modificându-se numai frecvența purtătoare.

Dacă la intrarea SF există mai multe semnale emise de stații diferite având spectrele repartizate ca în figura 3.12 a, pentru o anumită frecvență f_h reglată la receptor, spectrele componentelor obținute la ieșirea SF sunt cele desenate în figura 3.12 b. Dintre aceste spectre, AFI-ul va selecta pe acela axat în jurul frecvenței f_i , suprimându-le pe toate celelalte. În exemplul considerat, acest spectru conține informația stației E_1 , aceasta fiind de fapt stația recepționată.

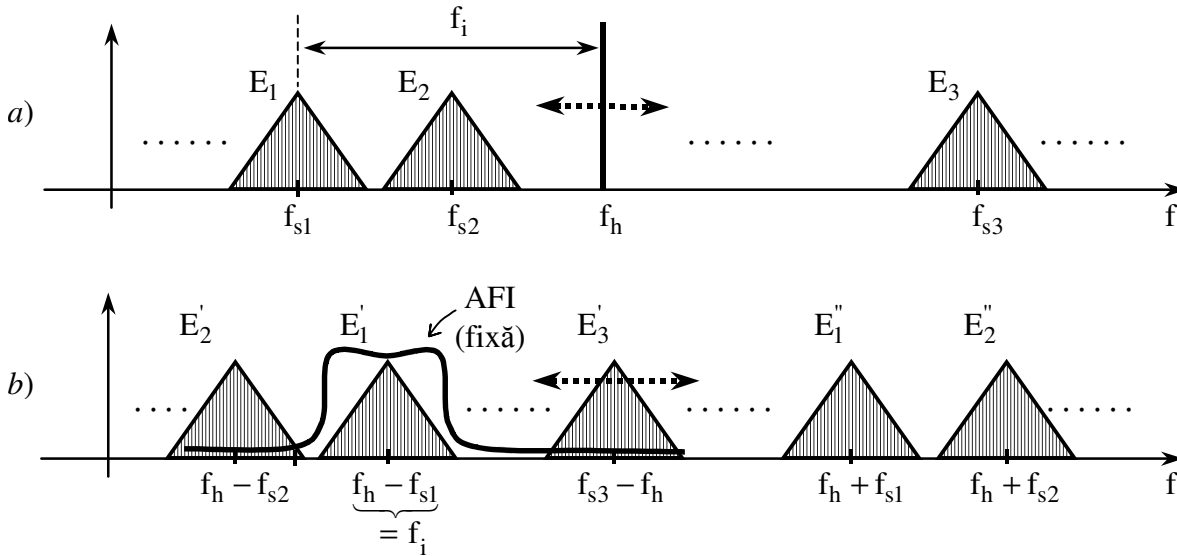


Fig. 3.12 Modul de selectare al semnalului util.

Dacă se dorește recepționarea altei stații, se variază f_h până când diferența $f_h - f_s$ sau $f_s - f_h$ devine egală f_i și spectrul noii stații se găsește în banda AFI-ului.

Îmbunătățirea performanțelor prin SF se datorează în esență AFI-ului. Acest amplificator, lucrând pe frecvență fixă, poate fi realizat:

- cu amplificare suficient de mare fără a deveni instabil și astfel se îmbunătățește sensibilitatea;
- cu o caracteristică de selectivitate apropiată de cea ideală și în acest fel se îmbunătățește selectivitatea și fidelitatea.

Prin urmare, AFI-ul are rolul principal în realizarea performanțelor de bază ale RR cu SF.

În plus, prin SF, sensibilitatea se îmbunătățește și datorită realizării unei amplificări mărite asupra semnalului până la demodulare fără pericolul intrării în oscilație, deoarece se realizează pe lanțuri de frecvențe diferite: pe f_s în ARF și pe f_i în AFI.

3.4.3 RADIORECEPTOARE CU O SCHIMBARE DE FRECVENȚĂ

După cum se alege frecvența f_h în raport cu frecvența f_s , se pot realiza trei tipuri de sisteme de recepție cu 1 – SF:

- RR - superheterodină (superdină), dacă $f_h > f_s \Rightarrow f_i = f_h - f_s$;
- RR - infraheterodină (infradină), dacă $f_h < f_s \Rightarrow f_i = f_s - f_h$;
- RR - sincroheterodină (sincrodină), dacă $f_h = f_s \Rightarrow f_i = 0$.

a) - RR-rul de tip superheterodină (RR-SH)

Datorită avantajelor sale, RR-SH este astăzi utilizat în mod curent în practică. Schema bloc este prezentată în figura 3.13.

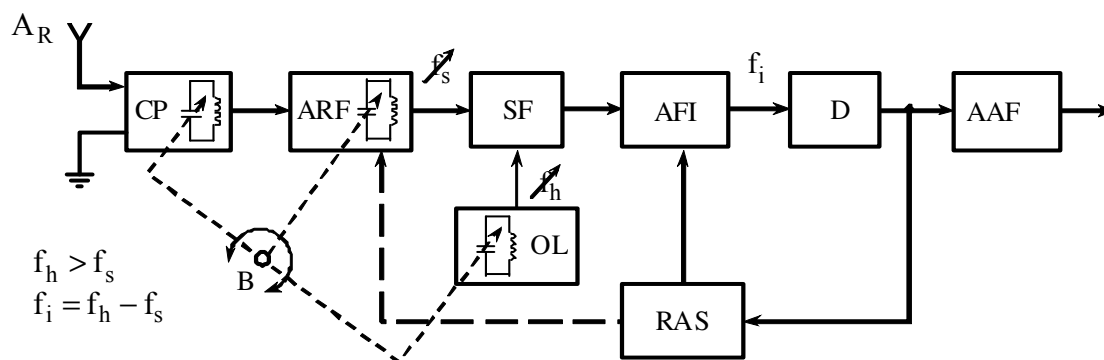


Fig. 3.13 Schema bloc a RR-SH.

Semnalele captate de antenă sunt aplicate CP și ARF, care fac o preselectie a semnalului util și o amplificare a sa pe frecvența de emisie, f_s . Cu ajutorul etajelor SF, OL și AFI se realizează schimbarea de frecvență a semnalului de recepționat selectat de la $f_s \rightarrow f_i$, și se amplifică acest semnal în vederea demodulării.

La acest RR,

$$f_i = f_h - f_s,$$

adică frecvența f_h trebuie să fie mai mare decât frecvența pe care sunt acordate CP și circuitele ARF-ului, valoarea diferenței fiind frecvența f_i .

De exemplu, pentru a recepționa stațiile din gama UM, frecvența de acord pentru CP și ARF trebuie să fie variată în domeniul,

$$f_{ac} = 525 \div 1605 \text{ kHz}$$

Dacă $f_i = 455 \text{ kHz}$, rezultă că f_h trebuie să fie variabilă corespunzător în domeniul,

$$f_h = 980 \div 2060 \text{ kHz}$$

Pentru ca f_i să fie constantă, rezultă că la modificarea lui f_s trebuie modificat și f_h . Această operație se realizează practic folosind blocuri de C_v având pe același ax rotoarele din CP, ARF și OL. Printr-un singur buton (B) se rotesc simultan toate rotoarele, realizându-se acordul RR-ului printr-o manevrare simplă și comodă - numită MONOACORD.

După demodulare, semnalul JF este amplificat până la nivelul necesar utilizatorului. Asemănător ca la RR cu AD, pentru ameliorarea performanțelor se utilizează sistemul de RAS, numai că la RR cu SF el poate acționa și asupra AFI. În general, se folosesc variante în care RAS-ul acționează fie numai asupra AFI-ului, fie simultan asupra AFI-ului și ARF-ului.

Avantajele RR-SH

- RR-SH fiind un RR cu SF, avantajele sale sunt cele specifice acestui tip de RR și anume, valoare foarte bună pentru parametrii de bază:
 - *sensibilitatea* este foarte bună, deoarece până la detector se poate realiza o amplificare suficient de mare, operația efectuându-se pe lanțuri de frecvențe diferite, f_s și f_i , iar amplificarea AFI poate fi ea însăși mare deoarece este pe frecvență fixă și relativ mică.
 - *selectivitatea* față de canalele adiacente este foarte bună pentru că AFI care funcționează la frecvență fixă se poate realiza cu o caracteristică apropiată de cea ideală.
 - *fidelitatea* este foarte bună pentru că în bandă, caracteristica AFI este aproape uniformă, iar demodularea se face la nivel mare, adică cu distorsiuni mici.
- Alt avantaj esențial este că acordul se face simplu cu ajutorul *monobutonului*;
- Perturbațiile de interferență sunt mult reduse față de RR-IH și nu necesită operația de sincronizare a OL ca la RR-SH. Acest avantaj a determinat utilizarea aproape în exclusivitate a acestui tip de receptor față de celelalte două tipuri, în comunicațiilor practice.

Dezavantajele RR-SH

Principalele dezavantaje sunt cele specifice RR cu SF și anume:

- complexitatea mai mare a schemei;
- instabilitatea posibilă a frecvenței OL;
- creșterea pericolului de intermodulație din cauza elementului neliniar al SF;
- un factor de zgomot mai ridicat datorită prezenței la intrare a unui etaj zgomotos prin natura sa cum este SF;

- posibilitatea apariției unor perturbații de interferență specifice schimbării de frecvență.

Cea mai mare parte dintre aceste dezavantaje sunt mult reduse printr-o proiectare și printr-o construcție îngrijite.

Problema principală care rămâne este *reducerea interferențelor*. Ele apar ori de câte ori o combinație oarecare între semnalele și armonicele acestor semnale care se aplică la intrările SF duce la obținerea la ieșire a unui semnal având frecvența în banda de trecere a AFI-ului. Acest semnal pătrunde în AFI și poate interfera cu semnalul util de frecvență f_i ducând în final la distorsionarea semnalului audio, la apariția de fluierături, sau la blocarea recepției.

Rezultă că cele mai puternice interferențe au drept cauze: semnalele perturbatoare care ajung la SF în diferite moduri, dar cel mai adesea din cauza selectivității insuficiente a CP și ARF, armonicele acestor semnale și ale semnalului util, și armonicele OL.

Cele mai puternice interferențe sunt date de:

- semnalele perturbatoare de frecvențe purtătoare situate în jurul lui f_i pentru care SF se comportă ca un amplificator (fig. 3.14 a). Pe lângă alte combinații la ieșire apare și semnalul de frecvență $f_i + \Delta f$, dacă $\Delta f < B_{AFI}/2$.

- semnalele perturbatoare pe frecvența imagine a frecvenței de recepționat (fig. 3.14 b). În acest caz, dacă la intrarea SF apare pe lângă semnalul util de frecvență f_s și un semnal perturbator, astfel încât

$$f_p - f_h = f_i,$$

atunci la ieșirea SF apare un al doilea semnal de frecvență în jurul lui f_i care poate interfera cu cel util. Deci

$$\left. \begin{array}{l} f_h - f_s = f_i \\ f_p - f_h = f_i \end{array} \right\} \Rightarrow f_p = f_s + 2f_i$$

care poartă numele de *frecvență imagine*,

$$f_{im} = f_s + 2f_i$$

deoarece constituie imaginea frecvenței de semnal față de f_h (fig. 3.14 c).

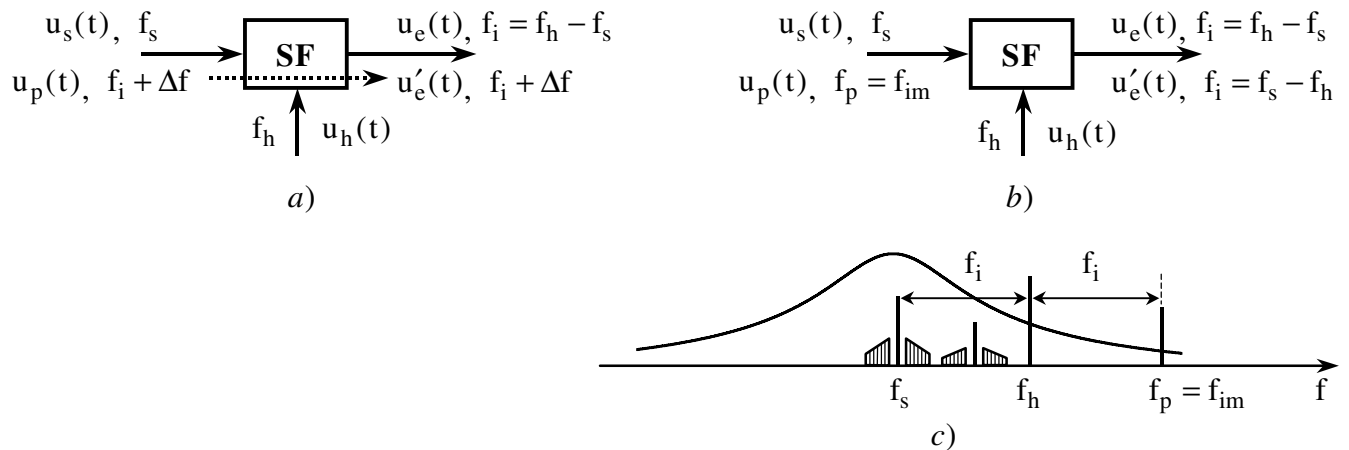


Fig. 3.14

Frecvența imagine este recepționată pe baza relației specifice infradinei și cauza este că SF nu ține cont care din semnalele de la intrare are frecvența mai mare cu f_i decât celălalt.

Diferența între RR-SH și RR-IH constă în faptul că la SH: $f_h = f_s + f_i$

IH: $f_h = f_s - f_i$

Cele două tipuri de perturbații sunt cele mai puternice pentru că sunt obținute în urma combinațiilor dintre componentele fundamentale ale semnalelor de la intrare. Toate celelalte, datorate armonicilor, au nivelul redus și nu dau efecte importante.

Pentru a reduce cele două perturbații trebuie reduse semnalele pe frecvențe apropiate de f_i și f_{im} .

Semnalul de frecvență f_i poate fi redus simplu printr-un circuit de rejecție reglat pe această frecvență, plasat înaintea de SF (frecvența f_i pentru receptoare este aleasă în afara gamelor de recepție).

Deoarece frecvența f_{im} este variabilă odată cu f_s , atenuarea sa se poate face decât prin creșterea selectivității circuitelor plasate înaintea SF.

Observații

1) - Un efect aparte, datorat semnalului pe f_{im} este recepția unei stații în două locuri pe scala RR-ului. De exemplu, în gama de US în RD este posibilă situația prezentată în figura 3.15.

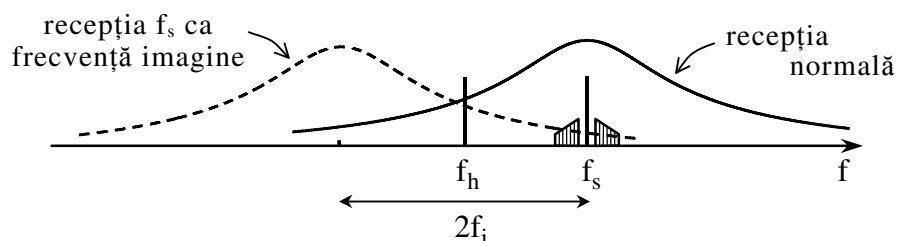


Fig. 3.15

2) - Un alt efect al semnalului pe f_{im} este realizarea greșită a alinierii RR (reglajul circuitului de RF așa încât RR să fie SH). Această aliniere poate fi făcută eronat pe frecvența imagine. Alinierea corectă trebuie să dea nivelul mai puternic pe poziția de acord din dreapta.

b) - RR-rul de tip infraheterodină (RR-IH)

Schema bloc este identică cu cea a RR-SH, cu deosebirea că

$$f_s > f_h, \quad f_i = f_s - f_h \quad (f_s = f_{ac} \text{ CP} + \text{ARF})$$

adică, frecvența OL este mai mică decât frecvența pe care sunt acordate circuitele de RF.

Pentru ca armonicile OL să nu dea interferențe este necesar ca

$$f_i < f_{h \min},$$

condiție întotdeauna îndeplinită la RR - SH ($f_h = f_i + f_s$), iar la IH atunci când

$$f_i < f_{h \min} = f_{s \min} - f_i \Rightarrow f_i < \frac{f_{s \min}}{2}$$

$$\left. \begin{array}{l} \text{adică este necesar pentru UL: } f_i < \frac{150}{2} = 75 \text{ kHz} \\ \text{UM: } f_i < \frac{525}{2} = 262,5 \text{ kHz} \end{array} \right\} \Rightarrow f_i < 75 \text{ kHz}$$

Dar micșorarea lui f_i duce la creșterea interferenței dată de semnalul f_{im} .

Acest dezavantaj important al RR-IH care nu apare la SH justifică neutilizarea practică a sa.

c) - RR-rul de tip sincroheterodină (RR-sH)

.....

d) - Alte scheme bloc de receptoare SH

.....

3.4.4 RADIORECEPTOARE CU DOUĂ SAU MAI MULTE SCHIMBARI DE FRECVENȚĂ (RECEPTORUL DE TRAFIC)

.....

3.4.5 PARAMETRII PRINCIPALI AI RADIORECEPTOARELOR

Sensibilitatea unui RR este o mărime ce caracterizează capacitatea sa de a recepționa semnale de RF de nivele cât mai mici, furnizând la ieșire o putere utilizabilă ca nivel și calitate.

Pentru un RR se definesc:

- sensibilitatea limitată de amplificare, S_a ;
- sensibilitatea limitată de zgomot (de raportul semnal/zgomot), S_{zg} ;
- sensibilitatea maximă utilizabilă, S_u .

a) - **Sensibilitatea limitată de amplificare**, S_a - este nivelul minim al semnalului modulat normal aplicat la intrare, necesar pentru a obține puterea standard (P_s) la ieșire, atunci când amplificarea RR este reglată la maxim, iar reglajele de ton sunt poziționate pentru bandă de trecere maximă.

- Explicații: - *Semnalul modulat normal* are parametrii:

$$\text{MA: } f_m = 1 \text{ kHz, } m = 30 \% ;$$

$$\text{MF: } f_m = 1 \text{ kHz, } \Delta f_M = 15 \text{ kHz} .$$

- *Puterea standard*, P_s - se stabilește de constructor în funcție de puterea nominală de la ieșire a RR și poate lua valorile:

$$1 \text{ mW, } 5 \text{ mW, } \underbrace{50 \text{ mW}}_{\text{valoare obișnuită}}, 500 \text{ mW}.$$

- Acest parametru caracterizează amplificarea globală a RR fiind determinat de aceasta, dar nu ține seama de zgomot.
- Raportul semnal/zgomot corespunzător lui S_a trebuie măsurat și menționat odată cu rezultatele.

b) - **Sensibilitatea limitată de zgomot**, S_{zg} - este nivelul minim al semnalului modulat normal aplicat la intrare necesar pentru a obține un raport semnal/zgomot la ieșire de valoare standardizată și precizată.

- Valoarea standard pentru raportul semnal/zgomot este: - pentru MA: 20 dB
- pentru MF: 26 dB
- Acest parametru caracterizează capacitatea RR de a recepționa semnale cât mai mici, ținând seama de zgomotul propriu.
- Puterea de ieșire, $P_{ieș}$, corespunzătoare lui S_{zg} trebuie măsurată și menționată cu rezultatele.

c) - *Sensibilitatea utilizabilă*, S_u - se exprimă fie prin S_a fie prin S_{zg} (vezi fig. 3.30), luând pe cea mai slabă dintre acestea, și reprezintă nivelul minim al semnalului aplicat la intrare care asigură la ieșire puterea de semnal utilizabilă atât ca nivel, dar și calitate.

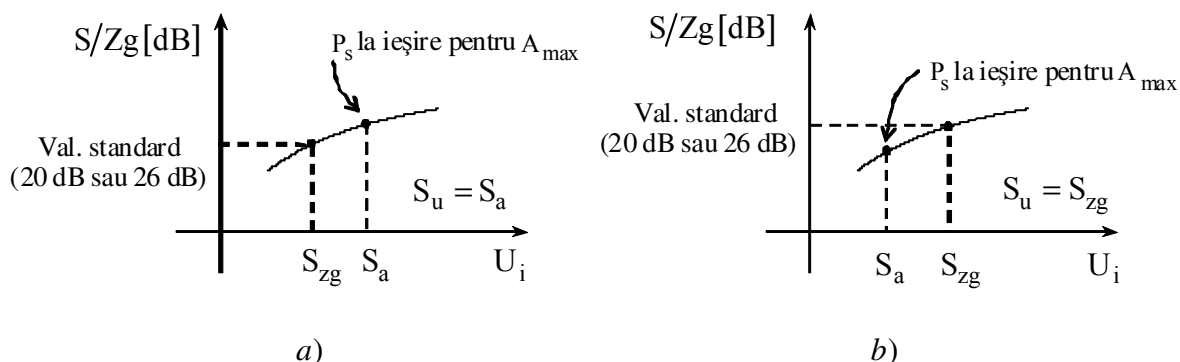


Fig. 3.30

Selectivitatea - este parametrul ce caracterizează capacitatea RR de a separa semnalul util din multitudinea de semnale de la intrare.

Selectivitatea se determină în funcție de nivelele semnalelor aplicate:

a) - *Selectivitatea la nivele mici* - (când RR lucrează liniar), se determină cu un singur semnal și se exprimă prin valoarea atenuării pe care o introduce RR asupra semnalului perturbator.

Prezintă importanță:

- selectivitate față de canalele alăturate (fig. 3.31), exprimată de atenuarea medie,

$$a = \frac{a_- + a_+}{2}$$

Pentru MA: $\Delta f = 9$ kHz
MF: $\Delta f = 300$ kHz

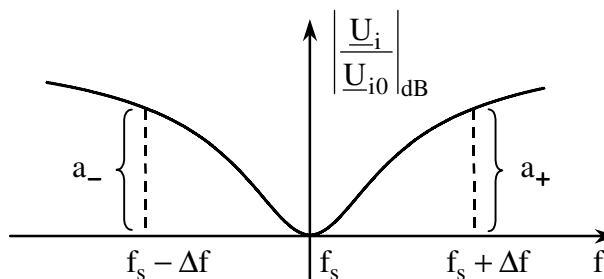


Fig. 3.31

- selectivitatea față de semnalele perturbatoare de frecvență f_{im} și f_i (fig. 3.32),

$$a_{f_{im}, f_i} = -20 \lg \frac{U_i(\omega_{im}, \omega_i)}{U_i(\omega_s)}$$

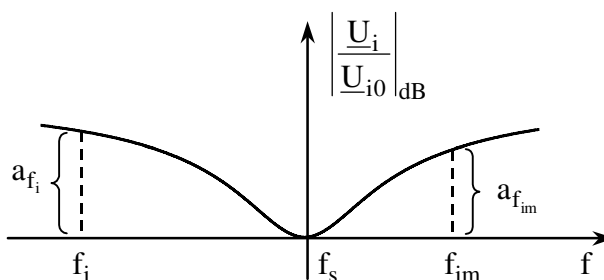


Fig. 3.32

b) - *Selectivitatea la nivele mari* - (când RR lucrează neliniar), se măsoară cu două sau mai multe semnale și prezintă importanță:

- înecarea semnalului util,
- transmodulația.

Fidelitatea - caracterizează capacitatea RR de a furniza la ieșire un semnal JF cât mai apropiat de cel de la emisie.

Se apreciază prin:

- factorul distorsiunii neliniare:

$$\delta = \sqrt{\frac{A_2^2 + A_3^2 + \dots}{A_1^2 + A_2^2 + A_3^2 + \dots}}$$

• caracteristica electrică globală ce reprezintă variația puterii de ieșire funcție de frecvența modulatorie (fig.3.34).

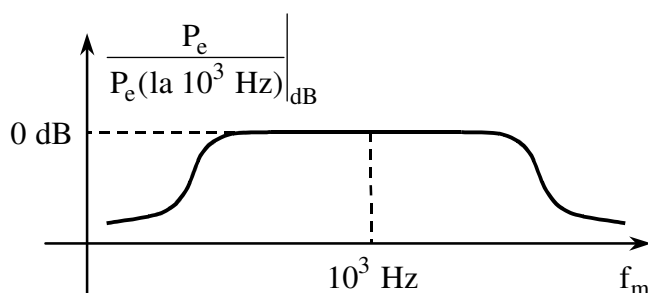


Fig. 3.34 Caracteristica electrică globală a unui receptor.

Alți parametri importanți ai unui RR:

- eficacitatea RAS;
- eficacitatea reglajelor de ton;
- coeficientul de atenuare a MA (pentru RR-MF);
- puterea de ieșire nominală.

Caracterizarea RR-ului poate fi completată și cu:

- acoperirea gamelor impuse;
- stabilitatea OL;
- brumul (zgomotul de rețea);
- eficacitatea CAF;
- consumul de putere, dimensiuni, greutate, fiabilitate etc.

Parametrii se măsoară conform standardelor interne și internaționale.

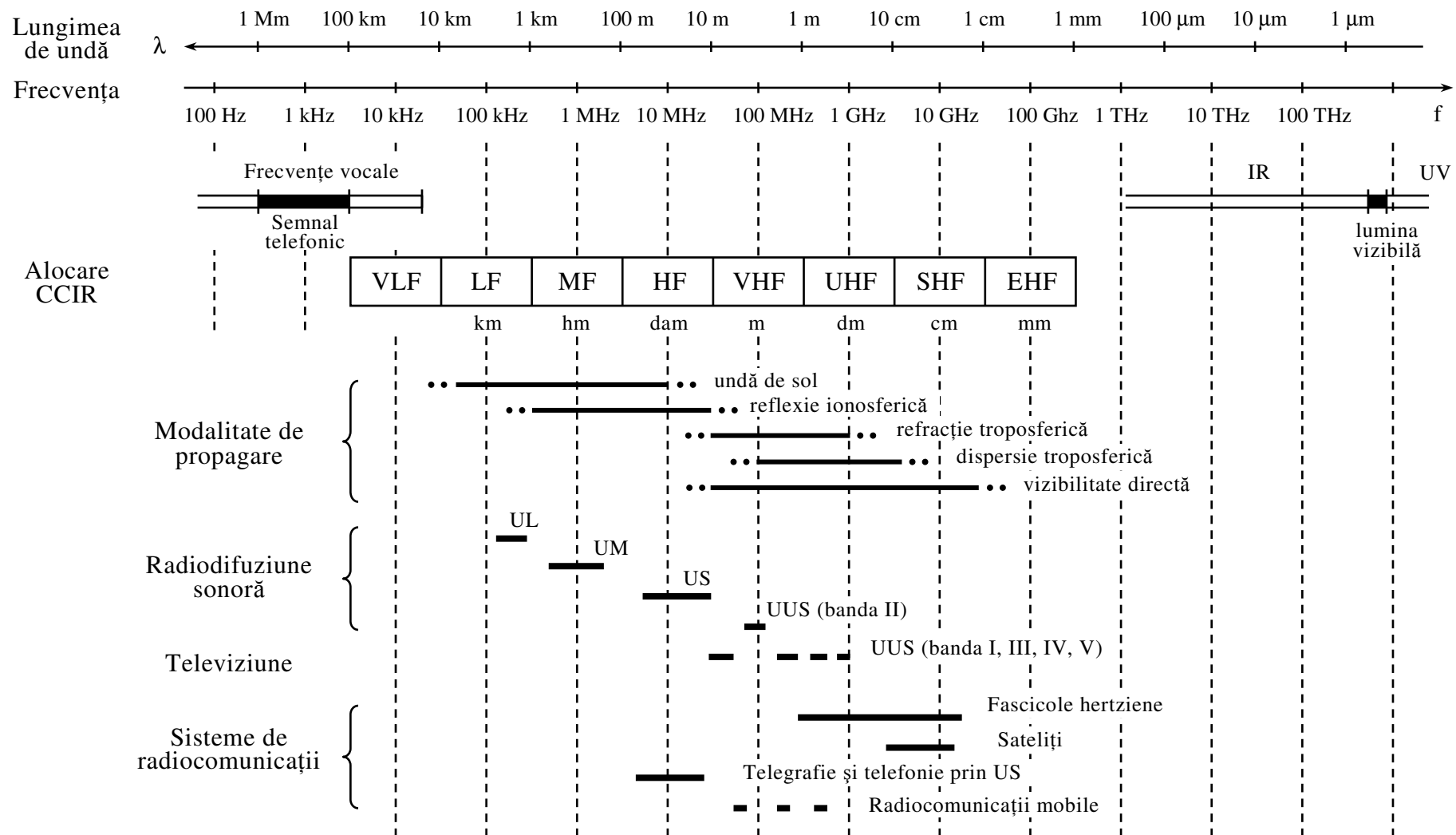


Fig. 3.2 Domeniile de frecvență și destinațiile lor.