

SISTEME DE RADIOCOMUNICAȚII (RC)

1. Noțiuni generale

1.1 Ce este specific sistemelor de R.C.?

- transmiterea informației se realizează folosind propagarea UEM din gama RF, unde radio ($3 \cdot 10^4 \dots 4 \cdot 10^{10}$ Hz).
- realizează radio-legături care pot fi de tip:
 - Unilateral
 - Bilateral
 - simplex
 - duplex
 - simplex pe două frecvențe
 - semiduplex (half/full).
- Folosind sistemele de RC se asigură *servicii de radiocomunicații*.
- Cele mai simple sisteme de RC asigură legături radio între două puncte fixe:

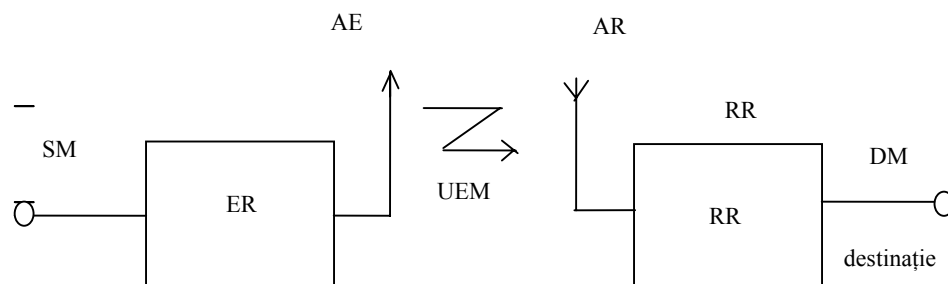


Fig. 1 Sistem de R.C. punct la punct

- În prezent cele mai multe sisteme de RC sunt organizate în rețele, adică sisteme complexe în care legătura se poate realiza între diverse puncte funcție de solicitări.
- Mai mult, într-o măsură tot mai mare rețelele de RC sunt integrate, ca secțiuni ale unor rețele mai complexe incluzând și secțiuni pe cablu, pe fibră optică etc.
- După modul în care anumite secțiuni sunt permanent alocate unui utilizator (grup de utilizatori) sau alocarea se modifică funcție de necesitatea stabilirii unor conexiuni rețelele pot fi:

- stabile,
 - comutate;
- De exemplu:
- Rețele de radiotelefonie clasică: se alocă unul - două canale radio unui grup de utilizatori.
 - Rețele de radiotelefonie celulară sau radiotelefonie trunking: se alocă un grup de canale iar utilizatorii folosesc canalul care este liber în momentul inițierii legăturii de comunicație.
- În cele două exemple s-a folosit noțiunea de **canal radio**; este necesară o precizare a acestei noțiuni;
- Domeniul frecvență și/sau domeniul timp se împart în benzi înguste, funcție de tipul de semnal modulat; aceste benzi de frecvență/timp împreună cu echipamentele care le deservește exclusiv și cu mediul de transmisiune constituie *canalele radio*;
- Adeseori termenul este folosit și pentru a desemna numai banda alocată celelalte componente fiind implicate;
- După modul în care se transmite informația rețelele RC se mai pot clasifica în rețele de:
- difuzare
 - colectare
 - bilaterale
 - multilaterale.
- Exemple: radiodifuziune, radiopaging, rețeaua de colectare de date de la stațiile meteorologice sau hidrologice etc.

1.2 Dezvoltarea R.C. - scurt istoric

- 1837 - Morse
- 1858 - transmisiuni pe cablu transatlantic
- 1865 - Maxwell - teoretic - UEM
- 1876 - G. Bell - microfonul
- 1886 - Hertz - experimental - UEM
- 1896 - Brauly - cel mai simplu detectro (coherarul)
- 1896-1901 - Marconi - transmisuni radiotelegrafice

- *1902 - trioda*
- *1912 - Amplificator clasa A*
- *1912 - oscilatoare*
- *1913 - amplif. cu reacție*
- *1914 - semnale MA*
- *1918 - RR cu o SF (SHET)*
- *1920 - prima stație de RD (Pittsburg _ SUA)*
- *1922 - RD - Londra, Paris*
- *1926 - Reglajul automat al amplif. (RAA)*
- *1927 - legătura radio transatlantică*
- *1927 - reacție negativă*
- *1931 - stereofonia*
- *1933 - semnale MF*
- *1934/1937 - oscilatoare LC calpitts/Hartley*
- *1938 - MIC - Alec. Reeves*
- *1948 - tranzistorul*
- *1959/1965 - CID / CIL*
- *1962 - primul satelit de comunicații (TELSTAR I) - cu realizarea unor transm. TV peste ocean*
- *1965 - Intelsat I (Early Bird)*
- *1969 - transmisiuni radio pe lună*
- *1980 - transmisiuni de fotografii de pe Jupiter-Saturn*
- *începe deceniul de avânt pentru RC mobile.*

➤ **Evoluția Radiocomunicațiilor în România:**

- *1905 - prima stație teleg. (TTF) la Constanța*
- *1915 - un post TTF puternic (150KW)*
- *1924 - se înființează o secție de electrocomunicații la Școala de drumuri și poduri din București (actual UPB).*
- *1925 - prima emisiune radio experimentală (la Universitate).*
- *1929 - radio București (RD).*
- *1948 - din câteva ateliere Phillips = Electronica.*
- *1950 - primul emițător de RD MF realizat la IPB de prof. Gh. Cartianu.*
- *1976-1979 - stații de com. prin satelit la Cheia.*
- *1992-1996 - introducerea pe scară largă a comunicațiilor mobile.*
- *1997 – comunicații mobile numerice (GSM)*

1.3 Undele radio

1.3.1 Aspecte generale

- Prin **Unde Radio** este desemnat un subdomeniu al Undelor Electro-Magnetice (UEM):
 1. - unde hertziene -
 2. - unde infraroșii
 3. - unde optice
 4. - unde ultraviolete
 5. - unde x
 6. - unde cosmice
- Domeniul care interesează: *undele hertziene* ($3 \cdot 10^3 \dots 3 \cdot 10^{12}$) Hz;
- Dintre acestea numai o mică parte, ***undele radio*** ($3 \cdot 10^4 - 4 \cdot 10^{10}$) Hz, este folosită în mod curent pentru comunicații.
- Domeniul *Undelor Radio* este împărțit pe subgame funcție de frecvență sau funcție de lungimea de undă:

$$\lambda = \frac{c}{\varphi}$$

- **Exemple de subgame:**

- 4 - (3kHz-30kHz) VLF - miriametrice
 - 5 - (30kHz-300kHz) LF - kilometrice
 - 6 - (300kHz-3000kHz) HF - decametrice
 - 7 - (3 -30) Mhz VHF - metrice
- De remarcat că această împărțire implică o legătură și cu caracteristicile de propagare.
 - Reamintim că în vederea transiterii, mesajul modulează o frecvență purtătoare. Semnalul modulat ocupă o bandă de frecvență. Deci, pentru o legătură de comunicație se alocă nu o frecvență ci o bandă de frecvențe care depinde de tipul și de parametrii semnalului modulat. Funcție de banda ocupată se stabilește și intervalul (Δf) între două canale vecine (figura 1.3.1).

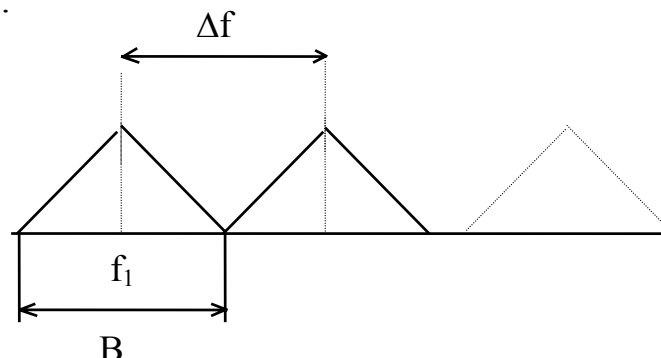


Figura 1.3.1

Exemple:

semnale MA-	$B = 9\text{kHz}$	$\Delta f = 9\text{kHz}$
MF-Bandă Largă,	$B = 225\text{kHz}$	$\Delta f = 300\text{kHz}$
MF-Bandă Ingustă,	$B = 20\text{kHz}$	$\Delta f = 25\text{kHz}$
MA-BLU -	$B = 3,4\text{kHz}$	$\Delta f = 4\text{kHz}$
etc.		

1.4 Atribuirea frecvențelor (benzilor) canalelor de RC

- În procesul de atribuire a canalelor RF se disting cel puțin două nivele:
 - atribuirea spectrului RF pe servicii;
 - atribuirea canalelor radio în cadrul unei rețele de RC.
- În această etapă ne referim numai la *atribuirea spectrului RF pe servicii*.
- Pentru a asigura compatibilitatea serviciilor, atribuirea se face prin reglementări emise de organisme internaționale: CCIR/OIRT (OIRT nu mai există). Mai recent aceste probleme se dezbate în conferința Administrației Mondiale a Radiocomunicațiilor (WARC).
- Având în vedere atenuarea destul de rapidă a celor mai multe dintre semnalele emise, benzile de RF sunt reutilizate în mai multe locuri de pe glob.
- În acest scop globul este împărțit în 3 regiuni și câteva zone:
 - Regiunea I Europa - Mongolia - Orient mijlociu (IRAN) - Turcia - Africa.
 - Regiunea II Australia - Asia de sud - est - Pacificul.
 - Regiunea III America + Groenlanda
- În fiecare regiune diverselor servicii li se alocă banda de frecvență cea mai potrivită.

Exemplu pentru regiunea I:

- serviciul de Radio Difuziune.
 - UL 150 - 285 kHz
 - UM 525 - 1605 kHz
 - US: (3,2 - 30)MHz, (3,2...3,4)MHz, (5,95...6,2)MHz, (7,1...7,3)MHz
 - etc.
 - UUS (65...73) - (87,5...108) Mhz

- Serviciul Mobil celular - 450Mhz - 900Mhz -1800Mhz
- Serviciul Mobil – Radiotelefonie trunking - 30 MHz - 150MHz- 450 MHz.

1.5 Parametrii caracteristici sistemelor de R.C.

A) Frecvență:

- f_a - alocată - centrul benzii alocate
- f_r - referință - o frecvență cu o poziție bine determinată față de f_a
- f_e - emisiunii - centrul benzii ocupate
- f_c - caracteristică - o frecvență ușor de identificat în spectrul semnalului emis;
- δf - toleranța de frecvență (Hz,ppm).

B) Benzi de frecvență:

- alocată
- necesară
- ocupată.

➤ Parametrii specifici echipamentelor de radio emisie:

- *Radiația neesențială* - puterea emisă pe una sau mai multe frecvențe în afara benzii alocate - putere care poate fi redusă prin măsuri tehnice fără a afecta calitatea semnalului util.
- *Bruiajul* - reprezintă deteriorarea calității, stânjenirea sau întreruperea repetată a unei transmisiuni de Rc din cauza unei radiații oarecare.

➤ Se mai disting o serie de parametri legați de echipamentele folosite (secțiunea de emisie sau de recepție) care vor fi prezentați odată cu acestea.

1.6 Clasificarea emisiunilor

- #### **➤ Transmisiunile radio, și chiar cele pe cablu, care folosesc subpurtătoare sunt împărțite în clase funcție de:**
- tipul modulației
 - informația transmisă
 - prelucrările suferite de semnalul modulator în vederea transmiterii.

- Pentru a desemna în mod simplu o anumită emisiune s-a creat o simbolistică; Cu simbolurile corespunzătoare se constituie un cod format din 2...3 sau mai multe elemente care descrie destul de precis orice emisiune.
- Semnificația simbolurilor curent întâlnite este următoarea:
 1. **Primul simbol** = o literă; precizează tipul modulației pentru purtătoarea principală:
 - ◆ N - nemodulat
 - ◆ A - MA
 - ◆ B - MA-PS cu benzi independente
 - ◆ J - BLU-PS
 - ◆ H - BLU cu P
 - ◆ F - μF
 - ◆ G - μP
 - ◆ D - MF+MA
 - ◆ K - μiA
 2. **Al doilea simbol** = o cifră; precizează natura semnalului modulator:
 - ◆ 0 - nemodulat
 - ◆ 1 - un canal cu informație cuantizată fără subpur-tătoare
 - ◆ 2 - idem cu subpurtătoare
 - ◆ 3 - informație analogice
 3. **Al treilea simbol** = o literă; precizează tipul mesajului transmis:
 - ◆ M - fără mesaj (informație)
 - ◆ A - telegrafie audio
 - ◆ B - telegrafie recepție automat
 - ◆ C - facsimile
 - ◆ D - transmisie date (telecomandă telemăsură)
 - ◆ E - telefonie (radiotelefonie)
 - ◆ F - TV
- ◆ Exemple:
 - A3E - semnal MA cu P, analogic, telefonie
 - FIA - semnal MF, telegrafie audio
 - J3E - BLU fără purtătoare audio, radiotelefonie
 - F3E - MF - radiotelefonie de bandă îngustă.
- ◆ De remarcat că pot să mai existe și alte simboluri (de ex. unul pentru coduri altul pentru tipul de multiplexare).

- ◆ Cuprinsul cursului:
 - Echipamente de Radioemisie;
 - Echipamente de Radiorecepție;
 - Sisteme de comunicație cu Acces Multiplu;
 - Sisteme de comunicație cu Spectru Împrăștiat;

- ◆ Bibliografie:
 - Echipamente de RE – Mircea Ivanciovici.
 - Radioreceptoare, I.Marghescu, Iancu Ceapă;
 - Pagina catedrei de pe internet

- ◆ Aprecierea activității pentru nota finală:
 - Laborator 20p
 - Examen parțial, 30p
 - Examen final, 50p

- ◆ Condiții:
 - Laborator: minim 50%
 - Parțialul se susține în timpul anului sau la examenul din vară;
 - Toamna se dă examen din toată materia dacă studentul a acumulat 50% din punctele din timpul anului;
 - Punctele de la parțial se iau în considerație toamna numai dacă reprezintă peste 50% din valoarea maximă;
 - Pentru activitatea de la curs se poate da o bonificație de maxim 10 puncte pentru studenții care au promovat (nota mai mare de 5);
 - Durata examenului: parțial cca 1 oră, examen final 2 ore (vara) 2.5 ore (toamna);
 - Subiecte:
 - parțial – 2 subiecte (unul cu întrebări + o aplicație numerică)
 - final – 4 (o aplicație numerică, 1-2 subiecte cu întrebări, 2-1 subiecte compacte);

2. Echipamente de RE

2.1 Rolul echipamentelor de RE

- ◆ generarea și prelucrarea semnalului purtător
 - ◆ prelucrarea finală a semnalului modulator pentru a se putea realiza procesul de modulație în condițiile impuse.
 - ◆ realizarea modulației
 - ◆ prelucrarea semnalului modulat
 - ◆ transformarea semnalului modulat în UEM.
- Rezultă o schemă bloc foarte generală care ține cont că în afara liniei funcționale principale (lanțul de radiofrecvență, blocul modulator) sunt necesare echipamente suplimentare pentru alimentare (BA) sau blocul de control, întreținere, protecție (BCS) etc.

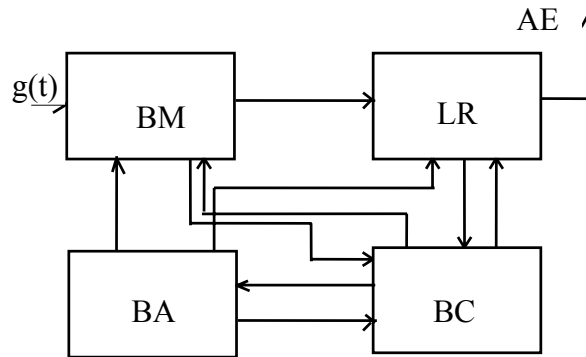


Figura 2.1.1

2.2 Aspecte specifice Radio Emițătoarelor (RE); caracteristici

- Radio emițătorul are un rol decisiv în calitatea radiolegăturii
- Distanța la care se poate stabili o legătură de calitate este funcție de puterea emisă și de sensibilitatea Radio Receptorului
- $$d = f(P_e, S_r)$$
- În unele situații, spre exemplu în rețelele de difuzare de informații, echipamentele de RE sunt puține iar echipamentele de RR foarte multe; în consecință se recomandă **ca** primele să fie realizate cu deosebită atenție pentru a simplifica structura RR;
- În acest scop:
- se aleg metode de modulație simple;
 - Se optează pentru RE cu putere mare și cu fiabilitate deosebită.

- In aceste condiții puterea poate fi mare sau chiar foarte mare (kW-MW);
- Ca atare devine important randamentul nu numai pentru pierderile energetice (care sunt importante) ci și pentru fiabilitate și pentru dispersarea energiei pierdute. Se vor alege soluții constructive adecvate.
- In concluzie un **echipament de radio emisie** va fi caracterizat prin:
 - gama de frecvență în care poate funcționa (sau frecvența de lucru);
 - puterea emisă (la intrarea cablului care alimentează antena = feeder) respectiv puterea aparent radiată (care depinde și de caracteristica de directivitate a antenei sau a sistemului de antene utilizate).
 - randament
 - stabilitate frecvență
 - nivelul radiații nedorite (neesențiale)
 - siguranța în funcționare.
- Din punct de vedere tehnic/constructiv se mai pot adăuga:
 - eficiența sistemelor auxiliare de comandă - semnalizare - blocare;
 - complexitatea depanării/întreținerii/supravegherii;
 - complexitatea reglajelor.

2.3 Clasificarea Echipamentelor de RadioEmisie

1. după tipul semnalului modulat:

- MA
- MF
- BLU
- impulsuri

2. după nivelul puterii emise:

- foarte mică (<1W)
- mică (<100W)
- medie (100W-3KW)
- mare (3KW-100KW)
- foarte mare (>100KW)

3. după destinație:

- radiodifuziune
- radioteleviziune
- telegrafie
- radiotelefonie
- telecomandă
- radiolocație

- etc.
4. după gama de frecvență:
de exemplu emițătoare de RD se pot împărți în:
- emițătoare pentru UL (putere foarte mare);
 - emițătoare UM (putere foarte mare);
 - emițătoare pentru UUS (putere medie);
5. după condițiile de exploatare:
- staționare
 - mobile
 - portabile

2.4 Structura generală a Lanțului de Radio Frecvență (LRF)

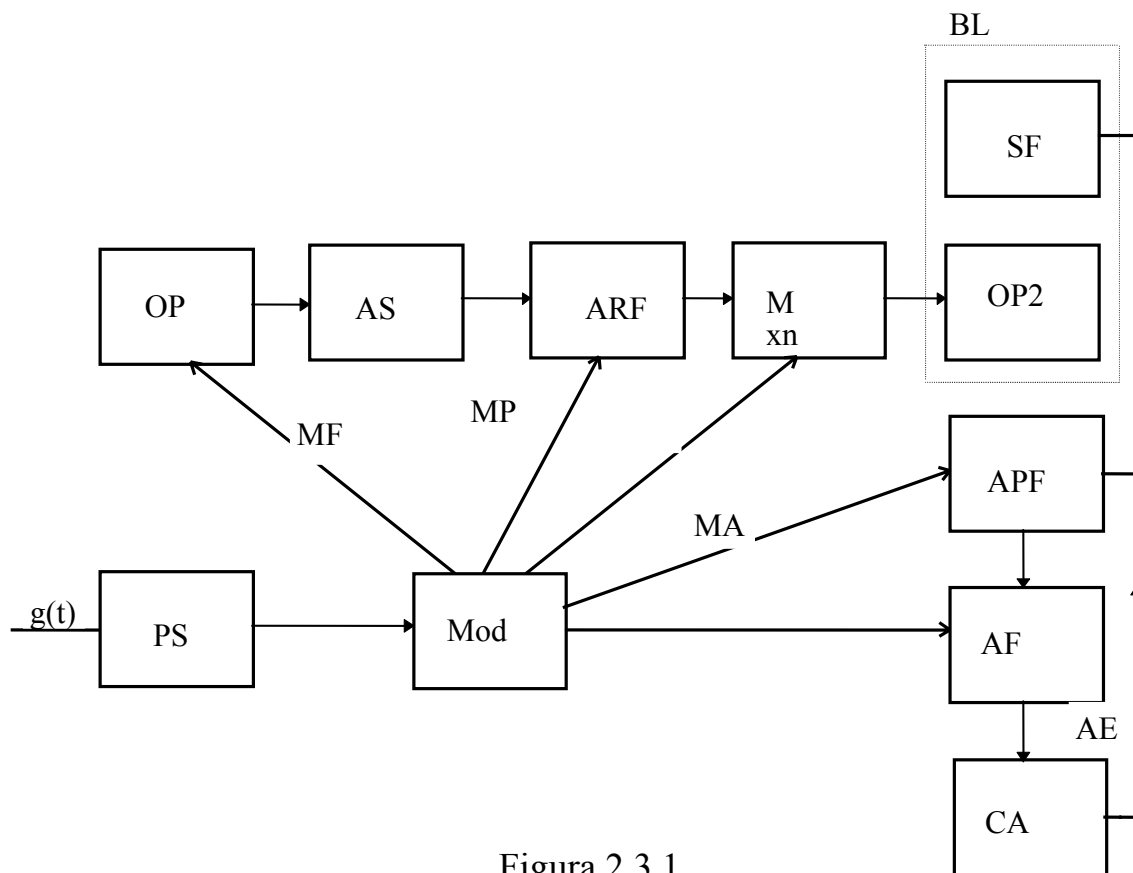


Figura 2.3.1

- Comentarii cu privire la rolul și structura blocurilor funcționale:
- Oscilatorul Pilot (OP) determină valoarea frecvenței centrale și a stabilității frecvenței (f_0 , δf). Pentru a asigura generarea unei purtătoare cu stabilitate bună așa cum se cere în acest caz OP se realizează cu tehnologii adecvate:

- cu cuarț
 - cu sintetizor de frecvență;
- Amplificatorul Separator (AS) asigură condiții optime de funcționare pentru oscilatorul pilot;
 - Multiplicatorul de frecvență (M); conform celor prezentate la cursul de TAD este necesar pentru a mări deviația de frecvență și frecvența purtătoare la semnalele MF dar aceasta nu este singura sa funcție. El se folosește și la RE-MA cu frecvență purtătoare relativ mică. Aceasta deoarece el are și rolul de a evita o reacție globală care poate fi distructivă. Dacă există multiplicatorul blocurile de putere mică (OP, AS) vor lucra pe frecvența f_1 , iar cele de putere mare pe frecvența nf_1 .
 - Uneori nu se pot folosi multiplicatoare deoarece tipul de semnal modulat nu acceptă prelucrarea neliniară (de exemplu semnale BLU sau MA-PS). Atunci se introduce un Schimbător de Frecvență (SF).
 - Amplificatoarele de putere (Prefinal și Final): așa cum s-a menționat mai sus se impune un randament bun; acest parametru depinde de clasa de lucru a etajului de amplificare:
 1. Clasă A - cca 30%
 2. Clasă B - cca (40-50)%
 3. Clasă C - (60-70)%
 - Amplificatoarele clasă A pot asigura funcția de amplificare fără a distorsiona anvelopa dar are pierderi mari.
 - Amplificatoarele clasă C sunt caracterizate de pierderi mici dar se pretează la semnale modulate insensibile la neliniarități. Cum se rezolvă problema în cazul ERE-MA se va discuta la capitolul următor.
 - Circuitul de adaptare (CA); Amplificatorul final are o rezistență de sarcină optimă care de regulă diferă de rezistența de intrare a antenei (R_a). Deci este necesară o adaptare. De regulă se face cu un circuit LC, selectiv cu pierderi cât mai mici.
- Modulația se face în diverse puncte funcție de tipul modulației. De exemplu un semnal MF se va realiza la nivel mic de putere deoarece amplificarea se poate realiza cu ușurință. Un semnal MA se va realiza cât mai aproape de antenă pentru a evita necesitatea unor amplificatoare de putere liniare etc.

2.5 Echipamente de Radio Emisie pentru semnale MA

- Ne vom referi la Radio Emițătoare de radiodifuziune pentru gamele de UL și UM (sute de kHz până la 1,6Mhz);
- Acestea sunt de putere mare sau foarte mare
- O schemă bloc este dată în figura 2.5.1.

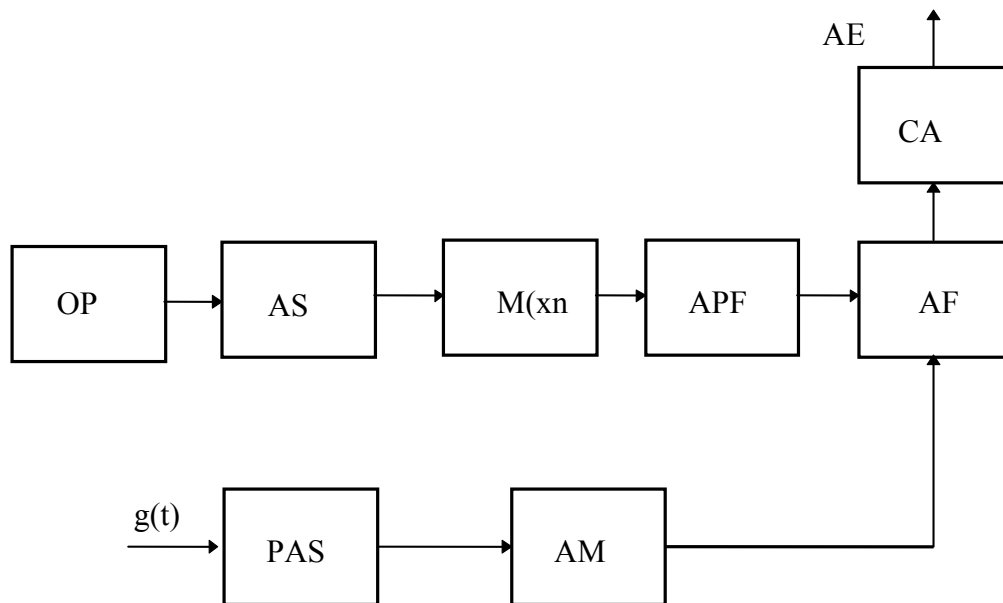


Figura 2.5.1

- Modulația se face în Amplificatorul Final, astfel încât odată realizată să nu mai urmeze alte etaje de amplificare.
- S-a constatat că un amplificator clasă C poate fi modulat în amplitudine.
- Deci nivelul de putere necesar se poate obține cu un randament bun iar semnalul modulat nu este distorsionat.
- Cum se face de fapt modulația? Procedul derivă din ceea ce s-a prezentat la TAD drept modulație realizată direct pe circuitul acordat.
- O prezentare simplificată rezultă din schema dată în figura 2.5.2.

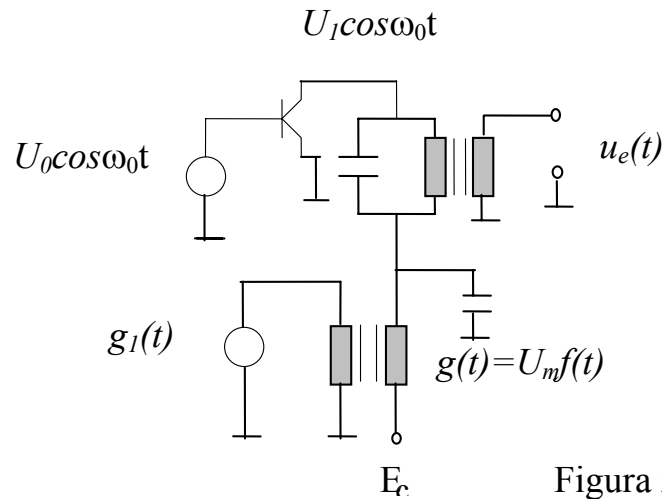


Figura 2.5.2

- Tensiunea de alimentare din punctul de vedere al semnalului de radio frecvență este:

$$E_c' = E_c + U_m f(t)$$

- În regim supraexcitat amplitudinea semnalului la bornele circuitului de sarcină este limitată la o valoare puțin mai mică (cu U_{cesat}) decât tensiunea de alimentare:

$$U_1 = E_c + U_m f(t) - U_{cesat} = E_c^1 [1 + m f(t)]$$

$$E_c^1 = E_c - U_{cesat} \quad m = \frac{U_m}{E_c^1}$$

2.6 Echipamente de Radio Emisie pentru semnale MA-BLU

- Aceste echipamente folosesc, de regulă, două schimbări de frecvență dintre care una are rolul de a duce semnalul în domeniul de frecvență dorit iar a doua de a face ca frecvența să fie variabilă ($\pm 50\text{kHz}$) (figura 2.6.1).
- Frecvența pe care se generează semnalul BLU, f_l , - este dictată de filtrul BLU disponibil.
- Se poate accepta folosirea unor amplificatoare liniare în etajele de putere deoarece puterea este mică ($< 100\text{W}$).
- Au fost concepute procedee moderne, incluzând prelucrarea numerică a semnalului prin care se generează semnale cu modulație unghiulară, se

amplifică și numai înaintea antenei se combină pentru a forma semnalul MA-BLU. În acest mod se poate obține amplificarea cu randament bun și fără a distorsiona mesajul.

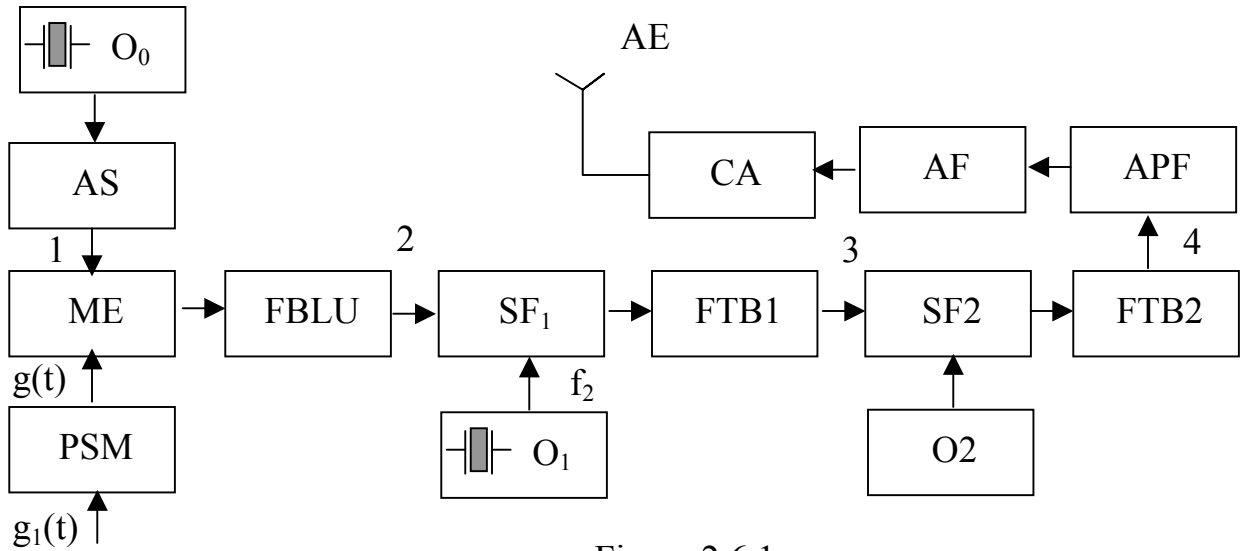


Figura 2.6.1

- Se poate urmări cu ușurință funcționarea schemei bloc pe baza semnalelor din diverse puncte:

$$g(t) = U_m f(t);$$

$$s_1(t) = U_1 \cos \omega_1 t$$

$$s_2(t) = U_{01} f(t) \cos \omega_1 t + U_{01} \hat{f}(t) \sin \omega_1 t$$

$$s_3(t) = U_{02} f(t) \cos(\omega_1 + \omega_2)t + U_{01} \hat{f}(t) \sin(\omega_1 + \omega_2)t$$

$$s_4(t) = U_{03} f(t) \cos(\omega_1 + \omega_2 + \omega_3)t + U_{01} \hat{f}(t) \sin(\omega_1 + \omega_2 + \omega_3)t$$

- Cele două schimbări de frecvență servesc fie pentru a aduce semnalul BLU realizat pe frecvență f_1 impusă de filtrul BLU, în banda de frecvență necesară și/sau pentru a permite realizarea frecvenței variabile în limitele a $\pm 50\text{kHz}$. Pot fi necesare și mai mult de două schimbări de frecvență.

2.7 Echipamente de Radio Emisie pentru semnale MF

- Semnalele MF nu sunt afectate de neliniarități.
- În consecință modulația poate fi realizată la nivel mic de putere după care urmează un lanț de amplificatoare cu randament bun (clasă C).
- se întâlnesc mai multe variante de echipamente funcție de procedeul folosit pentru producerea semnalului MF:
 1. metoda directă cu oscilator LC (figura 2.7.1)
 2. metoda indirectă cu modulație de fază (figura 2.7.2)
 3. metode care includ un sintetizor de frecvență (figura 2.7.3).

1. Radioemițătoare MF care au la bază *metoda directă cu oscilator LC*

- constituie o soluție simplă dar cu performanțe modeste din punctul de vedere al stabilității frecvenței purtătoare;

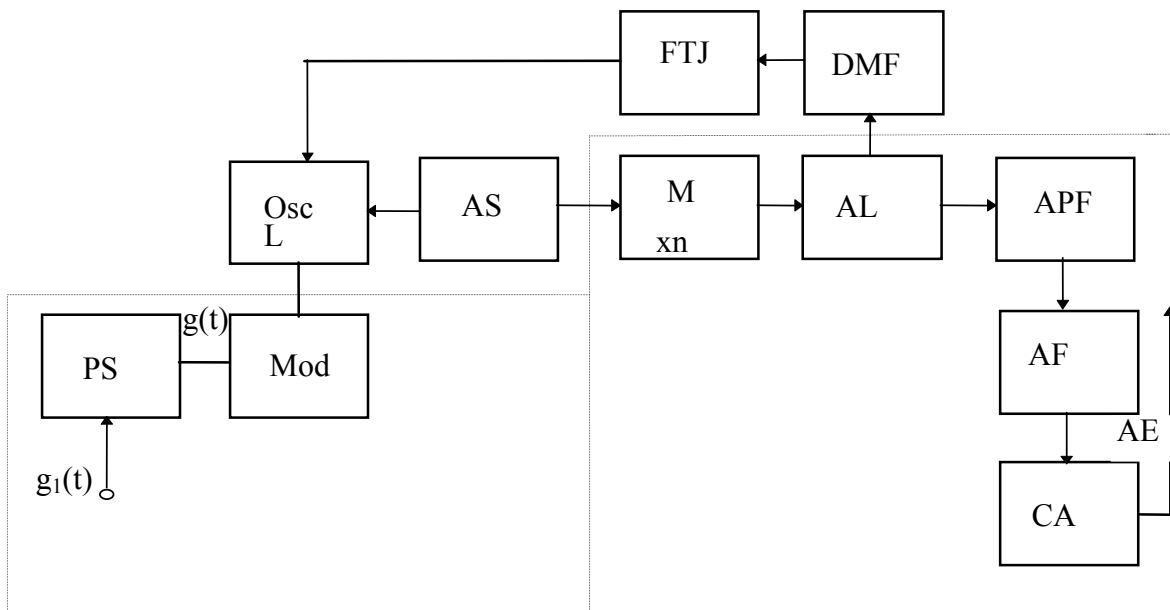


Figura 2.7.1

- Această afirmație, precum și alte observații interesante cu privire la emițătorul analizat rezultă ușor dacă se urmăresc semnalele în diverse faze de prelucrare;
 - semnalul modulator $g(t) = U_m f(t)$
 - după oscilatorul modulat în frecvență:

$$u_1(t) = U_1(t) \cos(\omega_1 t + \Delta\omega_1 \int_0^t f(\tau) d\tau)$$

$$\text{unde } \Delta\omega_1 = K_m U_m$$

- După multiplicatorul care acționează asupra frecvenței instantanee:

$$\omega(t) = \omega_1 + \Delta\omega_1 f(t)$$

rezultă

$$u_2(t) = U_2(t) \cos(\omega_2 t + \Delta\omega_2 \int_0^t f(\tau) d\tau)$$

$$\text{unde } \omega_2 = n\omega_1 \quad \Delta\omega_2 = n\Delta\omega_1$$

- Expresia lui $u_2(t)$ evidențiază o modulație parazită de amplitudine. O asemenea modulație apare ori de câte ori un semnal MF este prelucrat cu ajutorul unui etaj selectiv;
- Deci este necesar un etaj limitator (AL) care să o elimine; după limitator rezultă:

$$u_3(t) = U_3 \cos(\omega_1 t + \Delta\omega_1 \int_0^t f(\tau) d\tau)$$

- În continuare se modifică numai nivelul semnalului pentru a asigura acoperirea corespunzătoare a teritoriului care trebuie deservit cu semnal radio.
- Deoarece oscilatorul este modulat el poate fi afectat și de semnale parazite nedorite, deci va avea o stabilitate a frecvenței redusă; pentru a pune în evidență instabilitatea se poate scrie

$$\omega_1(t) = \omega_{10} + \partial\omega_1(t) + \Delta\omega_1 f(t)$$

unde $\partial\omega_1(t)$ reprezintă o funcție lent variabilă;

- După multiplicator frecvența instantanee va fi:

$$\begin{aligned}\omega_2(t) &= n\omega_{10} + n\partial\omega_1(t) + n\Delta\omega_1 f(t) = \\ &= \omega_{20} + \partial\omega_2(t) + \Delta\omega_2 f(t)\end{aligned}$$

- Pentru a ameliora stabilitatea se introduce o buclă de Control Automat al Frecvenței (CAF);
- Demodulatorul MF (DMF) extrage un semnal proporțional cu frecvența instantanee:

$$u_d(t) = K_D [\omega_{20} + \partial\omega_2(t) + \Delta\omega_2 f(t)]$$

- Filtrul Trece Jos (FTJ) are frecvența de tăiere mai mică decât frecvența modulatoră minimă pentru a elimina componentele semnalului modulator

$$u_c(t) = K_D^1 [\omega_{20} + \partial\omega_2(t)]$$

- Acest semnal va fi folosit pentru a comanda oscilatorul în așa fel încât să se reducă instabilitatea;
- Din păcate ameliorarea performanțelor nu este deosebit de amre: se poate obține o reducere a instabilității cam cu un ordin de mărime;
- Emițătoarele care trebuie să aibă o stabilitate mai bună folosesc una dintre celelalte două soluții care diferă de cea analizată numai prin secțiunea care realizează modulația (figura 2.7.2 și 2.7.3).

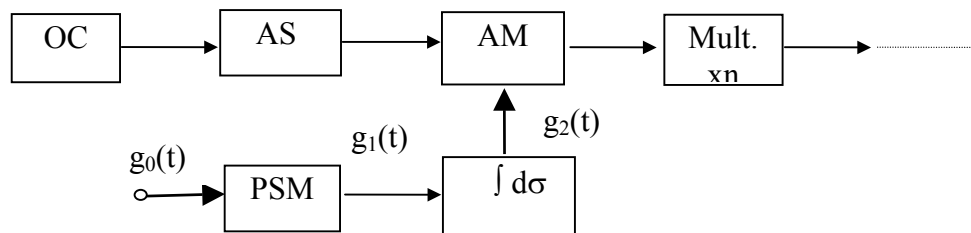


Figura 2.7.2 Emițător MF cu Modulație de fază

sau

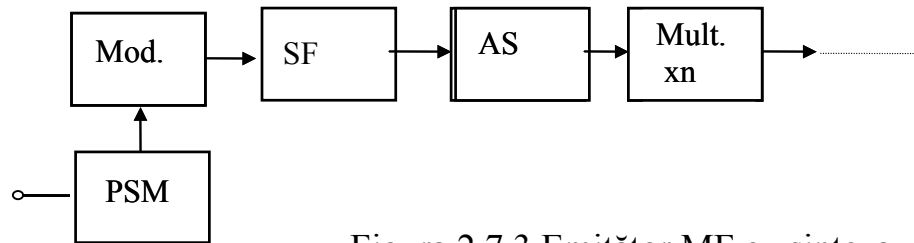


Figura 2.7.3 Emițător MF cu sinteza de frecvență

- Pentru emițătoarele care lucrează pe frecvențe mai mari (sute de MHz, GHz) se folosește și un schimbător de frecvență (up-conversion) pentru a duce semnalul modulat la frecvența finală;