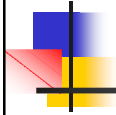




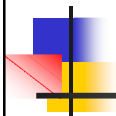
CIRCUITE DE TELECOMUNICAȚII

Tema II

Structuri de emisie și recepție

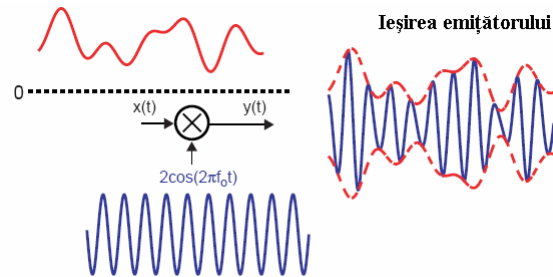


Prof. dr. ing. Andrei Câmpeanu
Departamentul Comunicații, A310-311
Email: andrei.campeanu@etc.upt.ro



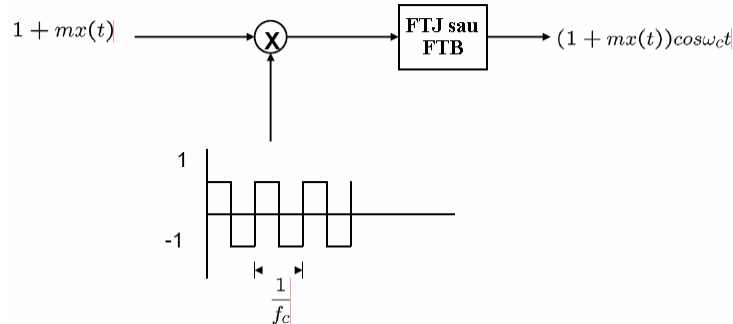
Generarea și detecția semnalelor MA

Semnale MA



- Amplitudinea sinusoidelor pe frecvența purtătoare f_o variază conform semnalului modulator din banda de bază: $x'(t)=1+mx(t)$.
- Componenta de cc a semnalului modulator influențează semnalul transmis și posibilitățile receptorului.
 - Valoarea de cc este mai mare decât amplitudinea semnalului prezentat mai sus.
 - Permite o detecție simplă de anvelopă la recepție.
 - Generează un ton inutil pe frecvența purtătoare (putere neutilizată).

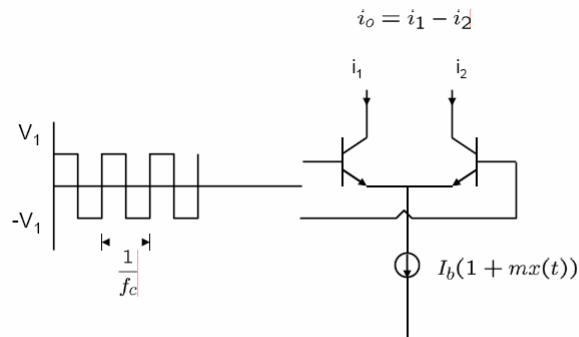
Modulația de amplitudine: modulatorul în comutație



- Filtrul de la ieșirea modulatorului elimină componentele de pe armonicile superioare ale frecvenței purtătoare f_c .



Exemplu de modulator în comutație

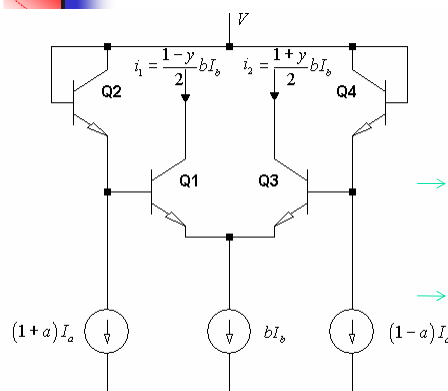


Pentru comutație completă $V_1 \gg \frac{kT}{q}$

- În cazul comutației complete, cei doi tranzistori ai etajului diferențial funcționează ca două comutatoare antagoniste.



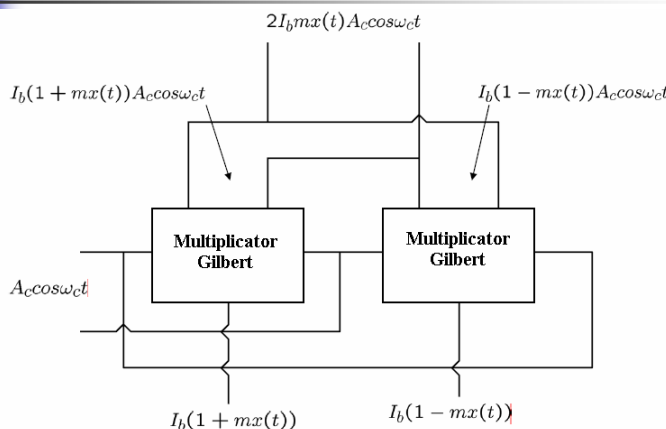
Modulația de amplitudine – modulatorul Gilbert



$$\begin{aligned}
 V_{BE1} + V_{BE2} &= V_{BE3} + V_{BE4} \\
 I_S \exp(V_{BE1}/V_T) I_S \exp(V_{BE2}/V_T) &= I_S \exp(V_{BE3}/V_T) I_S \exp(V_{BE4}/V_T) \\
 (1+a)I_a \frac{1-y}{2} bI_b &= (1-a)I_a \frac{1+y}{2} bI_b \\
 (1+a-y-ay)bI_a I_b &= (1-a+y-ay)bI_a I_b \\
 y &= a \\
 i_o = i_2 - i_1 &= abI_b \\
 b > 0, \quad -1 < a < 1 \\
 a &= A_c \cos \omega_c t, \quad b = 1 + mx(t) \\
 i_o &= I_b (1 + mx(t)) A_c \cos \omega_c t
 \end{aligned}$$

- Variabila b nu poate fi decât pozitivă, prin urmare la ieșire se obține MA P+2BL.
- Avantaj: armonice superioare reduse, prin urmare filtrul de ieșire nu trebuie să fie foarte selectiv.
- Dezavantaj: consum mare de putere de cc.

Modulația de amplitudine: modulatorul echilibrat

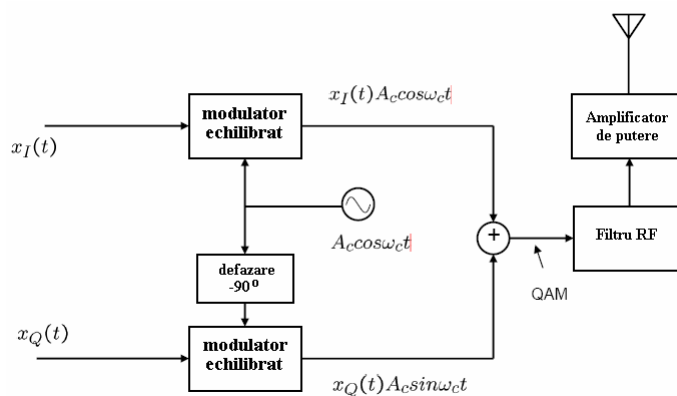


- Se obține modulația de amplitudine cu purtătoarea suprimată – modulația de produs.
- Componenta pe frecvența purtătoarei este înlăturată.
- Se îmbunătățește linearitatea modulației (distorsiunea pe armonica a doua este anulată).

A. Campeanu U.P.T.

7

Generarea modulației de amplitudine în cuadratură (QAM)

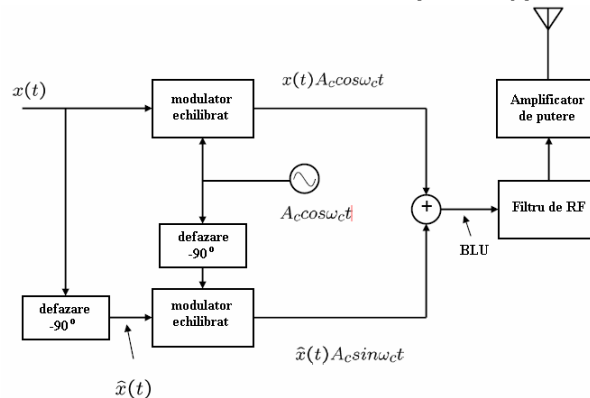


A. Campeanu U.P.T.

8

Generarea de modulație de amplitudine cu bandă laterală unică (MA-BLU) I

- Modulator MA-BLU cu defazare (Hartley).

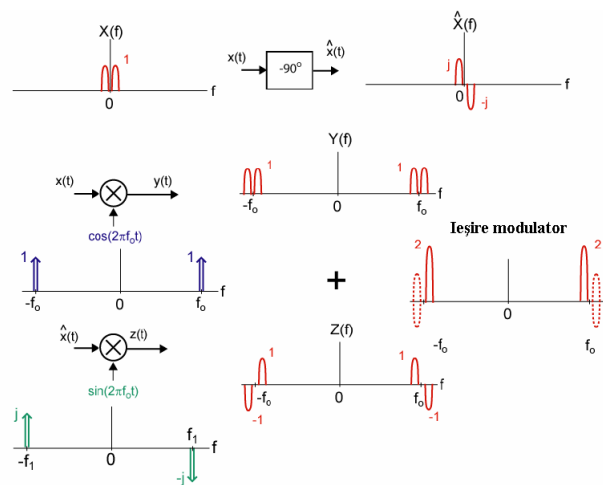


- Eliminarea unei benzi laterale depinde de egalizarea celor două căi în fază și amplitudine.

A. Campeanu U.P.T.

9

Reprezentarea în domeniul frecvență a funcționării modulatorului MA-BLU cu defazare

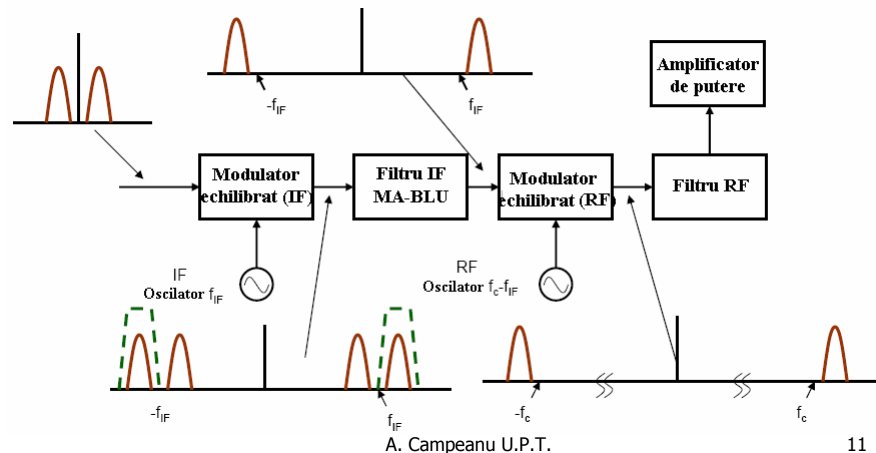


A. Campeanu U.P.T.

10

Generarea de modulație de amplitudine cu bandă laterală unică (MA-BLU) II

- Modulator MA-BLU cu heterodinare și eliminarea prin filtrare a benzii laterale nedorite



11

Modulatorul MA-BLU cu heterodinare și eliminarea prin filtrare a benzii laterale nedorite

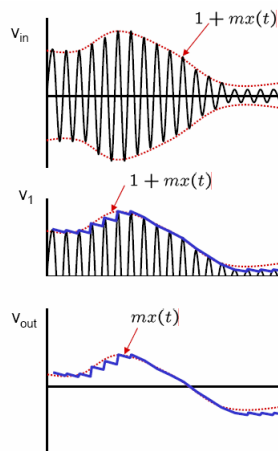
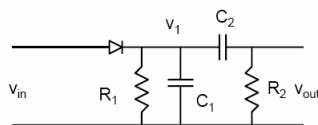
- Filtrarea benzii laterale nedorite necesită o mare selectivitate.
- Filtrarea unei benzi laterale se face mai ușor la o frecvență intermediară (IF) mai redusă decât la frecvența RF (de exemplu la frecvențe IF, filtrele cu unde acustice de suprafață (SAW) oferă selectivitate înaltă, atenuare de inserție redusă și factor de zgomot mic. Ele sunt de asemenea ieftine).
- Aceiași problemă se pune și pentru receptoare (nu numai în cazul receptorului MA-BLU). Receptoarele "superheterodină" reprezintă din același motiv, de câteva generații, cea mai bună soluție.
- Realizarea utilizează două oscilatoare.

Receptor rudimentar de MA: detectorul de anvelopă



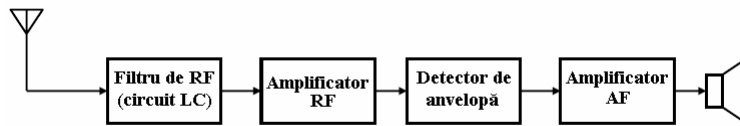
- Se utilizează numai la recepția semnalelor MA standard (semnal din banda de bază + componentă cc).
- Nu se utilizează componente active: soluție foarte simplă și ieftină).
- Sensitivitate scăzută: numai stații cu semnal puternic pot fi recepționate.
- Selectivitate redusă: (are un singur filtru RF).
- Putere redusă la ieșire în banda de bază: poate comanda doar microfoane cu cristal de mare eficiență.

Exemplu: detectorul de anvelopă





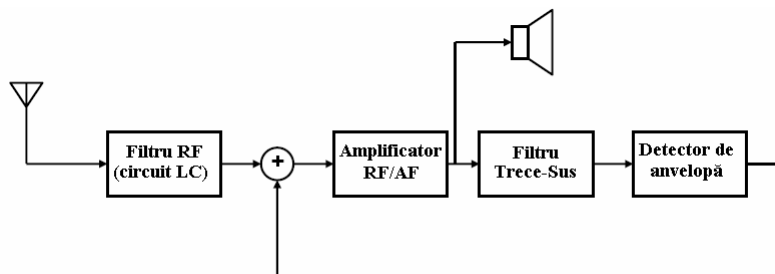
Receptor de MA standard cu amplificare



- Sensitivitate mai bună (amplificator RF).
- Poate comanda un difuzor (are amplificator de audio-frecvență – AF).
- Selectivitatea în RF rămâne în continuare o problemă.
- O soluție scumpă pentru că utiliza dispozitive active foarte scumpe la vremea lor (folosește cel puțin două dispozitive active).

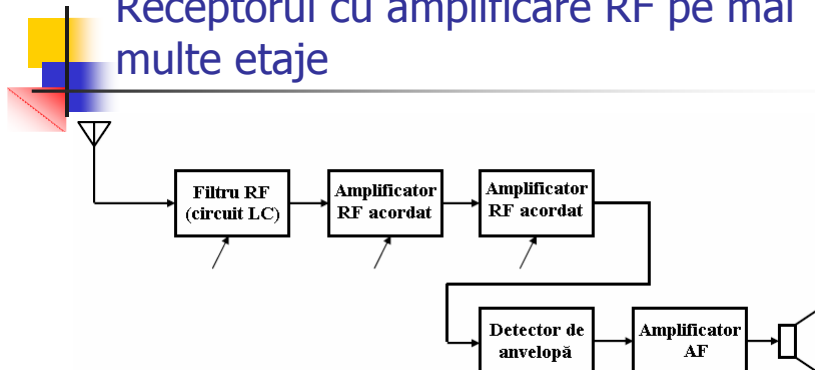


Receptorul reflex



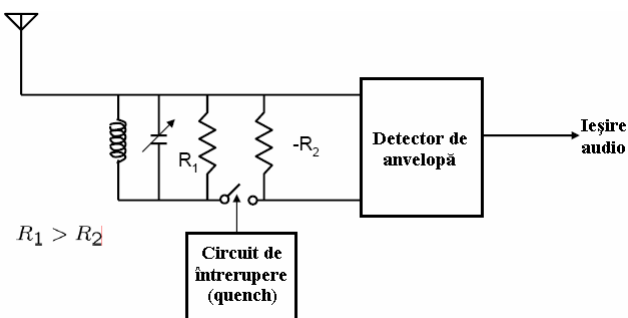
- Are aceleași proprietăți ca și receptorul MA cu amplificare.
- Un singur dispozitiv activ amplifică atât semnalele RF cât și semnalele AF.

Receptorul cu amplificare RF pe mai multe etaje



- Sensitivitate mare (amplificator RF multi-etaj).
- Selectivitatea înaltă este o necesitate datorită factorului de amplificare mare: circuite acordate cu Q mare.
- Acordarea separată a fiecărui etaj se face prin încercări succesive (necesită eforturi serioase).

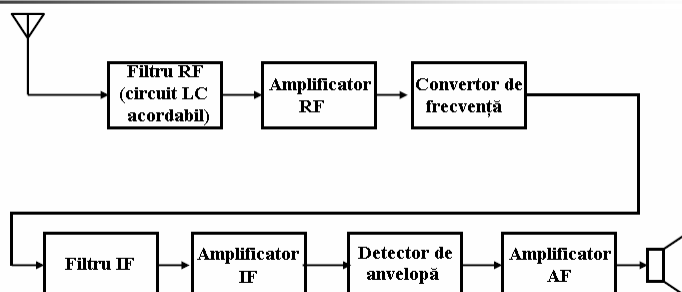
Receptorul cu "super-regenerare"



- Se utilizează un circuit de întrerupere periodică (*quench*) care asigură amplificări de ordinul milioane în întregul receptor.
- Circuitul *quench* este sau un oscilator (care întrerupe la momente regulate de timp) sau un detector de amplitudine (întrerupe atunci când amplitudinea prescrisă este atinsă).
- Amplificarea efectivă mare de RF poate fi realizată de un singur etaj (ieftin).
- Generează un zgomot specific datorat amplificării zgomotului termic în absența semnalului util.



Receptorul heterodină



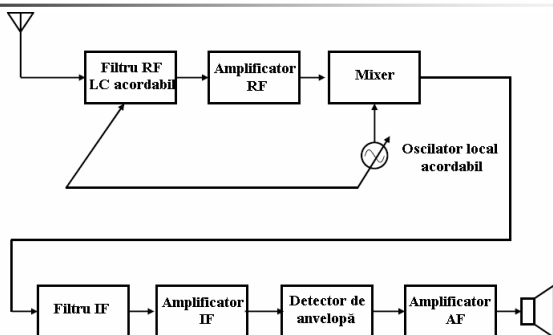
- Convertorul de frecvență "schimbă" frecvența semnalului RF recepționat în *frecvență intermediară* (IF) – creșterea selectivității se obține cu ajutorul filtrului IF de frecvență mai joasă și care lucrează pe o frecvență fixă.
- Selectivitate excelentă datorită filtrului suplimentar IF
- Tot amplificării suplimentare pe IF se datorează și creșterea sensibilității.

A. Campeanu U.P.T.

19



Receptorul superheterodină



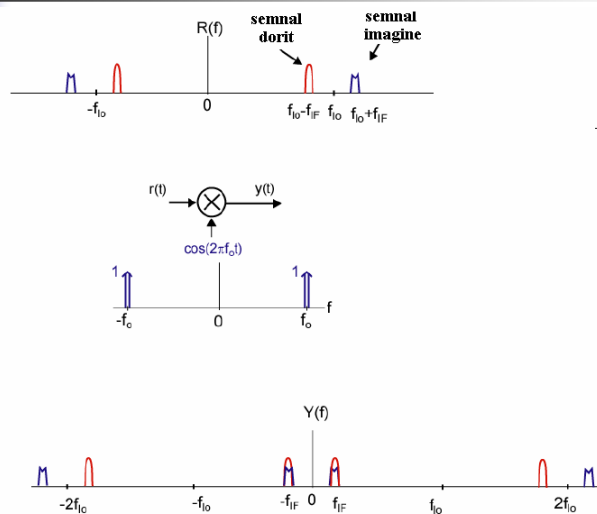
- Denumirea de superheterodină se datorează faptului că utilizează un oscilator local (LO) de frecvență mai mare decât frecvența purtătoare.
- Frecvența oscilatorului local urmărește frecvența de acord a filtrului RF prin intermediul unei capacități variabile cu mai multe secțiuni.

A. Campeanu U.P.T.

20



Reprezentarea în domeniul frecvență a funcționării receptorului superheterodină

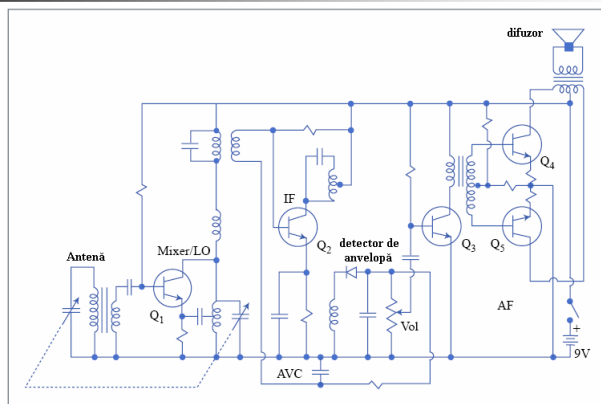


A. Campeanu U.P.T.

21



Exemplu de receptor superheterodină



- Frecvența oscilatorului local urmărește frecvența de acord a filtrului RF prin intermediul unei capacități variabile cu mai multe secțiuni.

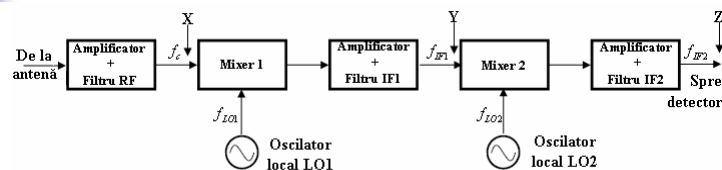
A. Campeanu U.P.T.

22

Rejecția semnalului imagine în receptoarele superheterodină

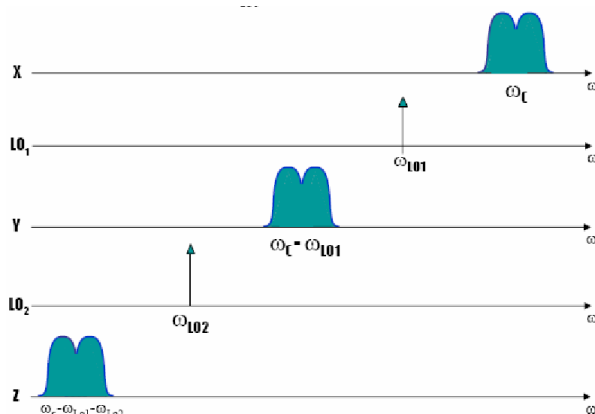
- De subliniat: semnalul imagine situat la o frecvență "oglină" față de frecvența oscilatorului local f_{LO} este convertit în aceeași bandă IF ca și semnalul RF.
- Filtrul RF trebuie să înlăture semnalul imagine (filtru de rejecție pe imagine).
- Pe de o parte se dorește utilizarea unei frecvențe IF cât mai mari (distanța dintre frecvența semnalului dorit și cea a semnalului imagine este de $2f_{IF}$).
- Pe de altă parte, o frecvență IF scăzută permite o filtrare mult mai ușoară pe frecvența imagine pentru filtrul IF.
- Tipic, f_{IF} se alege prin compromis la aproximativ jumătate din banda de frecvențe RF (de exemplu pentru banda AM 500-1700kHz se utilizează $f_{LO}=455\text{kHz}$ iar pentru banda FM 88-108MHz oscilatorul local are frecvența $f_{LO}=10,7\text{MHz}$).
- Alternativa este utilizarea unui mixer de rejecție pe imagine.

Receptor superheterodină cu mai multe etaje de frecvență intermediară



- Utilizarea a mai multor etaje de frecvență intermediară este o soluție pentru rejecția semnalelor imagine întrucât permite relaxarea condițiilor impuse blocurilor receptorului, îndeosebi filtrele RF și IF.
- Regulă empirică: raportul dintre frecvențele semnalelor de la intrarea și ieșirea unui mixer este maxim 10.
- Aplicarea regulii face ca pentru recepția unui semnal de frecvență 900MHz și bandă de 1MHz să se utilizeze trei etaje de frecvență intermediară: o primă conversie se face la $f_{IF1}=250\text{MHz}$, următoarea frecvență intermediară este $f_{IF2}=50\text{MHz}$, pentru că în final, cel de-al treilea etaj să aibă $f_{IF3}=10\text{MHz}$.
- Dezavantaje: cresc costurile, crește puterea consumată.

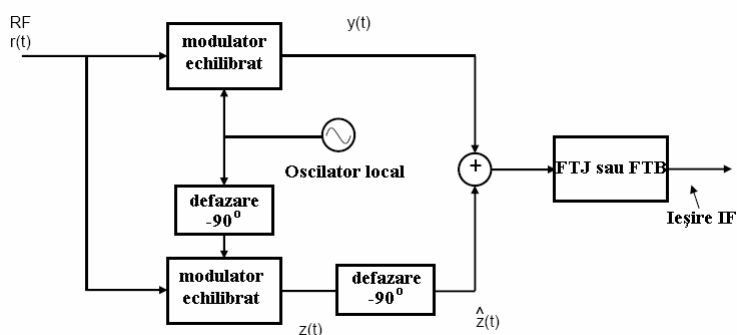
Reprezentarea în domeniul frecvență a funcționării receptorului superheterodină cu mai multe etaje de frecvență intermediară



A. Campeanu U.P.T.

25

Mixer cu rejecție pe imagine



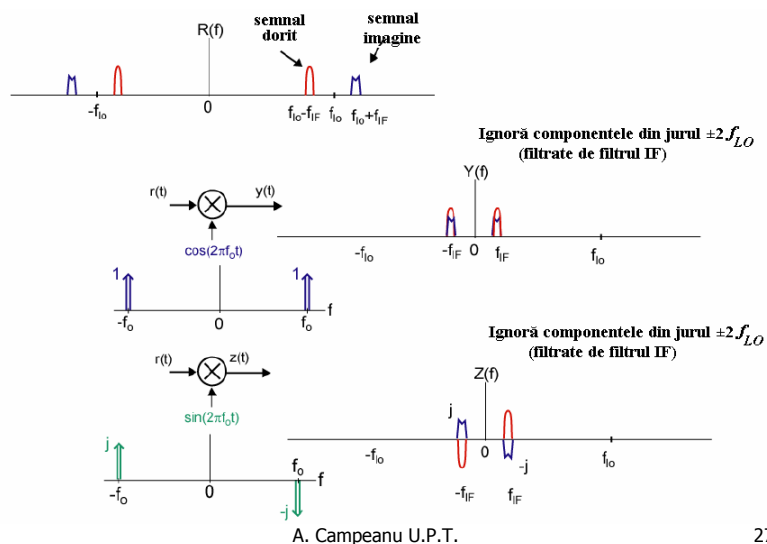
- Semnalul imagine este rejectat prin metode similare cu generarea MA-BLU (modulatorul Hartley).
- Rejecția pe imagine este limitată de către adaptarea pe amplitudine și fază a celor două ramuri de prelucrare a semnalului. O valoare tipică a ratei de supresie pe imagine este 40 dB.
- Filtrul RF poate reduce și mai mult semnalul imagine, dacă este necesar, altfel filtrul RF de rejecție pe imagine poate omis.

A. Campeanu U.P.T.

26



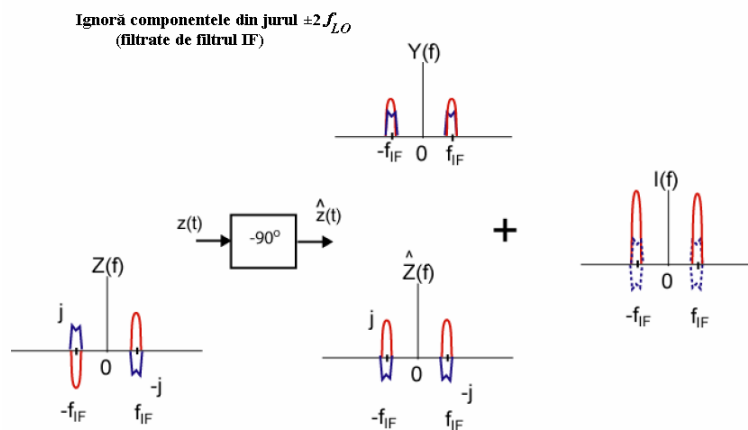
Reprezentarea în domeniul frecvență a funcționării mixerului cu rejecție pe imagine



27

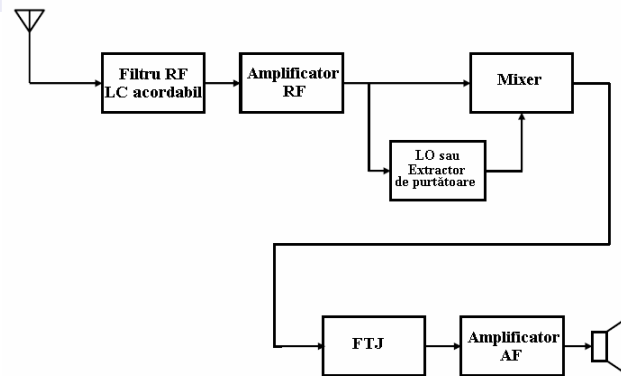


Reprezentarea în domeniul frecvență a funcționării mixerului cu rejecție pe imagine - continuare



28

Receptorul homodină (recepția coerentă)



- Recepția homodină se caracterizează printr-o frecvență a LO egală cu frecvența purtătoare a semnalului RF.
- Rezultatul mixării semnalului RF cu frecvența purtătoare este transferat direct în banda de bază: numai există semnal imagine pentru a fi rejectat.

A. Campeanu U.P.T.

29

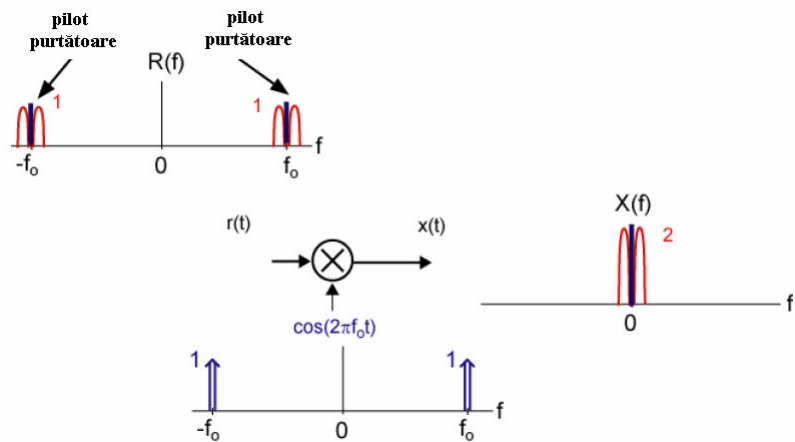
Receptorul homodină: continuare

- Nu este necesar un oscilator local (LO) dacă un semnal pilot al purtătoarei este prezent în semnalul RF recepționat – purtătoarea este extrasă din semnalul transmis (purtătoarea trebuie să fie inserată în semnalul MA-PS sau MA-BLU, altfel nu există compatibilitate cu transmisiunile standard MA-PS sau MA-BLU)
- În caz contrar, este necesar un oscilator local pe frecvența purtătoarei (vezi mai departe receptorul cu conversie directă).
- Extractorul de purtătoare poate fi un FTB de bandă îngustă, un circuit PLL sau un oscilator sincronizat de frecvența purtătoarei.
- Receptorul homodină reprezintă o formă de receptor cu conversie directă.

A. Campeanu U.P.T.

30

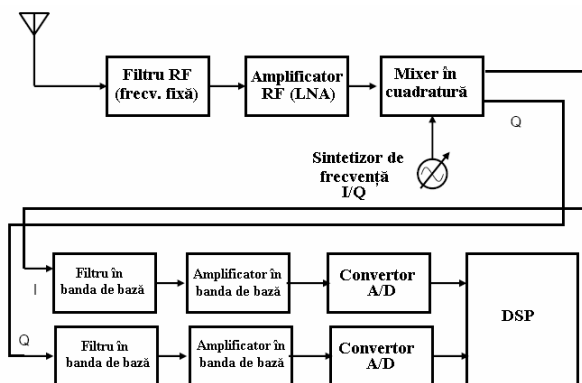
Reprezentarea în domeniul frecvență a funcționării receptorului homodină



A. Campeanu U.P.T.

31

Receptor cu conversie directă (Zero-IF)



- Face parte din categoria receptoarelor homodină.
- Utilizează detecția coerentă: este nevoie de un oscilator local precis (se folosește sinteza de frecvență).
- Nu se face filtrare IF astfel încât este posibilă integrarea pe un singur *chip* a întregului receptor.

A. Campeanu U.P.T.

32

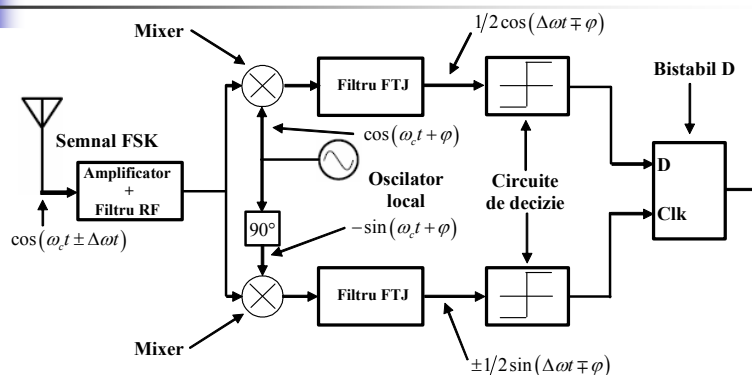


Receptor cu conversie directă (Zero-IF)

- Nu se face filtrare IF astfel încât este posibilă integrarea pe un singur *chip* a întregului receptor.
- Alegerea canalului (stație) se face în banda de bază.
- Întrucât filtrul de RF nu este selectiv, filtrul din banda de bază trebuie să rejeteze semnalele perturbatoare: el trebuie să aibă o gamă dinamică mult mai largă iar circuitul de prelucrare în banda de bază va avea o selectivitate înaltă.
- Filtrarea de canal se realizează tipic de către circuitele DSP.
- Nu se face rejecția semnalului imagine, întrucât acesta lipsește.
- Offsetul de cc variabil în timp datorat pătrunderii radiației oscilatorului local pe calea de semnal RF prin antenă sau blocul RF este principala problemă care limitează utilizarea recepției Zero-IF.
- Offsetul de cc poate fi mai mare decât semnalul util și saturează în consecință circuitele din banda de bază.
- Se utilizează în sistemele de comunicații care au cerințe limitate referitor la performanțe, oferind o cale simplă de realizare a receptoarelor.
- Pentru a elimina offsetul de cc specific receptoarelor Zero-IF sunt utilizate **receptoare cu frecvență intermediară scăzută (Low-IF)**. În acest caz, rejecția semnalului imagine se face în domeniul digital.



Exemplu de receptor cu conversie directă cu demodulare digitală a semnalului FSK



- Receptorul FSK este utilizat în aplicații tip *pager*, în care cerințele în ceea ce privește frecvența, viteza de semnalizare și sensibilitatea la puterea de intrare sunt relativ mici în raport cu standardele telefoniei mobile.
- Semnalele RF de intrare corespunzătoare nivelelor logice "1" și "0" sunt:

$$s_1 \sim \cos(\omega_c + \Delta\omega) \quad s_0 \sim \cos(\omega_c - \Delta\omega) .$$



Exemplu: receptor cu conversie directă FSK - continuare

- Oscilatorul local este calat pe frecvența purtătoare, dar are faza φ arbitrară în raport cu semnalul de intrare.

- Pe ramura în fază (superioară) a receptorului, mixarea cu oscilatorul local are drept rezultat semnalul:

$$I_{mix} = \cos(\omega_c t \pm \Delta\omega t) \cos(\omega_c t + \varphi) = \frac{1}{2} [\cos(\pm\Delta\omega t - \varphi) + \cos(2\omega_c t + \dots)]$$

- După filtrarea trece-jos, semnalul canalului în fază este:

$$I_{LP} = \frac{1}{2} \cos(\Delta\omega t \mp \varphi)$$

- Circuitele de decizie convertesc semnalul sinusoidal într-un semnal dreptunghiular cu defazare identică. De remarcat că faza oscilatorului local este conținută în faza semnalului I, având semnul determinat de bitul semnalului recepționat.

- Pe ramura în cuadratură, se scrie:

$$Q_{mix} = -\cos(\omega_c t \pm \Delta\omega t) \sin(\omega_c t + \varphi) = \frac{1}{2} [\sin(\pm\Delta\omega t - \varphi) - \sin(2\omega_c t + \dots)]$$

- După filtrul trece-jos, semnul semnalului de pe canalul în cuadratură corespunde bitului semnalului RF recepționat:

$$Q_{LP} = \pm \frac{1}{2} \sin(\Delta\omega t \mp \varphi)$$

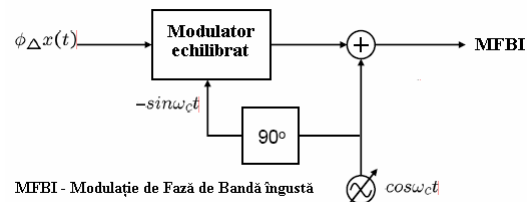
- Se observă că faza oscilatorului local este conținută în faza semnalului în cuadratură în același mod în care se face acest lucru la semnalul în fază.
- Decizia dacă a fost recepționat la intrare un "1" sau un "0" logic, este dacă semnalul Q este în avans sau în întârziere față de semnalul I. În cea mai simplă formă, aceasta poate fi luată de un bistabil D, așa cum se arată în figură.



Circuite pentru emisia și recepția semnalelor cu modulație de anvelopă constantă



Modulator de fază de bandă îngustă



- Modulația de fază de bandă îngustă se caracterizează prin:

$$\Phi_{\Delta} \ll 1, \quad |x(t)| \leq 1$$
- Ținând seama că argumentul $\Phi_{\Delta}x(t)$ este mic, se poate face aproximarea:

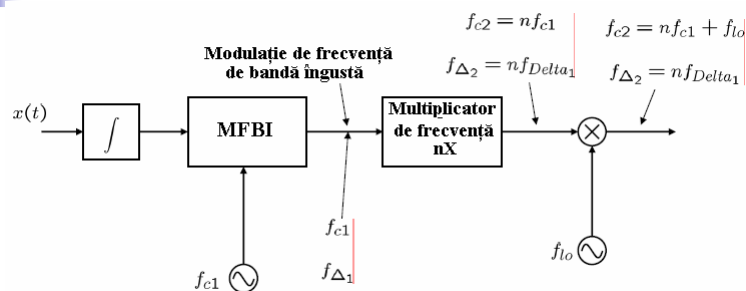
$$x_{MFBI}(t) = A \cos(\omega_c t + \Phi_{\Delta}x(t)) \approx A \cos \omega_c t - A \Phi_{\Delta}x(t) \sin \omega_c t$$
- Concluzia este că o configurație tipică de modulație de amplitudine poate utilizată pentru a genera modulație de fază de bandă îngustă.

A. Campeanu U.P.T.

37



Generarea indirectă a semnalului modulat în frecvență

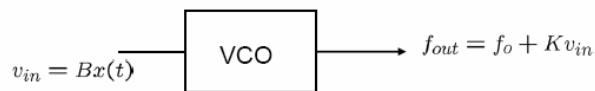


- Multiplicatorul de frecvență amplifică banda de frecvență ocupată de semnalul MF cu nX.

A. Campeanu U.P.T.

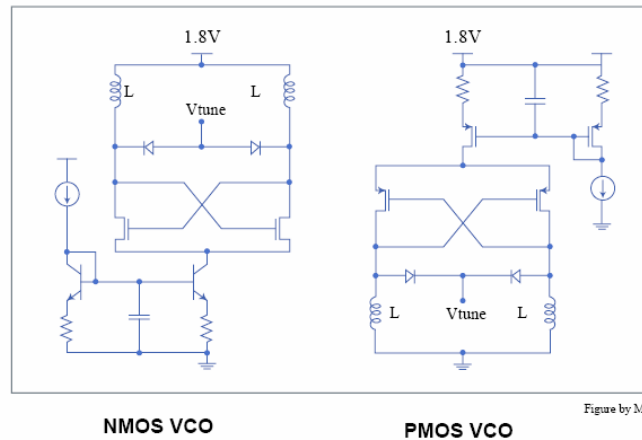
38

Generarea directă a semnalului MF: Oscilatorul comandat în tensiune (VCO)

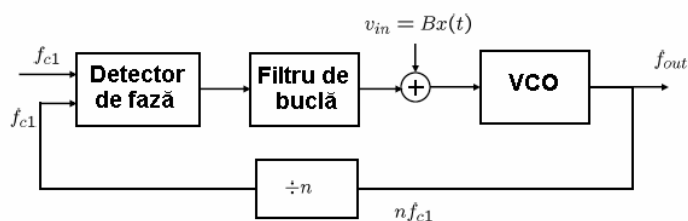


- f_o : frecvența de oscilație "liberă" a VCO.
- Se utilizează un varactor (diodă cu capacitate variabilă comandată în tensiune) pentru a varia frecvența de oscilație a oscilatorului.
- E dificilă menținerea precisă a frecvenței de ieșire datorită derivei frecvenței VCO.
- Zgomot de fază important.

Exemple de oscilatoare comandate în tensiune (VCO)

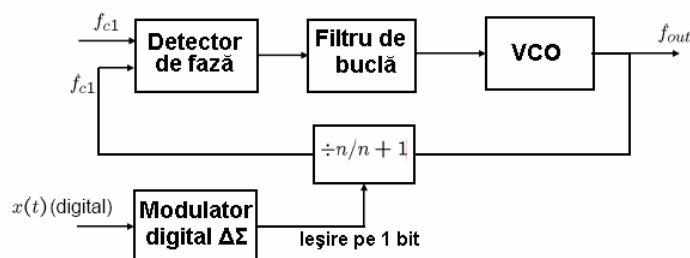


Generarea MF în circuite cu calare de fază (circuite PLL)



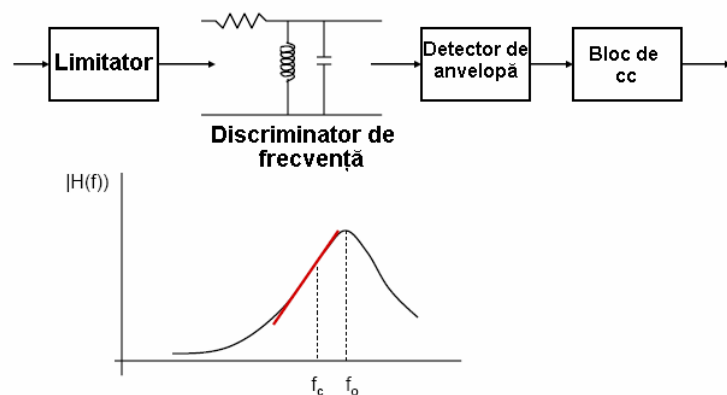
- Banda buclei PLL trebuie să fie mai redusă decât cea mai scăzută frecvență din banda semnalului modulator.
- Frecvența centrală a semnalului MF este menținută precis de către frecvența de referință, f_{cl} , obținută de la un oscilator cu cuarț.

Generarea digitală a MF cu un sintetizator fracțional modulo $N/N+1$



- Factorul de umplere a semnalului dreptunghiular de la ieșirea divizorului modulo $N/N+1$ este modulat de semnalul modulator $x(t)$.
- Semnalul de intrare $x(t)$ este modulat $\Delta\Sigma$ cu scopul de a elimina zgomotul de cuantizare din banda de trecere a buclei PLL.

Demodularea semnalelor MF: Discriminatorul de frecvență

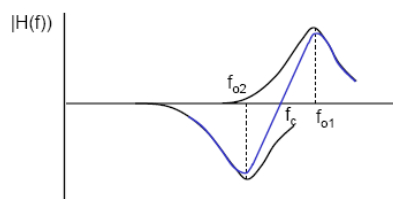
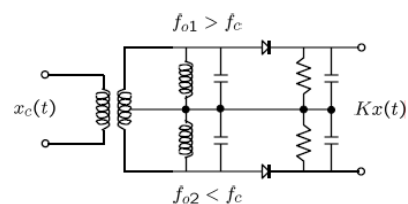


- Domeniul de linearitate a caracteristicii f-V este redus: se utilizează discriminatorul echilibrat (diferențial).

A. Campeanu U.P.T.

43

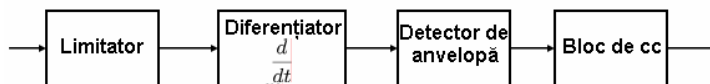
Demodularea semnalelor MF: Discriminatorul de frecvență echilibrat



A. Campeanu U.P.T.

44

Demodularea de frecvență prin conversia MF/MA

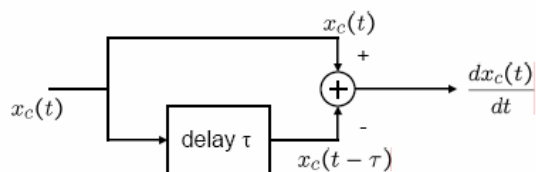


- Diferențiatorul convertește semnalul modulat MF în semnal modulat MA.
- Modulația de amplitudine parazită suprapusă peste semnalul recepționat trebuie să fie înlăturată de limitator.

Exemplu de demodulator MF: Demodulatorul cu linie de întârziere

$$\frac{dv(t)}{dt} = \lim_{\epsilon} \frac{1}{\epsilon} [v(t) - v(t - \epsilon)]$$

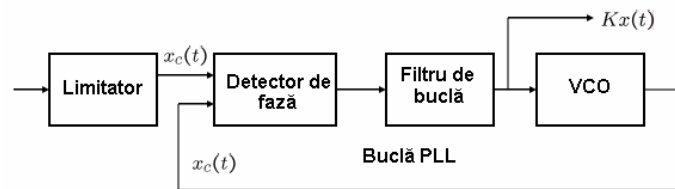
$$\frac{dx_c(t)}{dt} \approx \frac{1}{\tau} [x_c(t) - x_c(t - \tau)]$$



- Implementarea digitală a demodulatorului utilizează o linie de întârziere.



Demodularea MF cu PLL



- Semnalul de ieșire este reprezentat de tensiunea de intrare a oscilatorului VCO.
- VCO se găsește în bucla de reacție: caracteristica intrare-ieșire a circuitului reprezintă inversa funcției VCO (conversia f/V).