

ROȘCA ANGELA DOINA

SEMNALE PENTRU COMUNICAȚII ELECTRONICE

MATERIAL DE ÎNVĂȚARE
partea a I-a



2020

Modulul IV

**SEMNALE PENTRU COMUNICAȚII
ELECTRONICE**

Material de învățare

Partea a I-a

Domeniul de pregătire profesională: Electronică automatizări

Calificarea profesională: Tehnician de telecomunicații

Nivel 4

AUTOR:

ANGELA DOINA ROȘCA – Profesor grad didactic I

Colegiul Tehnic de Comunicații “ Augustin Maior” Cluj-Napoca

2020

Cuprins

I. Introducere	4
II. Resurse	4
Fișa de documentare 1.1. Mărimi caracteristice ale semnalelor analogice	5
Activitatea de învățare 1: Semnale analogice	11
Activitatea de învățare 3: Mărimi caracteristice ale semnalelor analogice	12
Activitatea de învățare 3: Mărimi caracteristice ale semnalelor analogice	13
Fișa de documentare 1.2. Modularea și demodularea semnalelor.....	14
Activitatea de învățare 1: Modularea și demodularea semnalelor.....	23
Activitatea de învățare 2: Modulația de amplitudine (MA)	24
Activitatea de învățare 3: Modulația de amplitudine (MA)- fișă de lucru.....	25
Activitatea de învățare 4: Modularea și demodularea semnalelor.....	26
III. Glosar	28
IV. Bibliografie	29

I. Introducere

Materialul de învățare are rolul de a conduce elevul la dobândirea de cunoștințe, abilități și atitudini necesare practicării/angajării în una din ocupațiile specificate în SPP-ul corespunzător calificării profesionale de nivel 4, *Tehnician de telecomunicații*, din domeniul de pregătire profesională *Electronică automatizări* sau continuarea pregătirii într-o calificare de nivel superior.

Domeniul: **Electronică automatizări**

Calificarea: **Tehnician de telecomunicații**

Nivelul de calificare: **4**

Materialul cuprinde:

- fișe de documentare
- activități de învățare
- glosar

Activitățile de învățare corespunzătoare fiecărui conținut sunt astfel concepute încât să răspundă unor stiluri variate de învățare, în care să se regăsească fiecare elev și care să contribuie la extinderea abilităților individuale de a relaționa cu "lumea reală" (*conform recomandărilor din Curriculum pentru clasa a XI-a, Tehnician de telecomunicații*).

Pentru formarea competențelor cheie se recomandă utilizarea de activități de învățare prin care elevii să-și dezvolte abilitățile de lucru în echipă, de comunicare, asumarea inițiativei în rezolvarea unor probleme etc.

Pentru modulul "Semnale pentru comunicații electronice" se recomandă ca, pe lângă metodele de învățământ clasice, să se utilizeze, cu preponderență, metode specifice învățării centrate pe elev, metode folosite și în proiectarea activităților de învățare ale acestui auxiliar curricular, de exemplu: împerecherea, expansiunea, diagrama păiangen, problematizarea, harta tip traseu, peer learning – metoda grupurilor de experți etc.

II. Resurse

Prezentul material de învățare cuprinde diferite tipuri de resurse care pot fi folosite de elevi:

- fișe de documentare
- activități de învățare

Elevii pot folosi materialul prezent atât în forma printată cât și varianta echivalentă online.

Tema 1: Semnale analogice

Fișa de documentare 1.1. Mărimi caracteristice și unități de măsură ale semnalelor analogice



Introducere

SEMNAL, semnale, s. n. - semn convențional (sonor sau vizual) sau grup de astfel de semne folosite pentru a transmite la distanță o înștiințare, o informație, un avertisment, o comandă etc.

O mărime fizică care există și evoluează în timp este un **semnal** (fizic). Semnalele sunt de o mare varietate: electrice (tensiuni, curenți), electromagnetice (intensitate câmp electric, inducție câmp magnetic), termice, mecanice, optice, biologice etc. Semnale pot fi: - **utile**, dacă sunt folosite într-un scop oarecare, sau - **perturbații** - orice semnal, altul decât cel util, este o perturbație; semnalele perturbatoare aleatorii sunt numite de obicei zgomote.

În sistemele de telecomunicații se vehiculează o varietate de semnale utile, dintre care cele mai frecvente sunt: semnalul audio (de audiofrecvență, AF), semnalul video (de televiziune, TV) și semnalele de date (digitale).



Definiție

Un **semnal electric** este numit **analogic** când este proporțional cu mărimea fizică pe care o reprezintă semnalul electric. (de ex. o electrocardiogramă reprezintă variația în timp a presiunii corespunzătoare pulsațiilor mușchiului cardiac, temperatura mediului ambiant, undele sonore, undele luminoase).

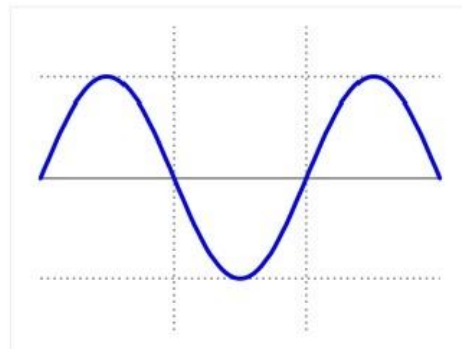
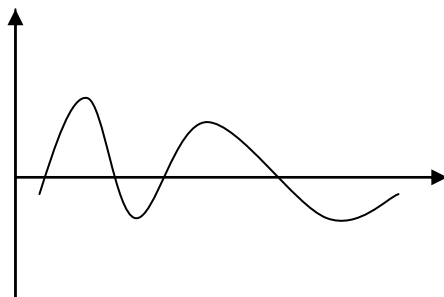


Fig. 1. Semnale electrice analogice

Exemple de semnale analogice:

- Semnale electrice: tensiune, curent, camp electric, camp magnetic;
- Semnale mecanice: deplasare, viteza, unghi, viteza unghiulara, forte, cuplu, presiune;
- Semnale fizico-chimice: temperatura, concentratie pH. Pentru a putea fi prelucrate, aceste semnale trebuie convertite in marimi electrice cu ajutorul unor traductoare.

Reprezentare grafica

Exemple de semnale analogice: - semnalele sinusoidale

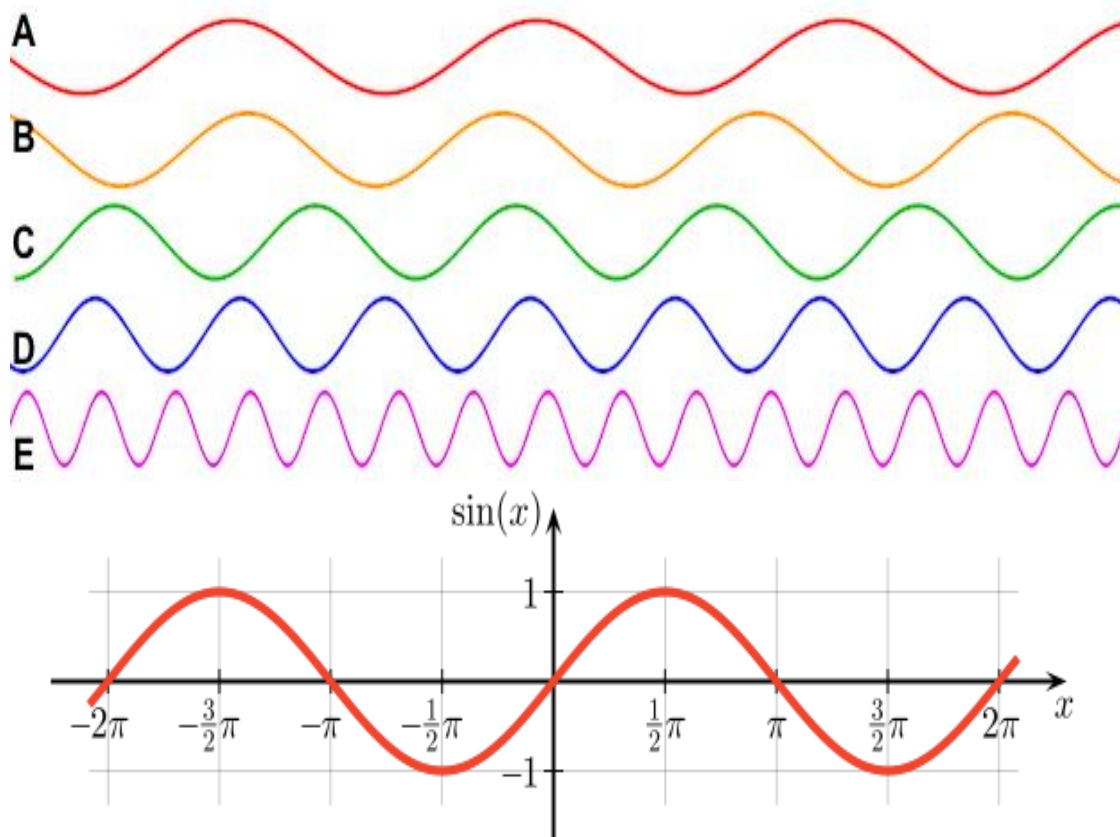


Fig. 2. Semnale sinusoidale

SEMNALELE ANALOGICE pot fi descrise prin funcții $V(t)$, definite pentru toate valorile variabilei continue timp (t).

Mărimile caracteristice ale semnalelor analogice sunt:

- Amplitudinea
- Frecvența
- Faza

Expresia analitică a unui semnal analogic este:

$$x(t) = A \sin(\omega_0 t + \varphi) \quad (1.1)$$

Considerând că (1.1) descrie un semnal electric (tensiune sau curent), parametrii ce-l definesc sunt următorii:

A – amplitudinea semnalului, cu unități de măsură **voltți [V]** – pentru tensiune sau **amperi [A]**- pentru intensitatea curentului.

Observație:

Valoarea efectivă a semnalului este definită astfel:

$$A_{ef} = \frac{\sqrt{2}}{2} A \approx 0.707 A$$

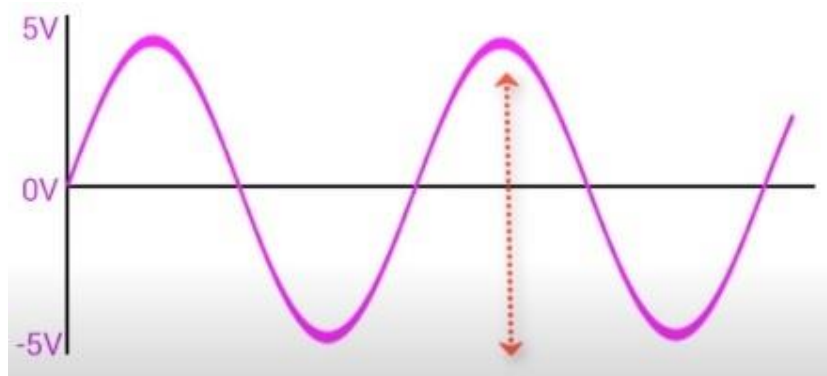


Fig. 3. Amplitudinea semnalului

În exemplul din fig. 3 amplitudinea vârf la vârf este 10 V.

ω_0 - pulsația [rad/s].

$$\omega_0 = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f$$

Unde :

T – perioada semnalului [s]

f - frecvența semnalului [Hz]

φ - faza [rad].

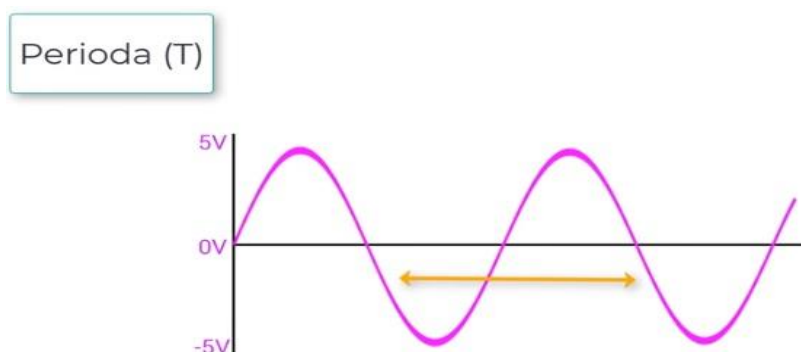


Fig. 4. Perioada semnalului

Frecvența semnalului este invers proporțională cu perioada:

$$f = \frac{1}{T}$$

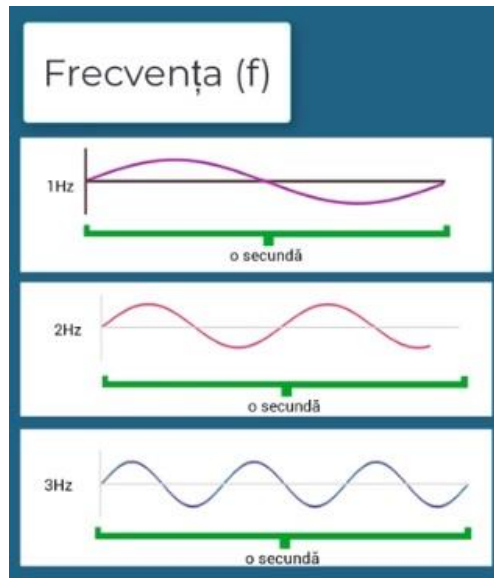


Fig. 5. Frecvența semnalului

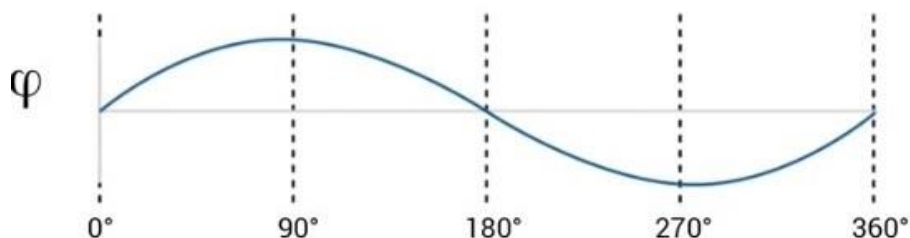


Fig. 6. Faza semnalului

Raportul semnal-zgomot

În telecomunicații sunt vehiculate o varietate de semnale – unele utile (cu informații, pentru teste, comenzi, sincronizări etc.), altele inutile – perturbații. La modul cel mai general, semnalele utile sunt:

- purtătoare de informații, de tip aleator, dintre care principalele sunt: semnalele audio (vocal și muzică), semnalele TV și semnalele de date;
- semnale de test și de control, de tip determinist, de o mare varietate, cum sunt: tonuri cu frecvențe fixe sau combinații, semnale de sincronizare de diverse tipuri etc.

În transmiterea semnalelor analogice o *importanță majoră* o reprezintă influența *semnalelor perturbatoare*.

Semnalul perturbator este un semnal parazit care nu conține semnal util dar se suprapune peste acesta.

De obicei au un caracter aleatoriu dar pot fi și semnale deterministe (pot fi exprimate printr-o lege de variație cunoscută, de ex.: brumul, semnale de la stații de radioemisie, etc.). Orice semnal perturbator de aceeași natură cu semnalul analogic peste care se suprapune, produce o eroare relativă egală cu raportul celor două semnale.

- În domeniul de frecvențe ($10^3 - 10^5$) Hz perturbațiile au un nivel relativ constant și se numesc *zgomot alb*.
- Peste 10^5 Hz nivelul perturbațiilor începe să crească în special datorită factorilor externi: emițătoare radio –TV, convertoare electrice de înaltă frecvență.



Definiție

Raportul semnal/zgomot reprezintă raportul dintre puterea semnalului util și puterea perturbației într-un punct dat al sistemului de transmisiune:

Raportul semnal-zgomot este o caracteristică importantă a oricărui sistem de comunicații: cu cât acest raport este mai mic, cu atât mai dificilă este extragerea semnalului util; sub anumite rapoarte comunicația devine imposibilă.

Nivelul zgomotului măsurat psfometric se exprimă de obicei în dBmp.

Într-un canal de comunicații analogice puterea (nivelul) semnalului util variază în limite destul de largi, raportul acestor limite reprezentând gama dinamică a semnalului:

Dinamica (dB) = $10 \log(\text{Nivel maxim} / \text{Nivel minim})$

În literatură, nivelul relativ al semnalului vocal (exprimat logaritmic) mai este numit și nivel dinamic sau volum.

Din punctul de vedere al circuitelor, gama dinamică a semnalelor nu poate fi oricât de mare: limita inferioară este determinată de posibilitatea separării de zgomote iar limita superioară de posibilitățile de prelucrare electronică a semnalelor (saturație, distorsiuni).

Posibilitățile de reducere a raportului semnal util - zgomot (raportul dintre puterea semnalului util și puterea corespunzătoare perturbațiilor dintr-un punct al liniei de transmitere) este **modularea** (în amplitudine, frecvență sau fază) pentru emițător și respectiv **demodularea** pentru receptor.

Nivele relative (dB, Np) și absolute (dBW, dBm, dBu).

Puterea, tensiunea, intensitatea unui curent electric, mărimi caracteristice ale unui semnal electric, pot fi exprimate în unități absolute – W (mW, μ W), V (mV, μ V), A (mA, μ A), cifrele urmate de unitatea mărimii respective reprezentând valoarea absolută a puterii, tensiunii sau curentului.

În cazul reprezentării relative a puterilor se folosește frecvent o exprimare în unități logaritmice: decibel (dB) sau neper (Np), numită frecvent nivel sau nivel relativ sub formele:

$$N_{db}=10 \log P/P_0 \text{ (dB)}, \quad N_{np}=1/2 \ln P/P_0 \text{ (Np)}$$

$$(1 \text{ dB} = 0,115 \text{ Np}; 1 \text{ Np} = 8,686 \text{ dB})$$

Nivel de distorsiuni

Semnalele reale sunt limitate în timp, având spectrul extins la infinit. Nici un sistem real nu poate vehicula semnale într-o bandă de frecvență infinită fără să le modifice în nici un fel. Un sistem capabil să asigure semnalul de ieșire asemenea cu cel de intrare, adică:

$$x_e(t) = K x_i(t) \quad (K = \text{constant, real})$$

se numește nedistorsionant și nu poate fi realizat.

Aceasta înseamnă că nici un semnal recepționat nu este asemenea cu cel de intrare, adică este distorsionat. Problema este “cât de mare este distorsiunea” introdusă de sistem. În domeniul frecvență, lipsa distorsiunilor înseamnă că semnalul de ieșire din sistem are același spectru (raportat la o constantă) ca și cel de intrare. Orice diferență între spectre înseamnă că există distorsiuni.

Observațiile de mai sus duc la următoarele concluzii:

- ✓ un sistem nedistorsionant nu se poate realiza;
- ✓ distorsiunile trebuie să fie destul de mici pentru ca informația să poată fi recuperată;
- ✓ este necesară cunoașterea spectrului semnalului de intrare (util) și determinarea spectrului necesar pentru ca la recepție mesajul să fie inteligibil (la calitatea impusă);
- ✓ cunoscând caracteristicile semnalului util la intrare și a celui necesar la ieșire, se poate proiecta și realiza sistemul de comunicații astfel încât să asigure transmiterea spectrului cu distorsiuni acceptabile.

Activitatea de învățare 1: Semnale analogice

Rezultat al învățării: *Utilizarea semnalelor și mediilor de comunicații electronice*

Obiectivul/obiective vizate:

După realizarea acestei activități vei putea:

- să definești un semnal analogic
- să analizezi parametrii semnalelor analogice și unitățile de măsură



Durata: 15 minute



Tipul activității: Expansiune

Sugestii:

- elevii se pot organiza în grupe mici (2-3 elevi) sau pot lucra individual;

Sarcina de lucru:

Pornind de la următoarele enunțuri incomplete, realizați un eseu de aproximativ 10 rânduri în care să dezvoltați ideile conținute în enunțuri. În realizarea eseului trebuie să folosiți minim 10 expresii din lista de mai jos.

„Un semnal electric este numit analogic.....”
„Exemple de semnale analogice sunt.....”
„Mărimile caracteristice ale semnalelor analogice sunt.....”
„Unitățile de măsură ale mărimilor.....”
„Raportul semnal/zgomot reprezintă.....”
„Semnalele perturbatoare aleatorii sunt numite.....”

Alte sugestii și recomandări:

Pentru rezolvarea acestei activități de învățare este necesară parcurgerea Fișei de documentare 1.1 și a Glosarului de termeni

Activitatea de învățare 2: Mărimi caracteristice ale semnalelor analogice

Rezultat al învățării: *Utilizarea semnalelor și mediilor de comunicații electronice*

Obiectivul/obiective vizate:

După realizarea acestei activități vei putea:

- să identifici parametrii semnalelor analogice
- să caracterizezi parametrii semnalelor analogice



Durata: 10 minute



Tipul activității: Peer learning – metoda grupurilor de experți

Sugestii:

- elevii se vor împărți în 5 grupe;

Sarcina de lucru:

Fiecare grupă trebuie să completeze câte o linie a tabelului. Pentru acest lucru aveți la dispoziție 10 minute. După ce ați devenit „experți” în subtema studiată, reorganizați grupele astfel încât în grupele nou formate să existe cel puțin o persoană din fiecare grupă inițială. Timp de 10 minute veți împărți cu ceilalți colegi din grupa nou formată cunoștințele acumulate la pasul anterior.

Parametrii	Caracteristici
Amplitudine	
Frecvența	
Faza	
Raportul semnal/zgomot	
Nivel de distorsiuni	

Alte sugestii și recomandări:

Pentru rezolvarea acestei activități de învățare este necesară parcurgerea Fișei de documentare 1.1 și a Glosarului de termeni.

Activitatea de învățare 3: Mărimi caracteristice ale semnalelor analogice

Rezultat al învățării: *Utilizarea semnalelor și mediilor de comunicații electronice*

Obiectivul/obiective vizate:

După realizarea acestei activități vei putea:

- să analizezi parametrii unui semnal analogic
- să determini valorile parametrilor unui semnal analogic
- să operezi cu unitățile de măsură



Durata: 20 minute



Tipul activității: Problematizarea

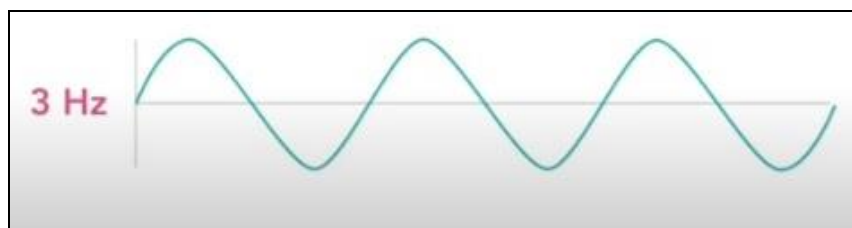
Sugestii:

- elevii se pot organiza în grupe mici (2-3 elevi) sau pot lucra individual;

Sarcina de lucru:

Semnalul sinusoidal din figura de mai jos are o frecvență de 3 Hz.

- 1) Determinați perioada și pulsația semnalului
- 2) Dacă amplitudinea semnalului este de 10 V, calculați valoarea efectivă a semnalului.
- 3) Transformați A_{ef} în mV.



Alte sugestii și recomandări:

Pentru rezolvarea acestei activități de învățare este necesară parcurgerea Fișei de documentare 1.1 și a Glosarului de termeni.

Fișa de documentare 1.2. Modularea și demodularea semnalelor

1.2.1. Generalități



Definiție

Modulația este un proces prin care un parametru care caracterizează un semnal purtător (amplitudine, frecvență, fază) este modificat de un semnal de modulație, astfel încât parametrul modulat urmărește fidel forma semnalului de modulație, rezultând: modulația de amplitudine, de frecvență sau de fază.

Semnalul care este modulat poartă numele de **semnal purtător** deoarece el transportă informația de la un capăt la celălalt al canalului de comunicație.

Folosind frecvențe mari ca purtătoare, modulate cu semnale de frecvențe vocale (300 ÷ 3400 Hz), se vor putea realiza simultan, pe același circuit fizic, atâtea legături de telecomunicații câte frecvențe purtătoare se utilizează. Deci prin multiplexare în frecvență realizăm schimbarea prin modulare a frecvenței căilor pentru a utiliza întregul spectru de transmitere.

Principala aplicație a modulației este transmiterea unui semnal informațional, folosind o altă bandă de frecvență decât cea pe care este acesta situat. Consecința imediată a acestei afirmații este că se pot transmite mai multe semnale (convorbiri, de exemplu) pe același canal de frecvențe, în același timp.

Informația de interes (care se dorește să fie transmisă) se prezintă sub forma analogică (voce, muzică, variație de temperatură, etc.) iar matematic este descrisă printr-o funcție continuă.

Unda purtătoare de frecvență înaltă are expresia:

$$U_F(t) = A_0 \cos \omega_0 t = A \cos 2\pi F t$$

Oricare dintre cei trei parametri ai săi (amplitudine A , frecvență F sau fază φ) poate fi modificat de semnalul modulator U_f de joasă frecvență.

$$U_f(t) = A_m \cos \omega_m t = A_m \cos 2\pi f t$$

Rezultă astfel trei tipuri de modulații:

- **modulația de amplitudine (MA)** = amplitudinea instantanee a unei purtătoare variază în funcție de semnalul de modulație;
- **modulație de frecvență (MF)** = frecvența instantanee a unei purtătoare variază în funcție de semnalul de modulație;
- **modulația de fază (MP)** = faza instantanee φ a unei purtătoare variază în funcție de semnalul de modulație.

Clasificarea modulațiilor

După categoria din care face parte semnalul modulator (purtător de informație), modulațiile se clasifică în două mari grupe:

- **modulații analogice**: modulația în amplitudine (MA), modulația în frecvență (MF) și modulația în fază (MP)

- **modulații digitale:** ASK (*amplitude shift keying*), FSK (*frequency shift keying*), PSK (*phase shift keying*).

1.2.2. Modulația de amplitudine (MA).

Acest tip de modulație se realizează prin montaje cu elemente neliniare numite modatoare.

Unda purtătoare: $U_F(t) = A_0 \cos \omega_0 t = A_0 \cos 2\pi Ft$

Semnalul modulator: $U_f(t) = A_m \cos \omega_m t = A_m \cos 2\pi ft$

Unda modulată în amplitudine va avea o amplitudine variabilă în timp între două valori extreme A_{max} și A_{min} . La amplitudinea A_0 a purtătoarei se adună semnalul modulator.

$$\Rightarrow A(t) = A_0 + A_m \cos \omega_m t = A_0 (1 + A_m/A_0 \cos \omega_m t) = A_0 (1 + m \cos \omega_m t)$$

unde, $m = A_m/A_0$ – reprezintă gradul de modulație

Semnalul modulată $U(t)$ va avea expresia:

$$U(t) = A_0 (1 + m \cos \omega_m t) \cos \omega_0 t$$

$$U(t) = A_0 \cos \omega_0 t + mA_0/2 \cos (\omega_0 - \omega_m)t + mA_0/2 \cos (\omega_0 + \omega_m)t$$

Această expresie arată că semnalul modulată în amplitudine MA are trei componente:

1. **Purtătoarea - cu parametrii: A_0, F, φ**
2. **O componentă laterală inferioară - cu parametrii: $m, A_0/2, F-f$**
3. **O componentă laterală superioară - cu parametrii: $m, A_0/2, F+f$**

Reprezentând pe o axă a frecvențelor amplitudinile acestor componente rezultă spectrul de frecvențe a oscilațiilor modulate în amplitudine (fig. 7).

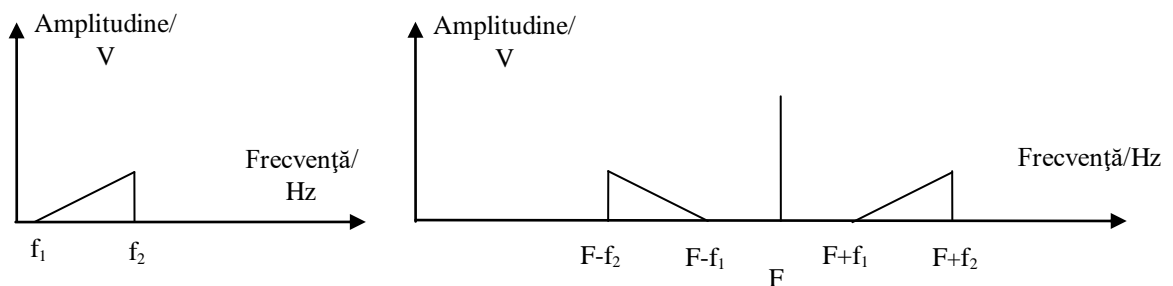


Fig. 7. Spectrul de frecvență a oscilațiilor modulate în amplitudine

Dacă semnalul modulator este nesinusoidal dar periodic acesta poate fi descompus în armonice, iar spectrul oscilațiilor modulate în amplitudine va conține:

1. o bandă laterală inferioară –cuprinzând toate componentele de frecvențe $F-f, F-2f, \dots$
2. o bandă laterală superioară cu componente de frecvență $F+f, F+2f, \dots$

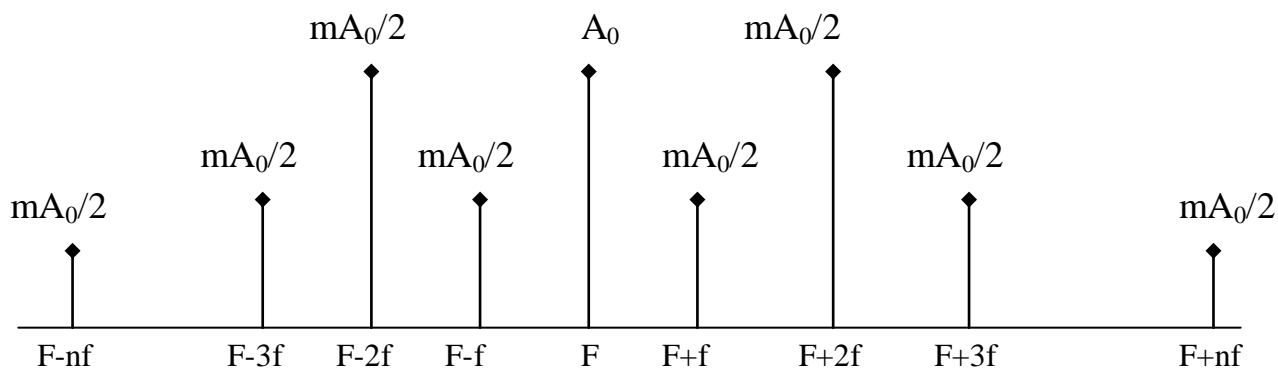


Fig. 8. Spectrul de frecvență a oscilațiilor modulate în amplitudine cu un modul nesinusoidal dar periodic

Banda de frecvențe: $B = f_{\max} - f_{\min} = 2 \Delta f_{\max}$,

iar gradul de modulație este: $m = A_m/A_0$,

$$m = (A_{\max} - A_{\min}) / (A_{\max} + A_{\min}); \quad m \leq 1$$

Forma semnalelor MA este prezentată în fig.de mai jos.

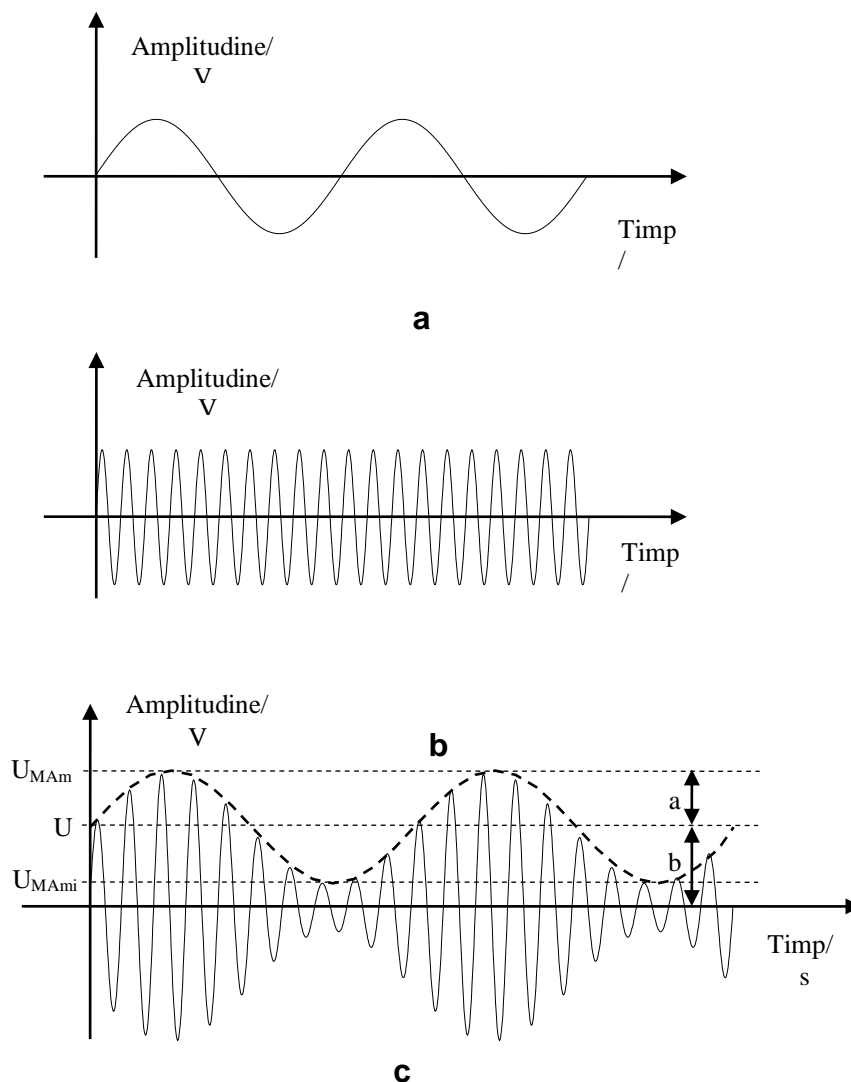


Fig.9. Forma semnalelor MA: a - semnal modulator; b - semnal purtător; c - semnal modulat.

1.2.3. Modulația de bandă laterală unică

Modulația de amplitudine se împarte în mai multe categorii:

- Ambele benzi laterale (DSB - *double side bands*), cu sau fără purtătoare suprimată
- Banda laterală unică (BLU), cu purtătoare suprimată (BLU-PS) sau fără.

Modulația în amplitudine cu purtătoare suprimată MA-PS (modulație de tip produs)

Deoarece purtătoarea nu conține informație utilă și necesită un consum inutil de putere, pentru economie, la emisie se suprimă purtătoarea și se emit numai benzile laterale. Suprimarea semnalului purtător se realizează prin utilizarea așa numitelor modulatori echilibrați.

Modelul matematic este detaliat mai jos.

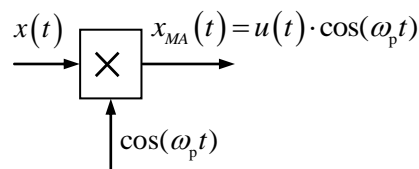


Fig. 10. Modulator de tip produs

Fie $x(t)$ semnalul modulator. Presupunem că acesta modulează un purtător cosinusoidal cu amplitudinea $A_p = 1$. Semnalul modulat este:

$$x_{MA}(t) = x(t) \cdot \cos(\omega_p t)$$

Atunci când semnalul modulator, $x(t)$, își schimbă semnul, în momentul t_0 (vezi fig. 11), semnalul modulat în amplitudine cu modulație de tip produs își inversează faza.

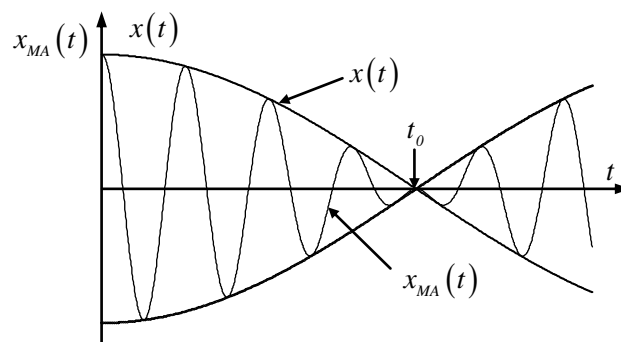


Fig. 11. Modulația de tip produs a unui semnal

Demodularea de tip produs

Extragerea semnalului de bază din cel modulat nu se poate face printr-o simplă detecție/redresare, pentru că – așa cum se remarcă din fig. 11 – atunci când se schimbă faza semnalului modulat, trebuie să se inverseze semnul semnalului extras din înfășurătoarea lui $x_{MA}(t)$. O asemenea comportare se realizează cu un **demodulator sensibil la fază**. Schema bloc a demodulatorului pentru semnale MA de tip produs este

dată în fig. 12. El implică existența purtătoarei $x_p(t)$ la recepție (unde se realizează demodularea).

Pentru simplificarea calculului, vom presupune $A_p = 1$. La ieșirea circuitului de tip produs se obține variabila $v(t) = x_{MA}(t) \cdot \cos(\omega_p t)$, a cărei caracteristică spectrală se deduce ca mai jos:

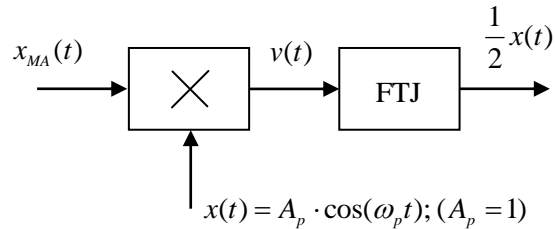


Fig. 12. Demodulator de tip produs

Caracteristicile spectrale $X_{MA}(\omega)$ și $V(\omega)$ sunt prezentate în fig. 13.

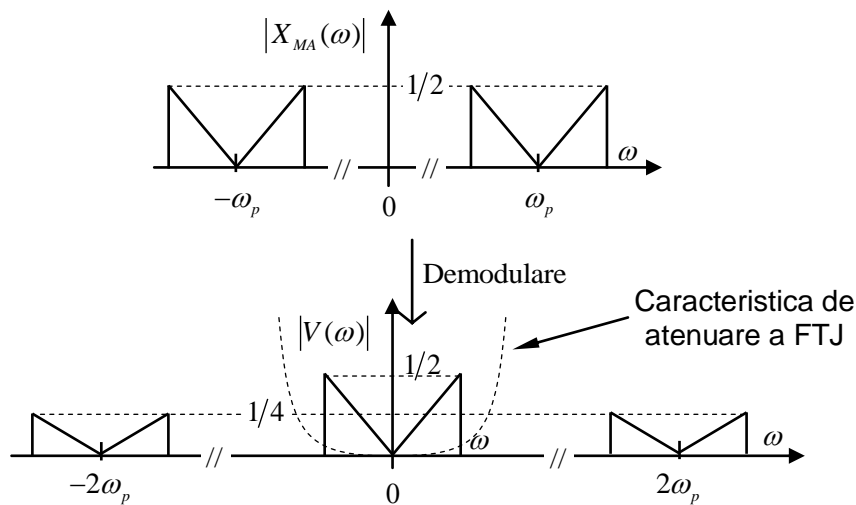


Fig. 13. Funcționarea demodulatorului de tip produs

Filtrul trece-jos (FTJ), situat după circuitul de înmulțire, elimină componentele de înaltă frecvență din zona pulsațiilor $\omega \pm 2\omega_p$, și extrage numai componenta spectrală de joasă frecvență: $\frac{1}{4} \cdot 2X(\omega) = \frac{1}{2} X(\omega)$. În consecință, la ieșirea FTJ se va obține $(1/2) \cdot x(t)$.

1.2.4. Modulația în amplitudine cu bandă laterală unică (BLU)

Banda de frecvență pentru o transmisie cu modulație în amplitudine este dată de relația:

$$B = f_{\max} - f_{\min} = \Delta f = (f_p + f_m) - (f_p - f_m) = 2 \cdot f_m$$

Pentru un domeniu de frecvențe relația devine:

$$B = \Delta f = (f_p + F_2) - (f_p - F_2) = 2 \cdot F_2$$

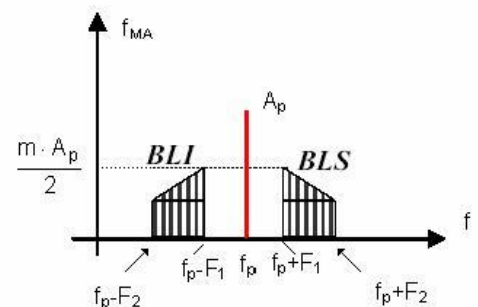


Fig.14. Modulația cu un domeniu de frecvențe F_1, F_2

Concluzii: în spectrul de frecvențe al unei modulate în amplitudine purtătoarea nu este purtătoare de informație. Rolul purtătoarei este de a facilita procesul invers modulării și anume demodularea la recepție.

La modulația de tip produs, analizată în secțiunea anterioară, banda ocupată de semnalul modulat este dublă față de cea minimă necesară. Pentru a mări capacitatea de transmisie a unui canal fizic, este util să se utilizeze o modulație care furnizează o singură bandă din cele 2 benzi rezultate în modulația de tip produs: fie banda superioară (în raport cu pulsația ω_p), fie banda inferioară. O asemenea modulație se numește cu **bandă laterală unică (BLU)**.

O soluție aparent simplă de obținere a unui semnal MA-BLU constă în selectarea, cu ajutorul unui filtru trece-bandă (FTB), a uneia din benzile laterale obținute cu un modulator de tip produs. Această soluție are un dezavantaj important în transmisiunile telefonice, unde banda semnalului de bază este în domeniul 0,3 – 3,4 kHz: ecartul între limita inferioară a benzii laterale superioare și limita superioară a benzii laterale inferioare este foarte mic, de $0,3+0,3= 0,6\text{kHz}$, în jurul frecvenței purtătoare f_p .

Rezultă că FTB trebuie să aibă o foarte bună selectivitate, astfel încât să suprimă banda inferioară fără a afecta zonele adiacente din banda laterală superioară.

1.2.5. Modulația în cuadratură

Orice canal de comunicație are o bandă de frecvențe finită și suportă o putere limitată a semnalelor ce trec prin el. Aceste două limitări sunt esențiale pentru proiectarea sistemelor de comunicație.

O metodă de modulație frecvent utilizată este modulația de amplitudine în cuadratură (Quadrature amplitude modulation QAM).

Cu acest tip de modulație două semnale, independente, în banda de bază sunt transmise în aceeași bandă de frecvențe.

Acest lucru este posibil pentru că un semnal modulează un purtător cosinusoidal, iar celălalt modulează un purtător sinusoidal de aceeași frecvență.

Principiul unui modulator - demodulator QAM este prezentat în fig de mai jos.

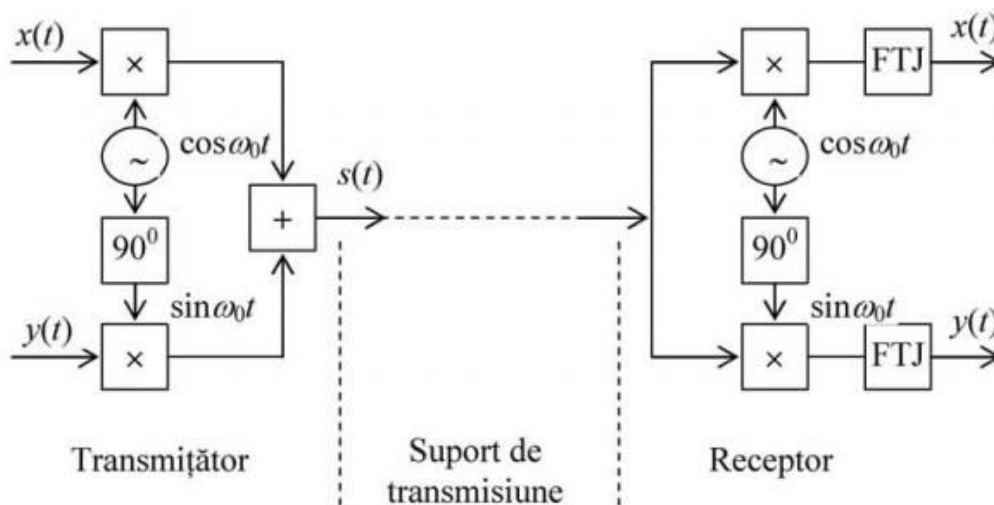


Fig. 15. Principiul unui modulator - demodulator QAM

La recepție, pentru a obține semnalul în banda de bază $x(t)$, semnalul QAM recepționat este multiplicat cu un semnal purtător local $\cos \omega_0 t$:

$$s(t) \cos \omega_0 t = 1/2 [x(t) + x(t) \cos 2 \omega_0 t + y(t) \sin 2 \omega_0 t]$$

Componentele $x(t)\cos 2\omega_0 t$ și $y(t)\sin 2\omega_0 t$ reprezintă semnale MA cu spectrele centrate pe frecvența $2f_0$ și pot fi eliminate folosind un filtru trece jos. În același mod, poate fi obținut semnalul $y(t)$, semnalul recepționat $s(t)$ fiind multiplicat cu purtătorul local $\sin \omega_0 t$.

1.2.6. Modulația în frecvență (MF)



Definiție

Modulația în frecvență constă în variația frecvenței instantanee a semnalului purtător ca urmare a variației semnalului modulator.

Comparativ cu MA, aceasta tehnică oferă două mari avantaje și anume:

- semnalul obținut în urma modulării MF este imun la interferențe cu zgomote de tip aditiv și prin urmare transmisia/recepția este mai „clară”.
- întrucât amplitudinea este menținută constantă, randamentul circuitelor electrice de generare, respectiv detectare a modulației este superior față de modulația în amplitudine.

Descrierea matematică a unui semnal MF este următoarea (pentru simplitatea calculelor faza instantanee se considera zero):

$x_M(t)$ - semnalul modulator

Pentru un semnal sinusoidal de forma $x_M(t) = A_m \cos \omega_m t$, semnalul modulat în frecvență va fi:

$$x_{MF}(t) = A_p \cos(\omega_p t + k_f A_m / \omega_m \sin \omega_m t)$$

Relația $k_f A_m = \Delta \omega$ poartă denumirea de **deviație de frecvență** a semnalului MF și reprezintă variația maximă a frecvenței instantanee față de frecvența semnalului modulator,

iar $\Delta \omega / \omega_m = \beta$ se numește **indice de modulație în frecvență**. Cu aceste relații, semnalul MF se scrie sub forma:

$$x_{MF}(t) = A_p \cos(\omega_p t + \beta \sin \omega_m t).$$

unde:

- $\beta = \frac{\Delta \omega}{\omega_m}$ reprezintă indicele de modulație
- A_p amplitudinea constantă a unei purtătoare
- ω_p pulsația centrală a unei purtătoare
- ω_m pulsația semnalului modulator
- $\Delta \omega$ deviația de frecvență a purtătoarei.

În fig. de mai jos sunt reprezentate formele de undă pentru semnalul util, purtător și modulat în frecvență.

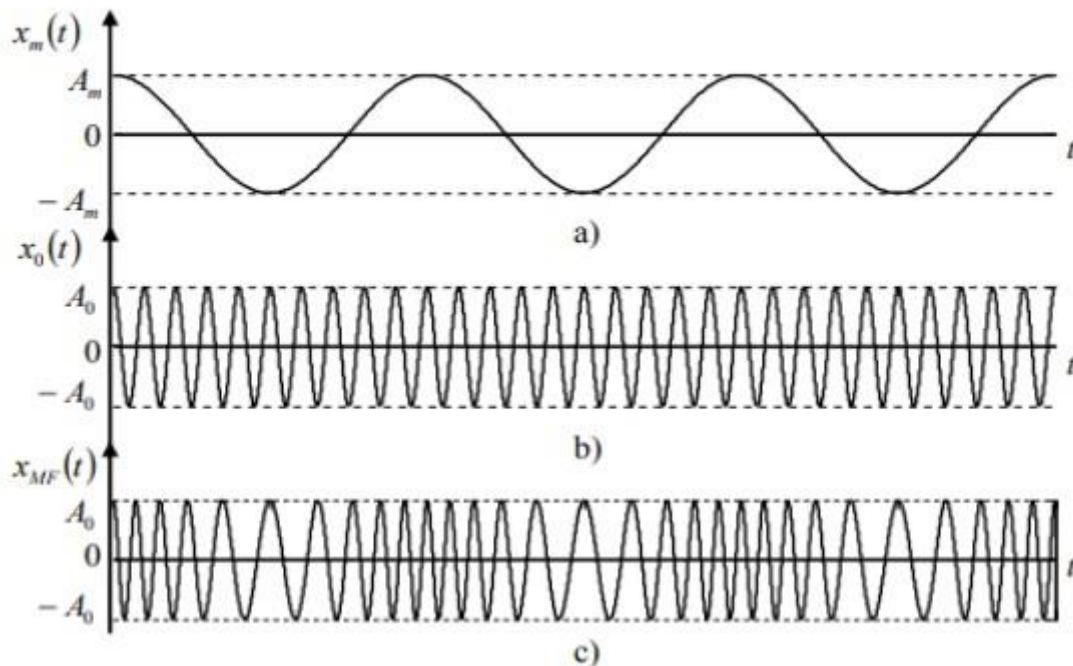


Fig. 16. a-c. Formele de undă pentru semnalele modulator, purtător și respectiv modulat în frecvență în cazul armonic

1.2.7. Modulația în fază (MP)



Definiție

Procesul de modulație în care se modifică faza semnalului purtător în ritmul semnalului util ce trebuie transmis se numește **modulație în fază** (MP sau MΦ).

Această formă de modulație este foarte asemănătoare funcțional cu modulația în frecvență, ele fiind cunoscute în literatura de specialitate sub denumirea de **modulații unghiulare**.

Între faza și frecvența unui semnal, există o strânsă legătură: - faza se determină prin derivarea frecvenței la un anumit moment de timp.

Invers, frecvența unui semnal se determină prin operația de integrare a fazei pe o anumită durată sau perioadă de timp.

În consecință, semnalul MP se poate obține cu lejeritate, utilizând tehnica de modulație MF cu condiția ca, în prealabil, semnalul purtător de informație (modulator) să fie supus unei operații de derivare.

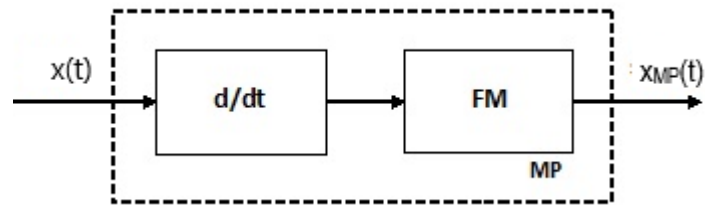


Fig.17. Principiul unui modulator în fază

Dacă semnalul modulator este de forma, $x_0(t)=A_0 \cos(\omega_0 t + \varphi_0)$ iar semnalul purtător sinusoidal are expresia $x_p(t)=A_p \cos(\omega_p t + \varphi_p)$, atunci semnalul modulat în fază va avea expresia:

$$x_{MP}(t) = A_p \cdot \cos(\omega_p \cdot t + \varphi \cdot \cos \omega_m \cdot t + \varphi_p),$$

unde φ reprezintă deviația de fază.

Ceilați parametri au aceeași semnificație ca și în cazul modulațiilor MA, MF.

Analiza spectrală în cazul M Φ este asemănătoare cu cea obținută la modulația în frecvență. Datorită dependenței dintre faza unei oscilații și pulsația sa, modulația în frecvență atrage după sine și o modulație a fazei.

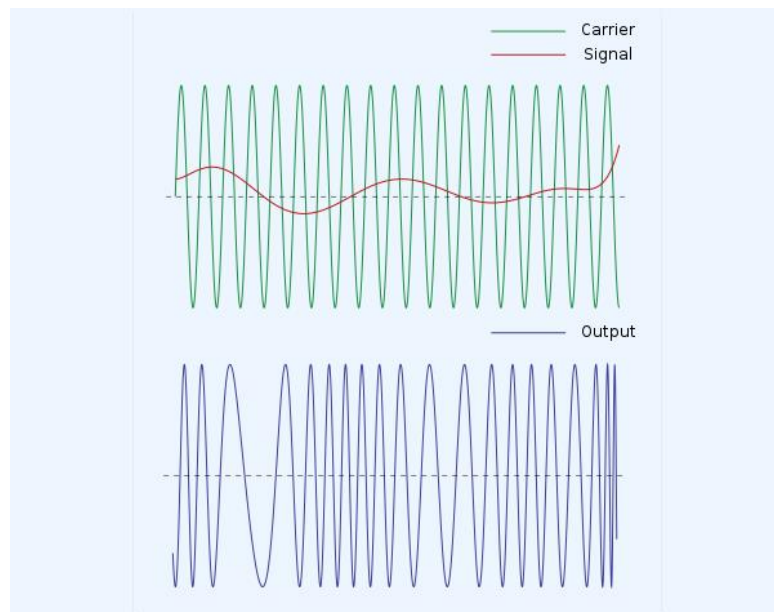


Fig.18. Formele de undă pentru semnalele modulator (roșu), purtător (verde) și respectiv semnalul modulat (albastru)

Activitatea de învățare 1: Modularea și demodularea semnalelor

Rezultat al învățării: *Utilizarea semnalelor și mediilor de comunicații electronice*

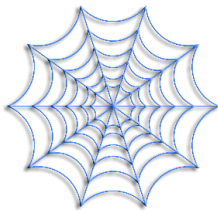
Obiectivul/obiective vizate:

După realizarea acestei activități vei putea:

- să definești modulația și semnalele implicate
- să clasifici modulațiile
- să identifici tipurile de tehnici de modulație



Durata: 15 minute



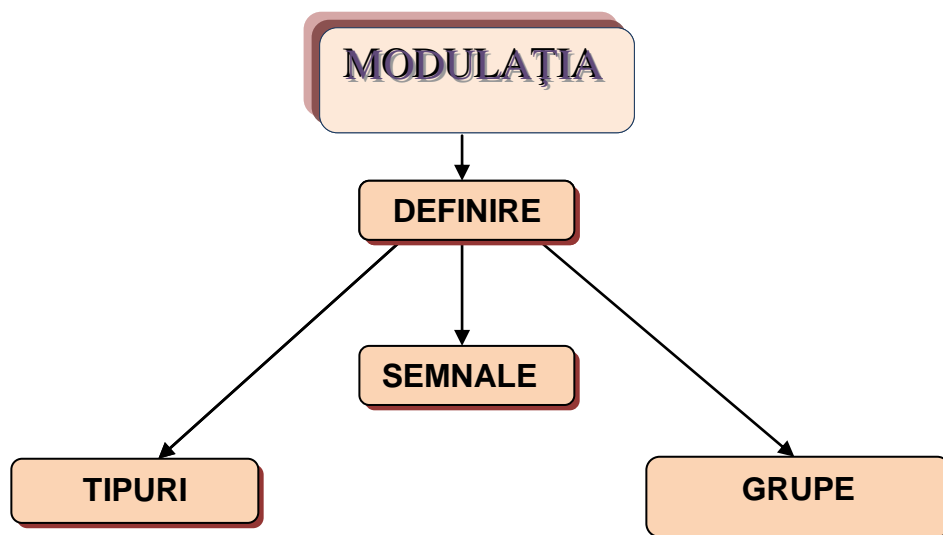
Tipul activității: Diagrama păianjen

Sugestii:

- elevii se pot organiza în grupe mici (2-3 elevi) sau pot lucra individual;

Sarcina de lucru:

Folosind surse diferite (internet, reviste de specialitate, caiet de notițe etc.) obțineți informații despre tehnicile de modulație, semnale implicate și parametrii acestora. Organizați informațiile după modelul următor.



Alte sugestii și recomandări:

Pentru rezolvarea acestei activități de învățare este necesară parcurgerea Fișei de documentare 1.2 și a Glosarului de termeni.

Activitatea de învățare 2: Modulația de amplitudine (MA)

Rezultat al învățării: *Utilizarea semnalelor și mediilor de comunicații electronice*

Obiectivul/obiective vizate:

După realizarea acestei activități vei putea:

- să analizezi o transmisie cu modulația în amplitudine
- să determini valorile benzilor de frecvență ale unui semnalului modulat
- să reprezinți grafic spectrul de frecvență a oscilațiilor modulate în amplitudine



Durata: 20 minute



Tipul activității: Problematizarea

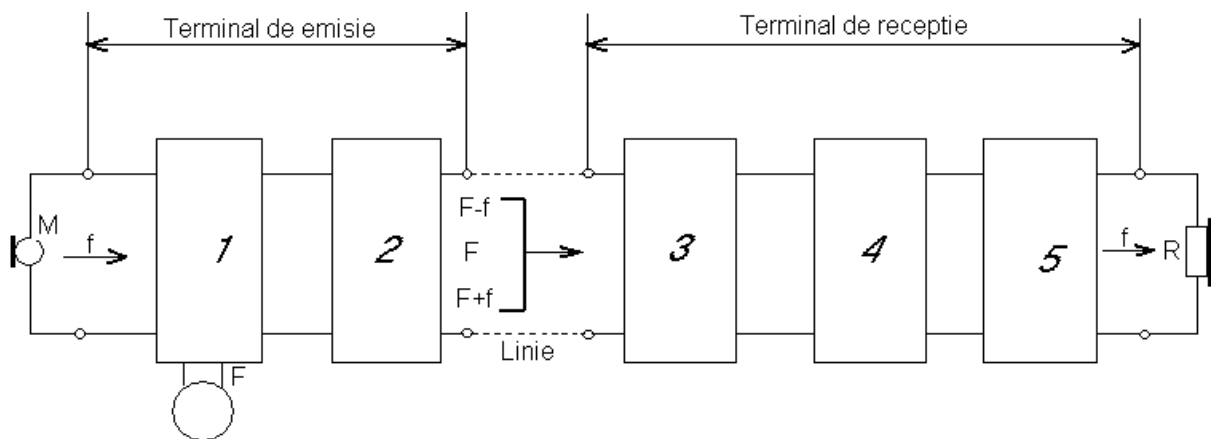
Sugestii:

- elevii se pot organiza în grupe mici (2-3 elevi) sau pot lucra individual;

Sarcina de lucru:

Se dă schema de mai jos a unei transmisii telefonice cu ambele benzi laterale unde:

- 1 – modulator
- 2 și 3 filtre trece bandă
- 4 – demodulator
- 5 – filtru trece jos



Se cere:

- Calculați spectrele de frecvență obținute pentru o transmisie, la ieșirea elementului 2 dacă la cele 2 intrări se aplică semnalele:
 - purtător $u_F = 50 \cos 2\pi 10^4 t$ V
 - modulator $u_f = 30 \cos 2\pi 10^3 t$ V
- Reprezentați grafic spectrele de frecvență pentru această transmisie.
- Calculați gradul de modulație al semnalului la ieșirea elementului 1.

Activitatea de învățare 3: Modulația de amplitudine (MA)- fișă de lucru

Rezultat al învățării: Utilizarea semnalelor și mediilor de comunicații electronice

Obiectivul/obiective vizate:

După realizarea acestei activități vei putea:

- să analizezi modulația în amplitudine
- să vizualizezi cu ajutorul osciloscopului semnalele: modulator, purtător, modulat
- să interpretezi forma semnalelor
- să calculezi gradul de modulație și să-l interpretezi.

Durata: 30 minute

Sugestii:

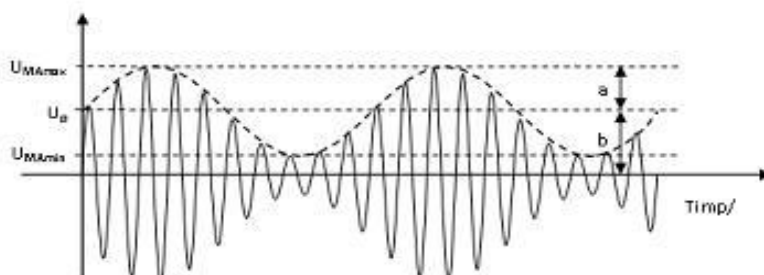
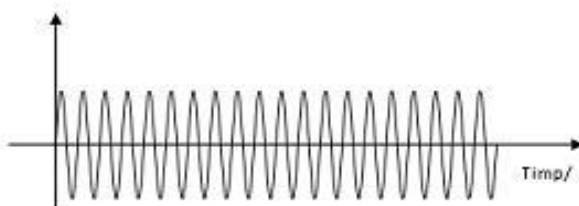
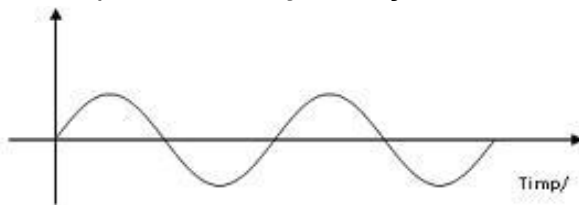
- elevii se pot organiza în grupe mici (2 elevi) sau pot lucra individual;

Sarcina de lucru:

Alegeți aparatele necesare pentru a vizualiza semnalele necesare unei modulații în amplitudine și anume:

- **circuit modulator cu elemente neliniare aflat în dotarea laboratorului**
- **generator de semnale**
- **osciloscop cu 2 canale; sonde osciloscop**
- **sursă de alimentare a circuitului modulator**
- **cordoane de legătură**

Realizați conexiunile necesare astfel încât la intrarea circuitului modulator să conectați semnalul modulator și semnalul purtător. Alegeți parametrii acestor semnale în funcție de circuitul modulator aflat în dotarea laboratorului. Vizualizați pe rând cu ajutorul osciloscopului cele 2 semnale de intrare în circuit iar pe cel de-al doilea canal al osciloscopului conectați-l la ieșirea circuitului modulator (*fig. de mai jos*)



Calculați gradul de modulație folosind formula:
$$m = (A_{max} - A_{min}) / (A_{max} + A_{min})$$

Activitatea de învățare 4: Modularea și demodularea semnalelor

Rezultat al învățării: *Utilizarea semnalelor și mediilor de comunicații electronice*

Obiectivul/obiective vizate:

După realizarea acestei activități vei putea:

- să definești caracteristicile modulațiilor



Durata: 15 minute



Tipul activității: Împerechere (potrivire)

Sugestii:

- activitatea se poate face individual, un elev la câte un calculator sau folosind această fișă de lucru.

Sarcina de lucru:

Realizați asocierile necesare dintre sintagmele precizate în prima linie a tabelului și caracteristicile specificate în tabel.

1. Indice de modulație în frecvență;	
2. Banda de frecvență;	
3. Deviația de frecvență;	
4. Pulsația;	
5. Grad de modulație;	
	$k_f \cdot A_m = \Delta\omega$
	$\Delta\omega/\omega_m = \beta$
	$m = A_m/A_0$
	$B = f_{max} - f_{min}$
	$\omega = 2\pi f$

Alte sugestii și recomandări:

Pentru rezolvarea acestei activități de învățare este necesară parcurgerea Fișei de documentare 1.2 și a Glosarului de termeni.

1.3. Utilizări ale diverselor tipuri de modulații

În radiodifuziunea sonoră sunt folosite, în funcție de tipul programului transmis, modulația în amplitudine sau modulația în frecvență. Undele kilometrice, hectometrice și decametrice sunt modulate în amplitudine, iar cele metrice în frecvență. În televiziune, semnalul video modulează în amplitudine purtătoarea de imagine, iar semnalul audio modulează în amplitudine sau în frecvență purtătoarea de sunet. Pentru evitarea perturbării reciproce a emisiilor cu frecvențe purtătoare învecinate, repartizarea frecvențelor și a benzilor de frecvențe se stabilește prin acorduri internaționale în funcție de tipul de radiocomunicații, regiune a lumii, respectiv țară și stație de emisie.

Folosirea lungimilor de undă mici prezintă avantaje în ceea ce privește reducerea perturbațiilor, creșterea numărului de canale de transmisiune fără perturbare reciprocă, lărgirea domeniului de frecvențe a semnalului transmis precum și dirijarea emisieii, dar se micșorează zona de serviciu a emițătoarelor.

După tipul modulației emițătoarele se pot clasifica în emițătoare:

- **de amplitudine**
- **de frecvență**

În cazul transmisiilor prin radiorelee și sateliți, semnalele video complex și sunet se transmit pe canale separate, cu largimi de bandă diferite; în cazul transmisiilor audio stereofonice se folosesc două canale de sunet. Semnalele video și de sunet modulează în frecvență câte o purtătoare de RF din domeniul UIF – partea de sus sau SIF. În cazul semnalului video, deviația maximă de frecvență (Δf_p) este de ordinul a 10MHz; frecvența maximă a semnalului fiind 5MHz, rezultă un indice de modulație maxim $\beta_{max} \approx 2$ deci este necesară o bandă de circa 30MHz. În echipamentul de recepție a emisiunilor TV de la sateliți, se obțin semnalele video și sunet în benzile de bază; cu aceste semnale se modulează purtătoarele de RF ca și în cazul emițătoarelor TV de radiodifuziune terestre.

În cazul comunicațiilor mobile, legătura radio se realizează între o stație fixă (stație de bază) și una mobilă

Canalele de comunicație pot fi de două tipuri:

- **canale vocale**, pentru transmiterea vocii;
- **canale de control**, pentru transferul informațiilor de identificare, pentru semnalizarea activității vocale, cereri de acces la un canal de comunicație, informații de control (spre exemplu informații privind puterea de emisie, informații privind calitatea recepției) ș.a.

În cadrul procesului de comunicare cele două frecvențe ale canalului radio sunt modificate (spre exemplu prin modularea în frecvență a purtătoarei).

III. Glosar

A	= amplitudine
AF	= audiofrecvență
FTJ	= filtru trece jos
FTB	= filtru trece bandă
IN	= intrare
IT	= interval de timp
MA	= modulația de amplitudine
MA-BLU	= modulația de amplitudine cu bandă laterală unică (BLU)
MF	= modulația de frecvență
MP	= modulația de fază
TDM	= multiplexare cu diviziune în timp
TV	= televiziune
QAM	= Quadrature amplitude modulation

IV. Bibliografie

1. Mateescu, Adelaida. (1979). *Semnale și circuite de telecomunicații*. București: Editura Didactică
2. Ilie, Andrei. (2006). *Tehnica transmisiei informației*, București: Editura Printech
3. Bossie, Ioan. Wardalla. (2000). *Măsurări speciale în telecomunicații. Volumul II*, București: Editura Agir
4. <http://cndiptfsetic.tvet.ro/index.php/rezultate/5/15>
5. <http://www.afahc.ro/ro/facultate/cursuri/>
6. <http://tet.pub.ro/pages/Mct/MCT1.pdf>
7. http://rf-opto.etti.tuiasi.ro/docs/files/RRCS_cap%202.pdf