



A XV-a Conferință internațională – multidisciplinară
„Profesorul Dorin Pavel – fondatorul hidroenergeticii românești”
SEBEȘ, 2015

SEMNALE MODULATE CU PURTĂTOR ARMONIC

Viorel HODUȚ

MODULATED SIGNALS WITH HARMONIC CARRIER

In electronics and telecommunications, modulation means varying some aspect of a higher frequency continuous wave carrier signal with an information-bearing modulation waveform, such as an audio signal which represents sound, or a video signal which represents images, so the carrier will "carry" the information. When it reaches its destination, the information signal is extracted from the modulated carrier by demodulation.

In amplitude modulation, the amplitude or "strength" of the carrier oscillations is what is varied. For example, in AM radio communication, a continuous wave radio-frequency signal (a sinusoidal carrier wave) has its amplitude modulated by an audio waveform before transmission.

Keywords: signal modulated, carrier harmonic, information, amplitude, operation detection/recovery

Cuvinte cheie: semnal modulată, purtător armonic, informație, amplitudine, operație de detecție/redresare

1. Generalități

Transmiterea unei informații la distanță, adică realizarea unei telecomunicații, impune în general necesitatea de a se transfera caracteristicile semnalului care conține informația asupra altui semnal, semnalul ce rezultă transmițându-se în condiții mai bune sau mai economice.

Semnalul electric echivalent informației se numește *semnal modulator* și are același spectru de frecvență ca și informația propriu-

zisă. Pentru a putea fi transmis la distanță, semnalul modulator se transpune pe un semnal de frecvență mai ridicată, numit *semnal purtător*, semnalul ce rezultă numindu-se *semnal modulată*.

Operația de transferare a caracteristicilor semnalului modulator asupra semnalului purtător se numește *modulare* sau *modulație*. Prin modulare spectrul semnalului modulator este translatat în banda în care este plasat spectrul semnalului purtător.

La punctul de recepție, semnalul modulată recepționat este supus operației de *demodulare* sau *deteție*, care constă în extragerea semnalului modulator din semnalul modulată. Semnalul purtător devenit inutil este suprimat. Semnalul modulator este transformat apoi în informație propriu-zisă.

Modularea semnalelor are drept scop realizarea următoarelor deziderate: ▪ multiplicarea căilor într-o linie de telecomunicații; ▪ facilitarea transmisiei prin medii de propagare; ▪ simplificarea echipamentului electronic necesar realizării legăturilor multiple de telecomunicații; ▪ mărirea insensibilității semnalului la perturbații.

2. Clasificarea modulației

Metodele de modulație a semnalelor pot fi clasificate după mai multe criterii.

După natura semnalului purtător se disting:

- *modulația cu purtător armonic (armonică);*
- *modulația cu purtător în impulsuri (a impulsurilor);*

În cazul purtătorului armonic expresia acestuia este: $p(t) = A_p \cos(\omega_p t + \varphi_p)$. Modulația cu purtător armonic se poate realiza în trei variante, după parametrul semnalului purtător căruia i se transferă informația modulatorului (amplitudinii A_p , frecvenței $f_p = \omega_p / 2\pi$, fazei inițiale φ_p): • *modulație de amplitudine (MA)*, obținută atunci când semnalul modulator modifică amplitudinea semnalului purtător proporțional cu valoarea lui; • *modulație de frecvență (MF)*, obținută atunci când semnalul modulator modifică frecvența semnalului purtător proporțional cu valoarea lui; • *modulație de faza (MP)*, obținută atunci când semnalul modulator modifică faza inițială a semnalului purtător proporțional cu valoarea lui;

3. Semnale modulate în amplitudine (ma)

Se consideră că semnalul purtător armonic este definit cu formula:

$$p(t) = A_p \cos(\omega_p t + \varphi_p) \quad (1)$$

iar semnalul modulator este de tipul :

$$x_m(t) = A_m \cos(\omega_m t + \varphi_m) \quad (2)$$

În cazul modulației de amplitudine (MA), caracteristicile semnalului modulator $x_m(t)$ sunt transferate amplitudinii semnalului purtător $p(t)$, care se va modifica conform expresiei:

$$A(t) = A_p + x_m(t) \quad (3)$$

sau, în unele cazuri particulare:

$$A(t) = x_m(t) \quad (4)$$

În aceste condiții, semnalul MA are în cazul general expresia:

$$X_{MA}(t) = A(t) \cos(\omega_p t + \varphi_p) = [A_p + x_m(t)] \cos(\omega_p t + \varphi_p) \quad (5)$$

Se consideră întâi că semnalul modulator armonic are forma (2):

$$x_m(t) = A_m \cos(\omega_m t + \varphi_m)$$

Semnalul MA devine:

$$\begin{aligned} X_{MA}(t) &= [A_p + A_m \cos(\omega_m t + \varphi_m)] \cos(\omega_p t + \varphi_p) = \\ &= A_p \left[1 + \frac{A_m}{A_p} \cos(\omega_m t + \varphi_m) \right] \cos(\omega_p t + \varphi_p) = \\ &= A_p [1 + m \cos(\omega_m t + \varphi_m)] \cos(\omega_p t + \varphi_p) \end{aligned} \quad (6)$$

Coeficientul m , este numit grad (indice) de modulație de amplitudine și este introdus de relația:

$$m = \frac{A_m}{A_p} \quad (7)$$

El indică variația relativă a amplitudinii semnalului MA. Teoretic, m aparține intervalului $[0; 1]$. Dacă $m = 0$, semnalul purtător nu este modulat, iar dacă $m = 1$, semnalul purtător este modulat în proporție de 100 %. În telefonie, m aparține intervalului $[0.5; 0.6]$.

Coeficientul m trebuie să fie subunitar, în caz contrar producându-se așa-numita *supramodulație* cu consecința inadmisibilă a *imposibilității recuperării mesajului la recepție*.

Deviația de amplitudine a semnalului MA este:

$$\Delta A = m \cdot A_p = A_m \quad (8)$$

Ținând cont de faptul că frecvența semnalului purtător este mult mai mare decât frecvența semnalului modulator, în figura 1 se reprezintă variațiile temporale ale semnalelor: a) modulator, modulat și b) purtător. Reprezentările grafice se fac în ipoteza că $\varphi_p = \varphi_m$.

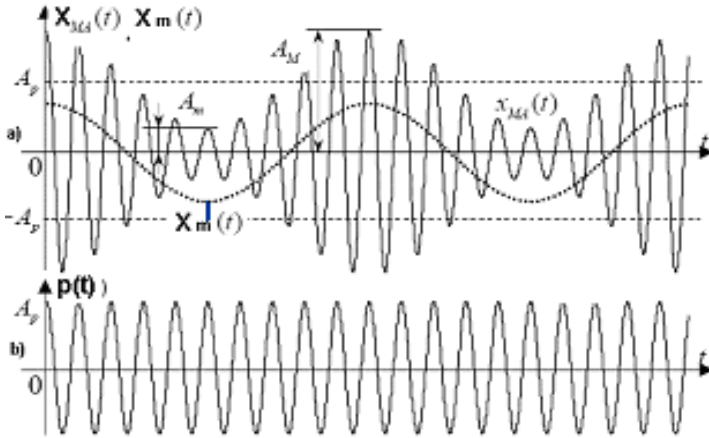


Fig.1 a) semnal MA, modulator b) purtător

Se observă în figura 1a) că semnalul MA conține amplitudinea semnalului modulator de două ori și frecvența semnalului purtător. *Variația amplitudinii semnalului MA se numește înfășurătoare sau anvelopă.*

Gradul de modulație se determină cu relația:

$$m = \frac{A_M - A_p}{A_p} = \frac{A_M - A_m}{A_M + A_m} \quad (9)$$

Pentru analiza spectrală a semnalului MA sereia expresia (6) în care se înlocuiește m cu relația (7):

$$\begin{aligned} X_{MA}(t) &= A_p [(1+m \cos(\omega_m t + \varphi_m)) \cos(\omega_p t + \varphi_p)] = \\ &= A_p \cos(\omega_p t + \varphi_p) + m A_p \cos(\omega_m t + \varphi_m) \cos(\omega_p t + \varphi_p) = \\ &= A_p \cos(\omega_p t + \varphi_p) + \frac{mA_p}{2} \cos[(\omega_p - \omega_m)t + \varphi_p - \varphi_m] + \\ &+ \frac{mA_p}{2} \cos[(\omega_p + \omega_m)t + \varphi_p + \varphi_m] \end{aligned} \quad (10)$$

Se observă că semnalul MA este echivalent cu trei semnale armonice și anume:

- o componentă centrală de amplitudine A_p , frecvență f_p și fază inițială φ_p care reprezintă chiar semnalul purtător;
- o componentă laterală inferioară (stânga), de amplitudine $mA_p/2$, frecvență $f_p - f_m$ și fază inițială $\varphi_p - \varphi_m$;
- o componentă laterală superioară (dreapta), de amplitudine $mA_p/2$, frecvență $f_p + f_m$ și fază inițială $\varphi_p + \varphi_m$;

Purtătoarea nu conține nimic relativ la mesaj. Toată informația conținută de mesajul modulator (amplitudine, frecvență) este conținută în benzile laterale. Prin suprimarea purtătoarei și/sau a unei benzi laterale, informația transmisă rămâne suficientă pentru reconstituirea mesajului la recepție. Se obțin astfel semnale MA-PS (semnale MA cu purtătoarea suprimită) și semnale MA-BLU (semnale MA cu bandă laterală unică).

Spectrele de amplitudini ale celor trei semnale: modulator, purtător și MA sunt redată în figura 2.

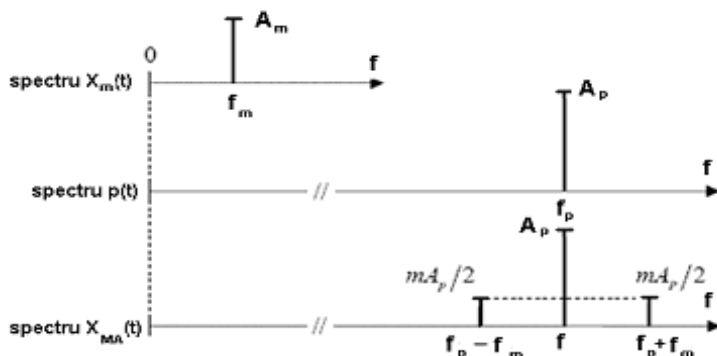


Fig. 2 Spectrul semnalelor modulator, purtător și MA

Spectrul de amplitudini al semnalului MA este un spectru discret, simetric față de frecvența f_p . Amplitudinile componentelor laterale nu pot depăși jumătate din amplitudinea A_p .

Spectrul de frecvență ocupat de o stație de emisie MA va fi egal cu dublul frecvenței audio de valoare maximă, care este transmisă:

$$(f_p + f_{m \max}) - (f_p - f_{m \max}) = 2 f_{m \max} \quad (11)$$

Dacă frecvența de modulație maximă este $f_{m \max}$, banda ocupată de semnalul MA are lărgimea:

$$B = 2 f_{m \max} \quad (12)$$

Semnalul util este conținut în cele două componente laterale (în exces, pentru că ar fi suficientă o singură componentă laterală). Deci modulația nu este economică, în sensul că ocupă o bandă de frecvență dublă față de cea necesară.

Purtătoarea este mult mai mare decât componentele laterale, rezultând unele dezavantaje, precum saturația amplificatoarelor și performanțe energetice slabe ale modulației.

4. Concluzii

În concluzie, din cele prezentate rezultă că modulația examinată are două dezavantaje:

- Banda ocupată de semnalul modulat este dublă față de cea minim necesară. De exemplu, banda semnalului telefonic este cuprinsă între 0.3 kHz și 3.4 kHz. Dacă s-ar utiliza modulația prezentată, lărgimea benzii semnalului modulat, în jurul frecvenței purtătoare, ar fi de 6.8kHz.

- În semnalul modulat se regăsește integral purtătoarea, rezultând unele neajunsuri de natură energetică (randament scăzut) și de preluare a semnalului (posibilitatea saturării amplificatoarelor, datorită nivelului ridicat al purtătoarei, în raport cu componentele laterale – utile). În schimb, extragerea semnalului de bază din cel modulat se realizează foarte simplu, printr-o operație de detecție/redresare.

Observație: Acest tip de modulație se utilizează în radiodifuziunea clasică pe unde lungi, medii și scurte.

- Unde radio pentru RADIODIFUZIUNE
- UL (unde lungi/kilometrice) : 150 KHz-300KHz;
- UM (unde medii/hectometrice) : 600 KHz-1500 KHz;
- US (unde scurte/decametrice) : 6 MHz-30 MHz.

BIBLIOGRAFIE

- [1] Gordan, C., *Semnale, circuite și sisteme*, Oradea, 2000.
- [2] Constantin, I., *Semnale și răspunsul circuitelor*, Editura BREN, București, 1999.
- [3] Mateescu, Ad., *Semnale, circuite și sisteme*, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1984.
- [4] Constantin, I., *Semnale*, Tipografia Institutului Politehnic București, 1992.

Prof. Ing. Viorel HODUȚ
șef catedră tehnică, Colegiul Tehnic "Traian Vuia", Oradea,
e-mail: viorel.hodut@yahoo.com