

Model de comunicație radio

- **Comunicație** = Transfer de informații pe baza unor convenții acceptate. ([1])
- **Telecomunicație** = Comunicație prin fir, radio, optică sau prin alt sistem electromagnetic. ([1])
- **Radiocomunicație** = Telecomunicație prin intermediul undelor radio. ([2])

Pentru nevoile cursului vom folosi ca model al radiocomunicației cel prezentat în figura 1. Elementele componente ale modelului au atașate în figurile 2 – 14 definiții pentru funcționalitatea implicată.

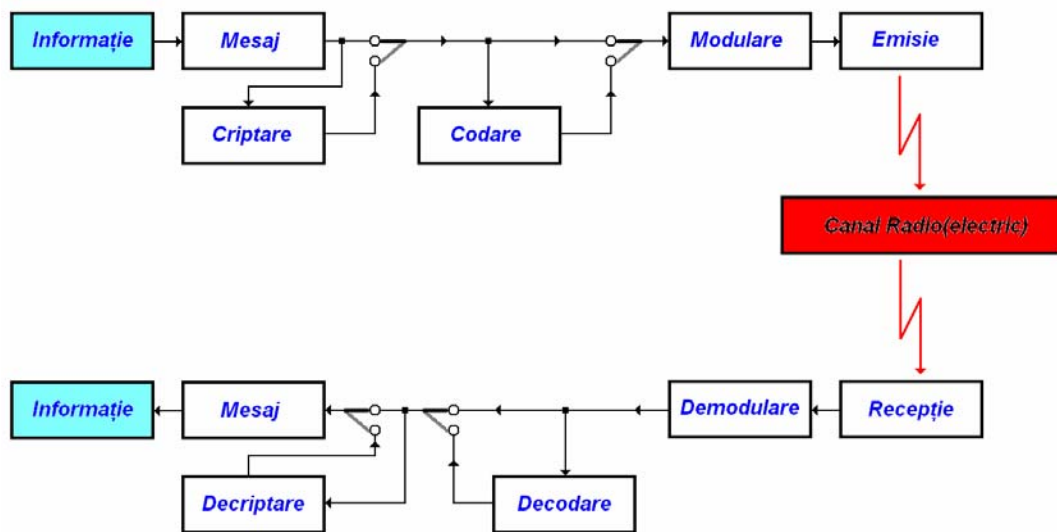


Figura 1

Fără a preciza, pentru moment, care este fenomenul fizic și care este cea caracteristică a acestuia a cărei variație în timp este folosită pentru transportul informație, semnalele sînt reprezentabile matematic ca funcții de timp. Paralela între semnalul fizic și funcția matematică asociată lui, fie aceasta $s(t)$, este posibilă în toate etapele modelului procesului de transmisiune (telecomunicație) din figura 1. De cele mai multe ori, în practica curentă, trecem cu vederea faptul că deși vorbim despre „semnale” operăm cu reprezentarea lor matematică.

Un semnal ai cărui parametri și valoare instantanee pot fi prezise pentru orice moment de timp cu o probabilitate unitate se numește *semnal deterministic*. Semnalele deterministice pot fi *periodice* sau *neperiodice*. Semnalul periodic este acela care satisface condiția $s(t)=s(t+kT)$, unde “perioada” T este o cantitate finită iar k este un întreg oarecare. Oricare semnal deterministic pentru care nu este satisfăcută o condiție de forma $s(t)=s(t+kT)$, se numește *semnal neperiodic*.

Semnalele *aleatoare*, sînt reprezentate prin funcții de timp ale căror mărimi nu sînt cunoscute dinainte și probabilitatea cu care pot fi prevăzute este subunitară. Oricare semnal care transportă informație ar trebui să fie privit ca un semnal aleator. Semnalele deterministice “complet cunoscute” nu conțin informație.

Sursă = Loc de unde emană o informație, o noutate.

Informație = Fiecare dintre elementele noi, în raport cu cunoștințele prealabile, cuprinse în semnificația unui simbol sau grup de simboluri .

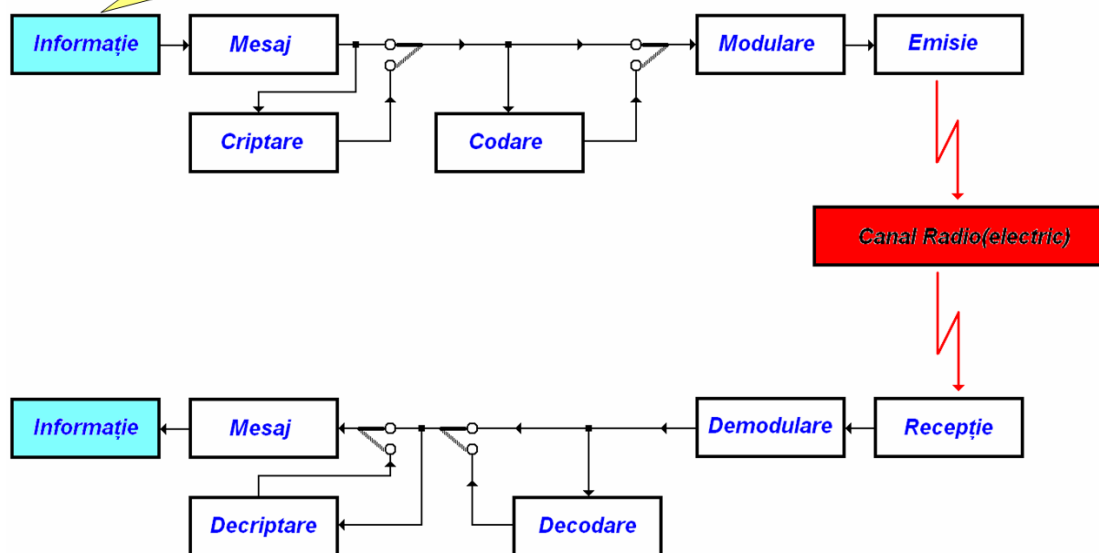


Figura 2

Mesaj = Lot de informații formînd un tot inteligibil sau exploatabil și transmis deodată .

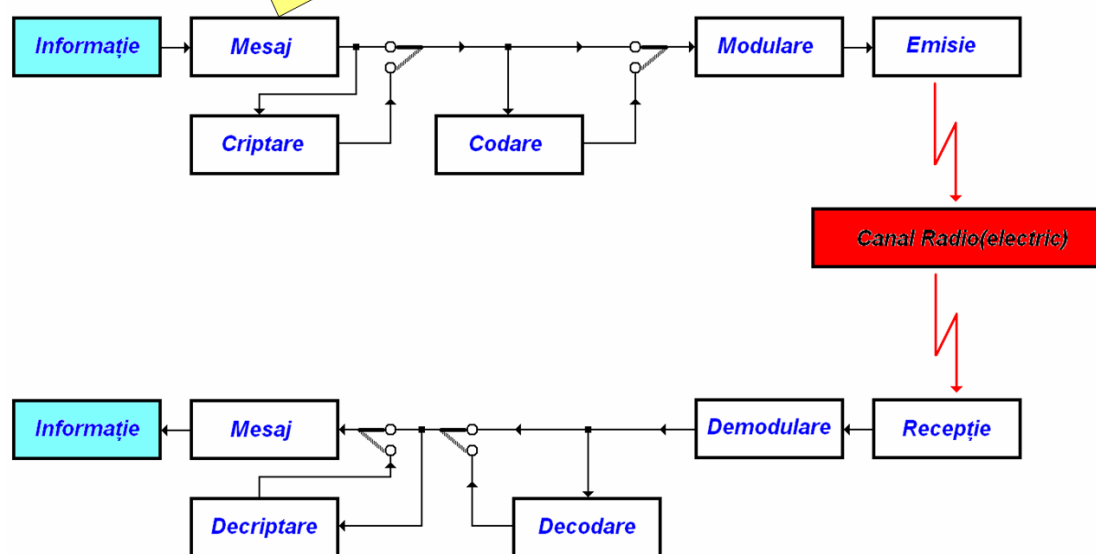


Figura 3

Criptare = Protejarea *informației* conținută de un *mesaj*, împotriva cunoașterii neautorizate, prin modificarea formei clare a acestuia, după reguli predefinite, secrete.

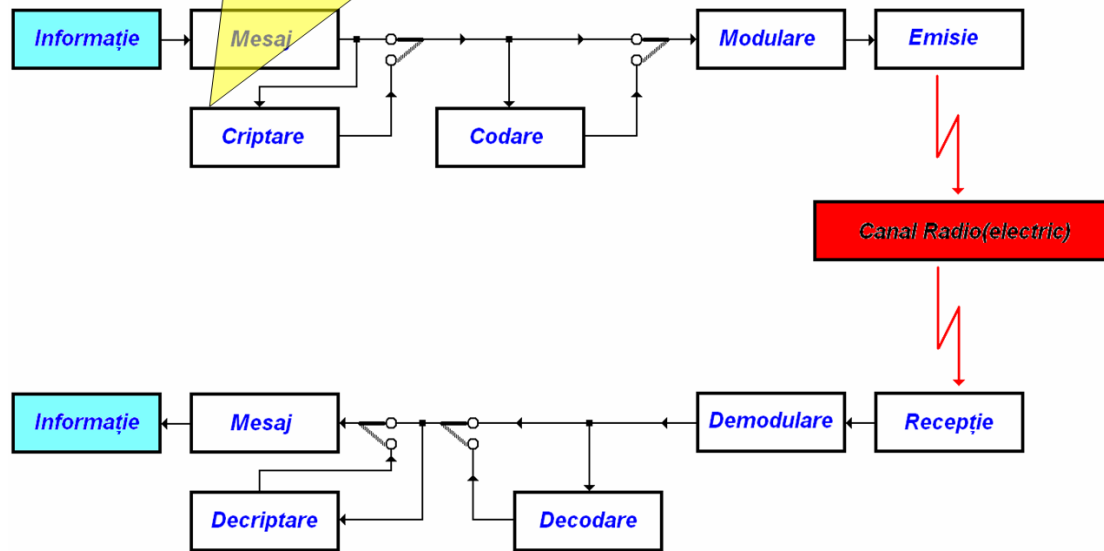


Figura 4

Codare = Prelucrare aplicată unui mesaj în vederea utilizării eficiente a canalului de comunicație și micșorării efectelor adverse pe care acesta le are asupra comunicației .

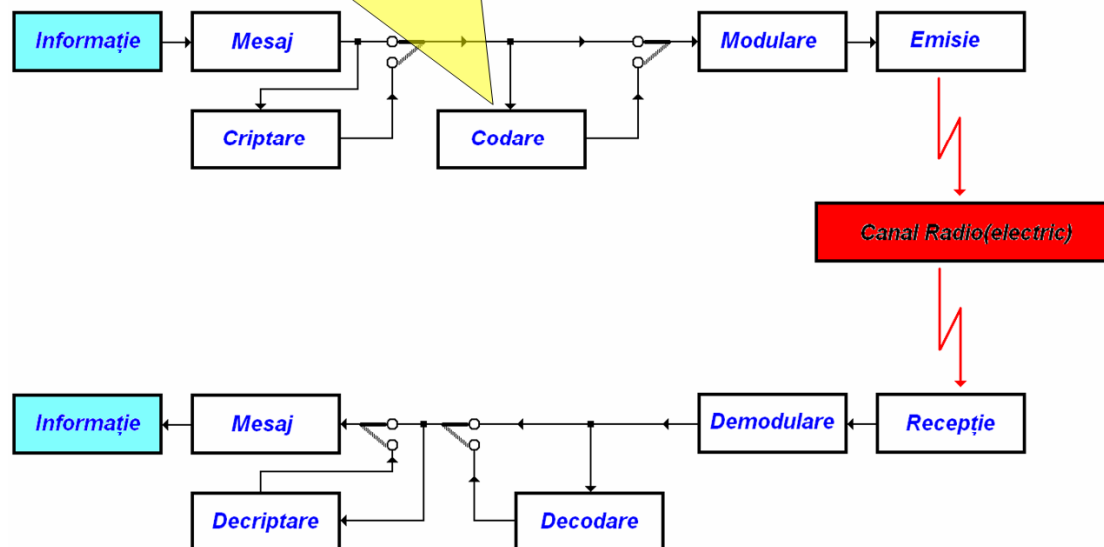


Figura 5

Semnal modulator = Mesajul care face obiectul radiocomunicației, sau o formă *codată* a acestuia, și care este aplicat modulatorului (circuitul fizic în care se realizează modulația) unui *emițător*.

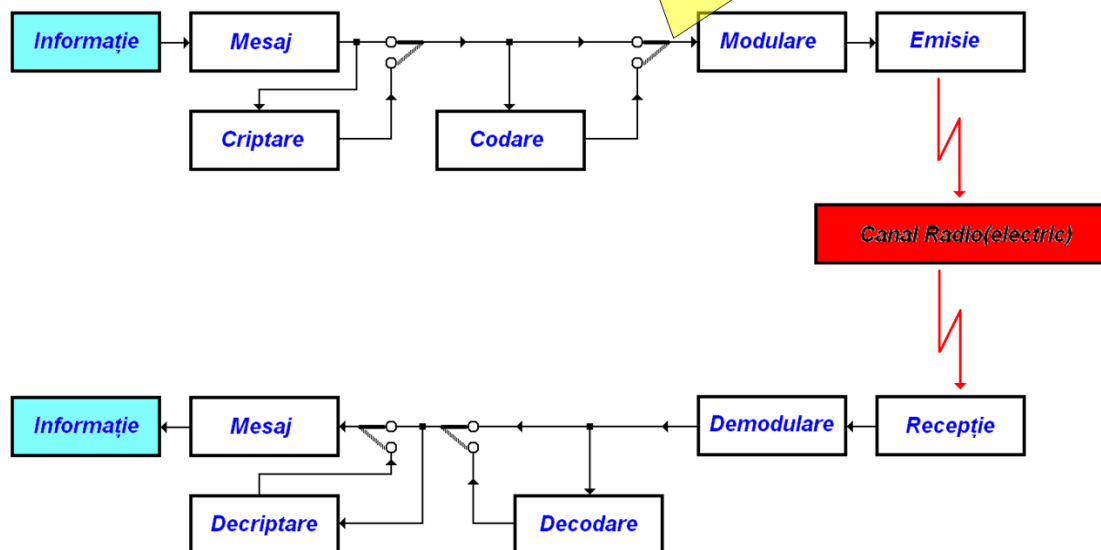


Figura 6

Modulare = Proces prin care variația în timp a unui *semnal modulator* este pusă în corespondență cu un *semnal radioelectric*.

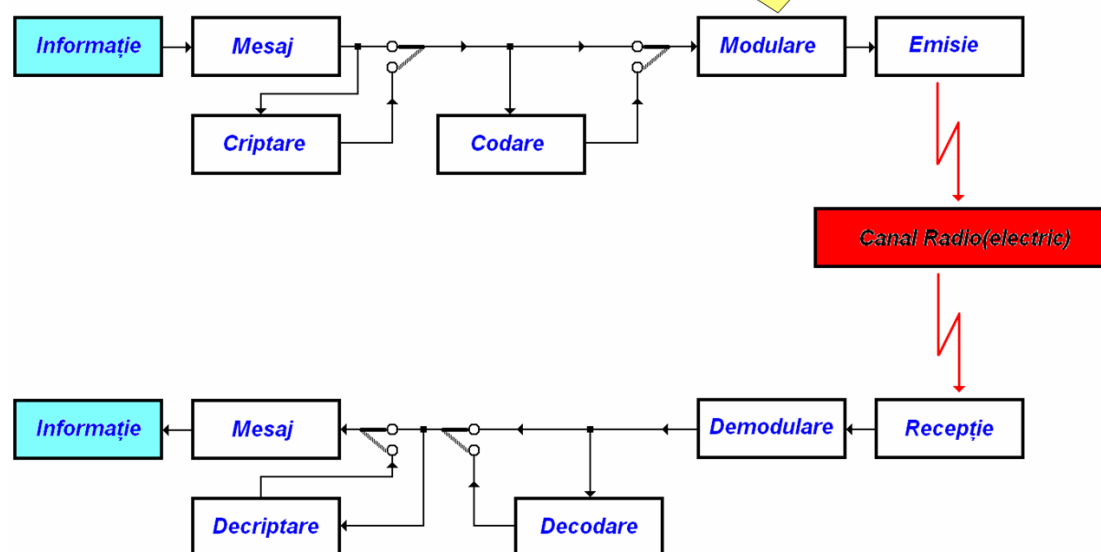


Figura 7

Emitător radio = Aparat care produce energie de radio-frecvență în scopul radiocomunicației.

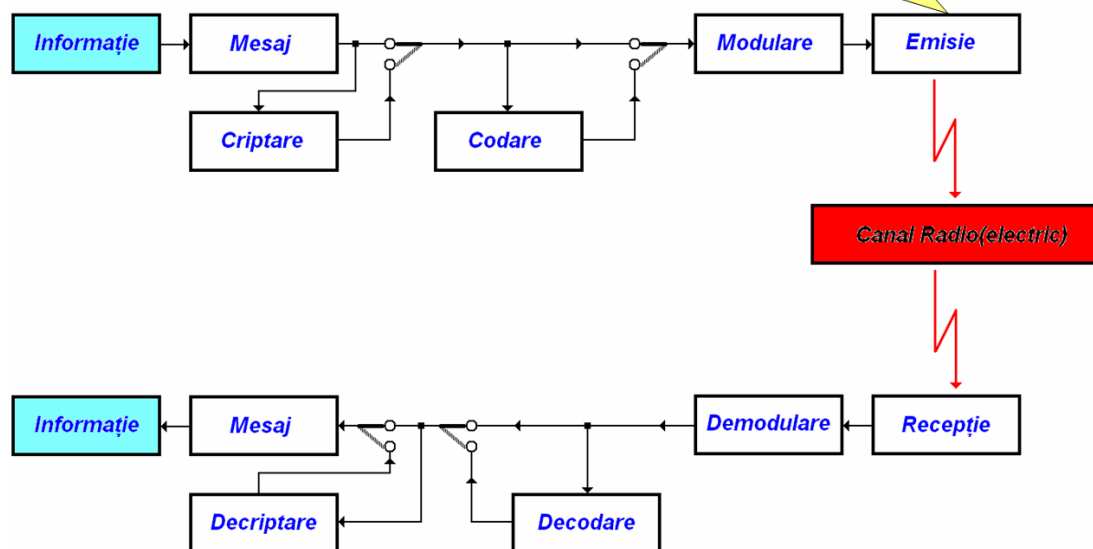


Figura 8

Semnal radio(electric) = Modificare a valorilor parametrilor componentelor electrice și magnetice ale unei unde radio, ca urmare a variațiilor semnalului modulator aplicat emițătorului. Fiecare semnal radioelectric este compus din semnale radioelectrice armonice elementare (definite prin amplitudine, frecvență și fază inițială), care constituie spectrul radioelectric al respectivului semnal.

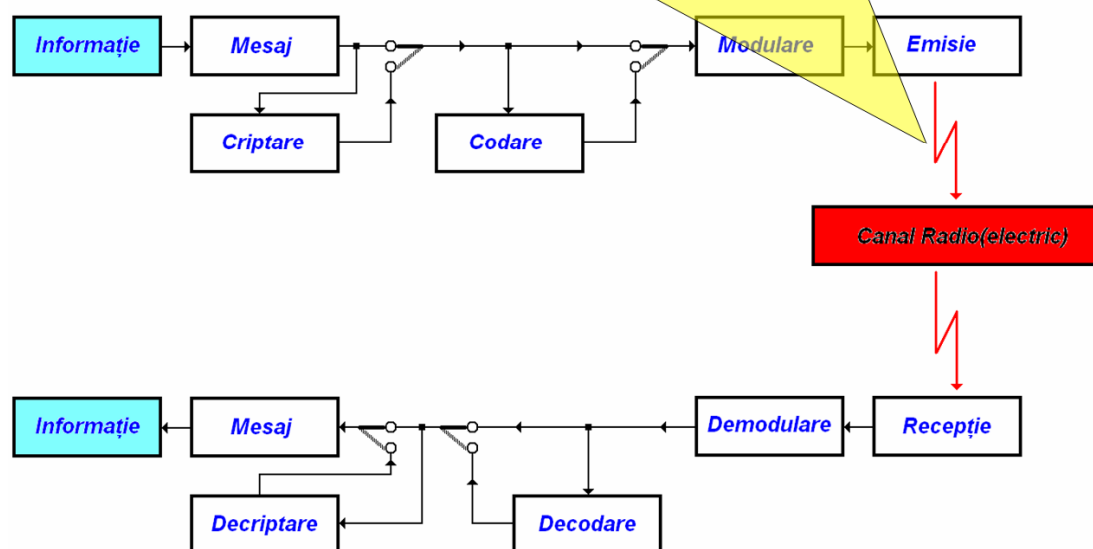


Figura 9

Canal radioelectric = Parte a *spectrului radioelectric* dedicată utilizării pentru o *emisiune* și care poate fi definită prin două limite de frecvență specificate, sau prin frecvența ei centrală și lărgimea benzii de frecvență asociată, sau prin oricare indicație echivalentă.

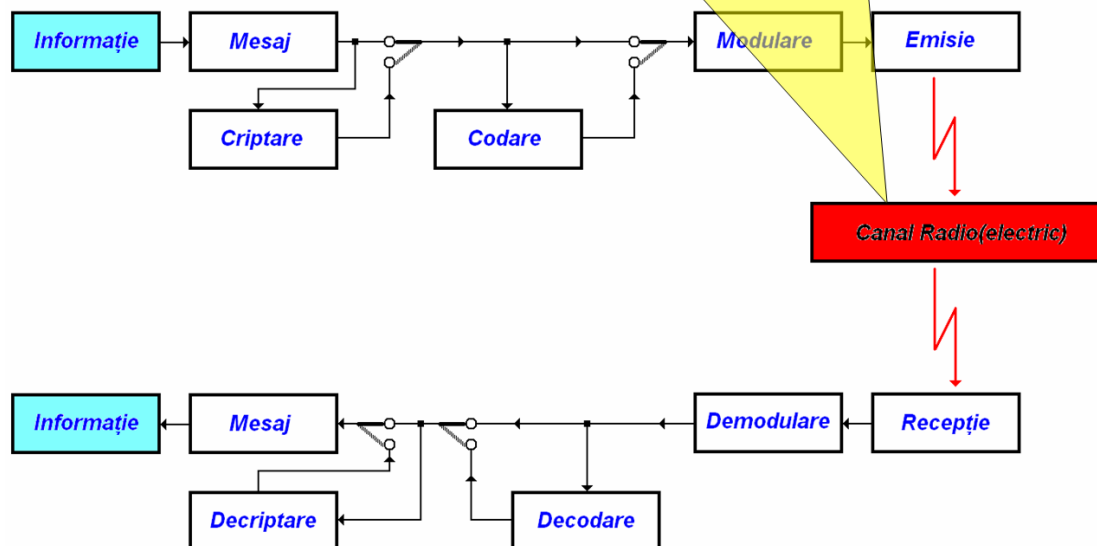


Figura 10

Receptor radio = Aparat care preia o parte a energiei unei *radiații de radio-frecvență* pentru a genera un *semnal electric*.

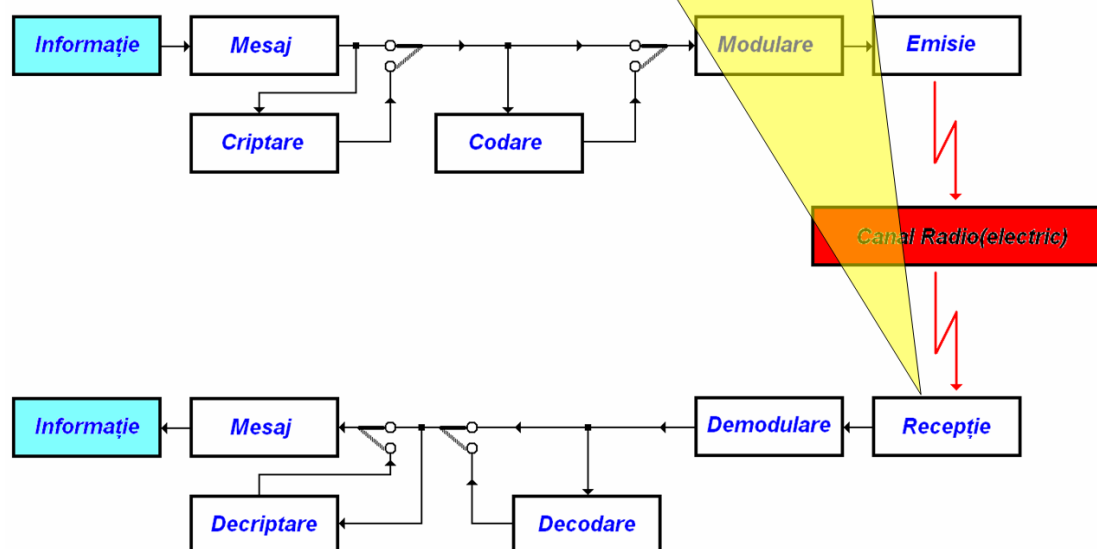


Figura 11

Demodulare = Proces invers *modulării*, prin care un receptor produce o replică a unui *semnal modulator*.

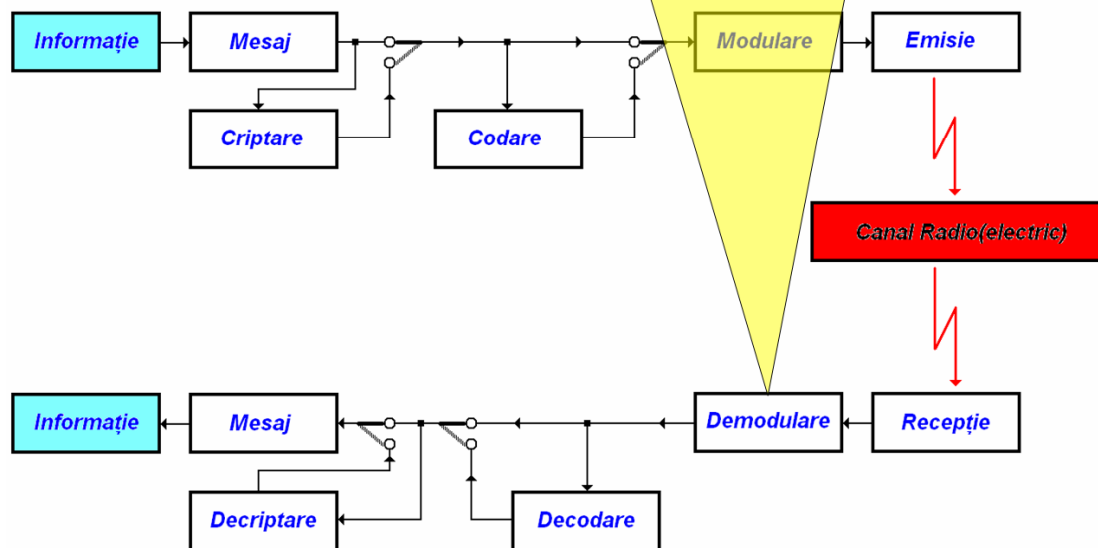


Figura 12

Decodare = Operație inversă *codării*, prin care se extrage în receptor, după demodulare, o replică a *mesajului* care face obiectul *radiocomunicației*.

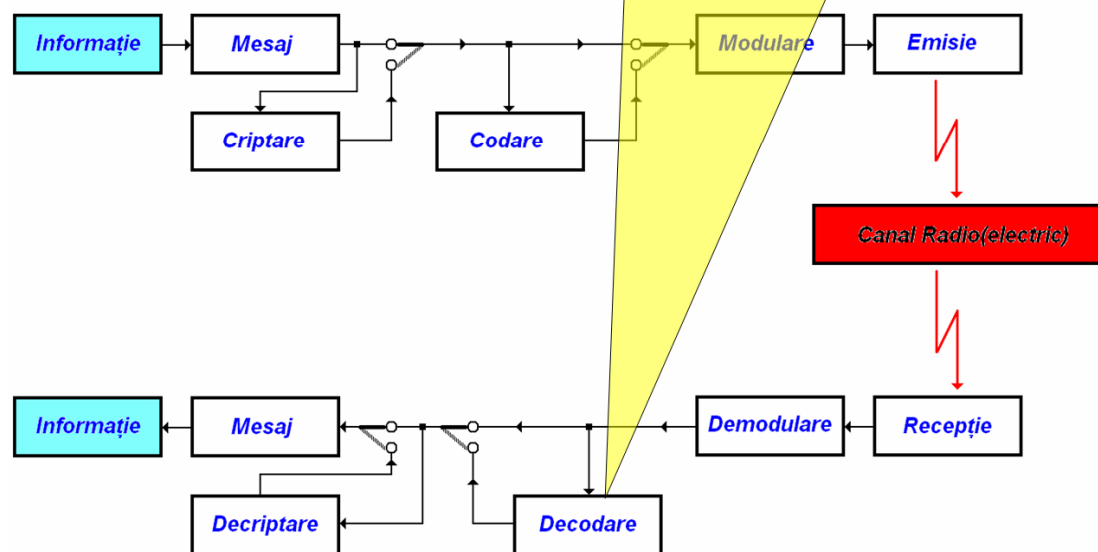


Figura 13

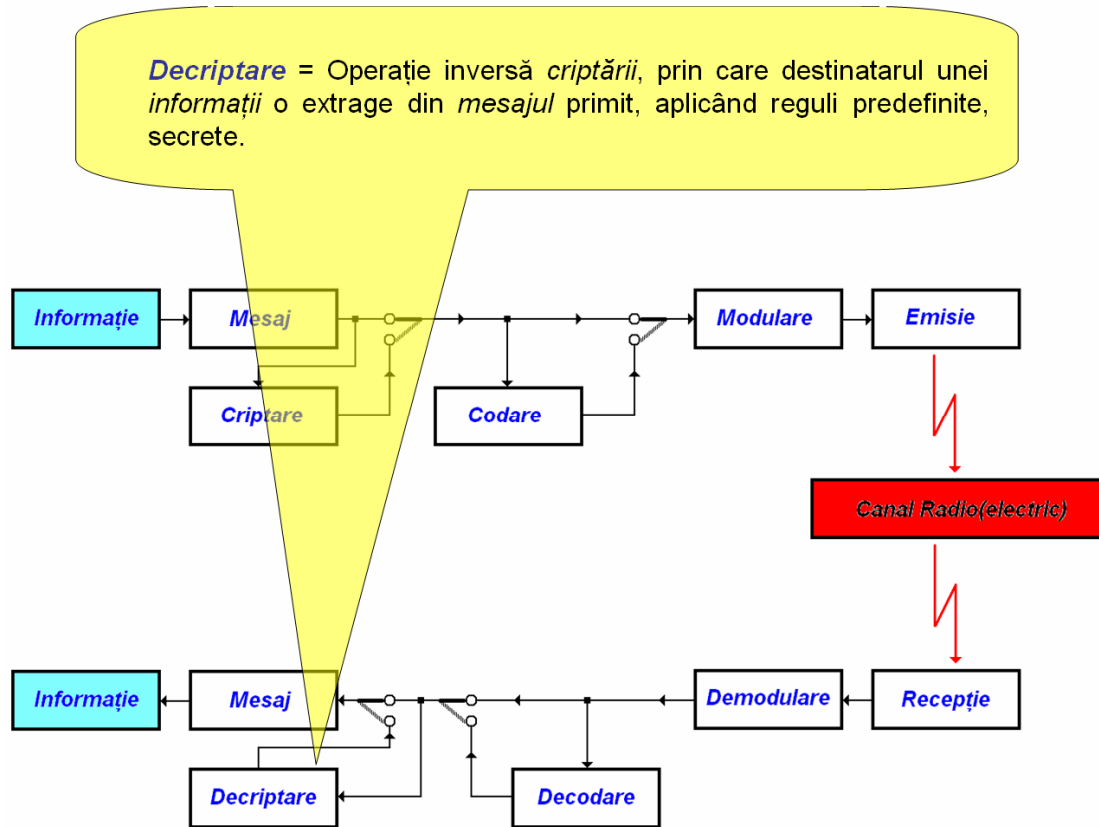


Figura 14

*

Oricare semnal fizic poate fi reprezentat printr-o funcție reală de timp absolut integrabilă $s(t)$, cu un grafic ca în figura 15, avînd un număr finit de discontinuități și o variație mărginită, și o funcție densitate spectrală în general complexă $\underline{S}(j\omega)$, legate între ele prin transformata Fourier, directă și inversă.

NOTĂ: Prin convenție, în acest curs mărimile complexe vor fi marcate printr-o linie plasată sub simbolul lor.

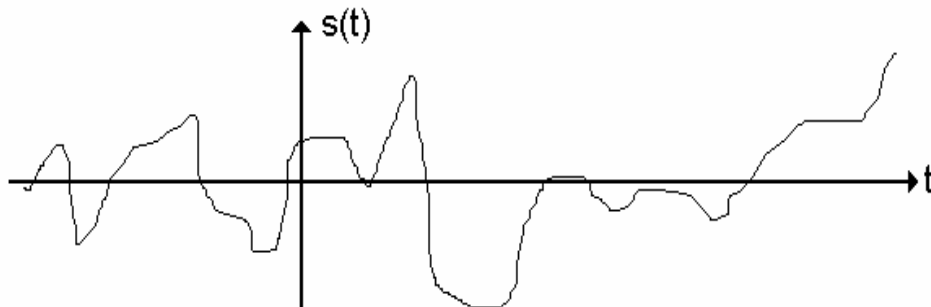


Figura 15

$$\int_{-\infty}^{+\infty} |s(t)| dt < \infty \quad (1)$$

$$s(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} \underline{S}(j\omega) e^{j\omega t} d\omega$$

$$\underline{S}(j\omega) = \int_{-\infty}^{+\infty} s(t) e^{-j\omega t} dt$$
(2)

Desigur, limitele infinite ale integralelor în timp nu au corespondente fizice clare, întrucât ceea ce exista înainte de *Marea Explozie* nu poate fi dovedit în limitele fizicii contemporane, iar durată de viață a universului se estimează a fi finită.

Ca o consecință a faptului că semnalul $s(t)$ este real, funcția spectrală $\underline{S}(j\omega)$ are partea reală $S_R(\omega)$ funcție pară, și partea imaginară $S_I(\omega)$ funcție impară.

$$\underline{S}(j\omega) = S_R(\omega) - jS_I(\omega)$$

$$S_R(\omega) = \int_{-\infty}^{+\infty} s(t) \cos(\omega t) dt$$

$$S_I(\omega) = \int_{-\infty}^{+\infty} s(t) \sin(\omega t) dt$$
(3)

Această proprietate generală a funcției spectrale $\underline{S}(j\omega)$ permite exprimarea semnalului $s(t)$ printr-o integrală cu integrand funcție pară.

$$s(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} [S_R(\omega) \cos(\omega t) + S_I(\omega) \sin(\omega t)] d\omega =$$

$$= \frac{1}{\pi} \int_0^{+\infty} [S_R(\omega) \cos(\omega t) + S_I(\omega) \sin(\omega t)] d\omega$$
(4)

Semnalele fizice ocupă o bandă de frecvență limitată, ca în exemplul din figura 16. În afara acestei benzi, adică în afara domeniului de frecvență delimitat inferior de ω_L și superior de ω_H pentru frecvențe pozitive (respectiv delimitat inferior de $-\omega_H$ și superior de $-\omega_L$ pentru frecvențe negative), semnalul are energie neglijabilă (deci $S_R(\omega)$ și $S_I(\omega)$ sînt practic nule).

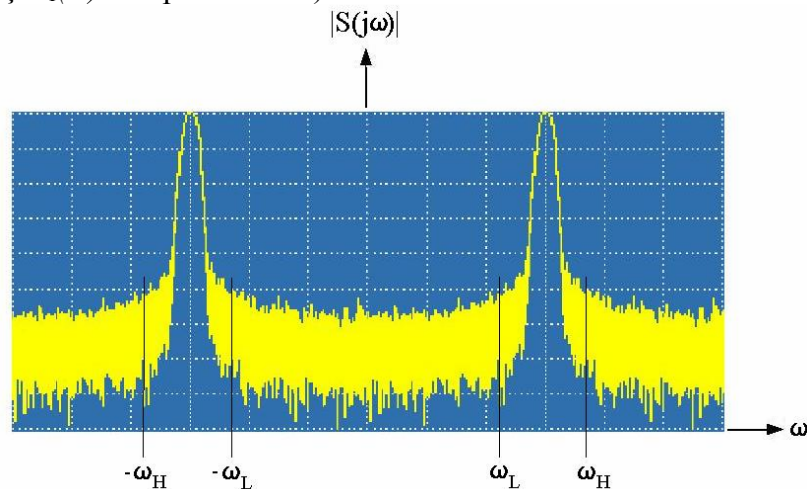


Figura 16

$$s(t) \approx \frac{1}{\pi} \int_{\omega_L}^{\omega_H} [S_R(\omega) \cos(\omega t) + S_I(\omega) \sin(\omega t)] d\omega \quad (5)$$

În radiotehnica modernă s-au evidențiat două forme alternative care se desprind din această fază a formalismului, fiecare fiind mai atractivă decât cealaltă pentru analiza proceselor ce au loc în diverselor faze ale radiocomunicației.

Prima formă, utilă mai ales în analiza răspunsului modulelor analogice din emițător și receptor precum și fenomenului de radiație și propagare a undelor radio, se obține prin compunerea vectorială a celor două oscilații din integrand într-un semnal elementar armonic în timp $s(\omega, t)$, a cărui amplitudine $a(\omega)$ și exces de fază $\varphi(\omega)$ depind numai de $S_R(\omega)$ și $S_I(\omega)$ și pot fi reunite într-o amplitudine complexă $\underline{A}(\omega)$.

$$\begin{aligned} s(t) &= \int_0^{+\infty} s(\omega, t) d\omega \\ s(\omega, t) &= \frac{1}{\pi} [S_R(\omega) \cos(\omega t) + S_I(\omega) \sin(\omega t)] \\ &= a(\omega) \cos[\omega t - \varphi(\omega)] = \operatorname{Re}\{\underline{A}(\omega) e^{j\omega t}\} \end{aligned} \quad (6)$$

unde:

$$\begin{aligned} a(\omega) &= \frac{1}{\pi} \sqrt{S_R^2(\omega) + S_I^2(\omega)} \geq 0 \\ \cos[\varphi(\omega)] &= \frac{S_R(\omega)}{\sqrt{S_R^2(\omega) + S_I^2(\omega)}} \\ \sin[\varphi(\omega)] &= \frac{S_I(\omega)}{\sqrt{S_R^2(\omega) + S_I^2(\omega)}} \\ \varphi(\omega) &= \tan^{-1} \left[\frac{S_I(\omega)}{S_R(\omega)} \right] \in (-\pi, \pi] \\ \underline{A}(\omega) &= a(\omega) e^{-j\varphi(\omega)} \end{aligned} \quad (7)$$

cu legătura inversă:

$$\begin{aligned} S_R(\omega) &= \pi a(\omega) \cos[\varphi(\omega)] \\ S_I(\omega) &= \pi a(\omega) \sin[\varphi(\omega)] \end{aligned} \quad (8)$$

Cea de a doua formă, utilă în mod special la analiza proceselor de modulare și demodulare precum și în procesele de prelucrare numerică a semnalelor, se obține alegînd arbitrar o frecvență ω_0 , cel mai adesea din banda de frecvențe ocupată de semnal, drept frecvență de referință ($\omega_L < \omega_0 < \omega_H$). Acest artificiu permite descrierea oricărui semnalul $s(t)$ ca o superpoziție a două oscilații reale în cuadratură, de frecvență ω_0 , modulate în amplitudine de semnale reale, $i(t)$ și $q(t)$.

$$\begin{aligned}
 s(t) &= i(t) \cos(\omega_0 t) - q(t) \sin(\omega_0 t) \\
 i(t) &= \frac{1}{\pi} \int_0^{+\infty} \{S_R(\omega) \cos[(\omega - \omega_0)t] + S_I(\omega) \sin[(\omega - \omega_0)t]\} d\omega \\
 q(t) &= \frac{1}{\pi} \int_0^{+\infty} \{S_R(\omega) \sin[(\omega - \omega_0)t] - S_I(\omega) \cos[(\omega - \omega_0)t]\} d\omega
 \end{aligned} \tag{9}$$

Cele două semnale în cuadratură se pot compune vectorial, oferind o alternativă compactă a celei de a două forme de exprimare a semnalului $s(t)$, ce apare în general ca fiind modulată simultan în amplitudine și fază.

$$\begin{aligned}
 s(t) &= A(t) \cos[\omega_0 t + \varphi(t)] \\
 A(t) &= \sqrt{i(t)^2 + q(t)^2} \geq 0 \\
 \varphi(t) &= \arctg \left[\frac{q(t)}{i(t)} \right] \in (-\pi, \pi]
 \end{aligned} \tag{10}$$

cu legătura inversă:

$$\begin{aligned}
 i(t) &= A(t) \cos[\varphi(t)] \\
 q(t) &= A(t) \sin[\varphi(t)]
 \end{aligned} \tag{11}$$

De remarcat că în ambele forme de exprimare a semnalului $s(t)$ excesul de fază, $\varphi(\omega)$ sau $\varphi(t)$, nu este unic determinat, lui putându-i-se adăuga sau scădea un multiplu întreg de 2π .

Întrucât reflectă același semnal $s(t)$ cele două forme de reprezentare matematică trebuie să ofere legături clare între componentele lor. Din condiția de identitate a expresiilor se obține imediat:

$$\begin{aligned}
 S_R(\omega) &= \int_{-\infty}^{+\infty} A(t) \cos[\omega_0 t + \varphi(t)] \cos(\omega t) dt \\
 S_I(\omega) &= \int_{-\infty}^{+\infty} A(t) \cos[\omega_0 t + \varphi(t)] \sin(\omega t) dt
 \end{aligned} \tag{12}$$

și:

$$\begin{aligned}
 i(t) &= \int_0^{+\infty} a(\omega) \cos[(\omega - \omega_0)t - \varphi(\omega)] d\omega \\
 q(t) &= \int_{\omega_L}^{+\infty} a(\omega) \sin[(\omega - \omega_0)t - \varphi(\omega)] d\omega
 \end{aligned} \tag{13}$$

BIBLIOGRAFIE

[1] - Recomandare ITU-R V.662-3

[2] - Recomandare ITU-R V.573-4

[3] – Cartianu Gh., “*Analiza și Sinteza Circuitelor Electrice*”, Ed. Didactică și Pedagogică, 1971

[4] - <http://shannon.etc.upt.ro/teaching/ssist/>