Technical University
of Iasi, Romania

Faculty of Electronics and
Telecommunications

Signals, Circuits and
Systems laboratory

Circuite neliniare pentru prelucrarea semnalelor

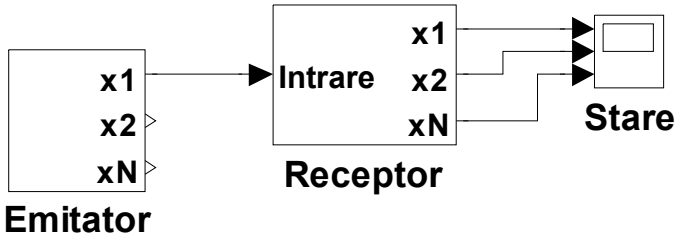
Modulatia neliniara

Cuprins

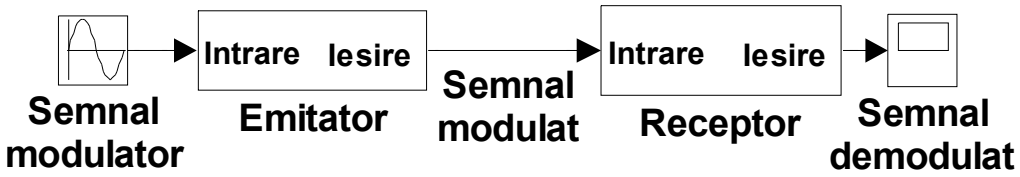
- Principiul sincronizarii urmata de modulatie
- Metode de modulație neliniara:
  - mascarea
  - modularea directă
  - modularea parametrilor emitatorului
- Avantaje si limitari:
  - Erori de demodulare
  - Securitatea transmisiei
  - Multiplexrea cailor
- Exemple si simulari

Principiul sincronizarii neliniare cu modulatie

- Pașii de parcurs in proiectarea sistemelor de comunicatii de banda larga:
  - ***Sincronizare neliniară:*** dezvoltarea unui canal de comunicații bazat sincronizarea pe o purtătoare generata de un sistem neliniar;



  - ***Modulație neliniară:*** alegerea unei metode eficiente de grefare a semnalului util (modulator) pe purtătoarea de bandă largă.



Notatii si elemente de calcul

– Sincronizare **Modulatie**

- Emitator:

$$\begin{cases} \mathbf{x}_E'(t) = f_E(\mathbf{x}_E(t)) \\ y(t) = g_E(\mathbf{x}_E(t)) \end{cases} \qquad \begin{cases} \mathbf{x}_E'(t) = f_E(\mathbf{x}_E(t), m(t)) \\ y(t) = g_E(\mathbf{x}_E(t)) \end{cases}$$

$$\begin{cases} \mathbf{x}_E[k+1] = f_E(\mathbf{x}_E[k]) \\ y[k] = g_E(\mathbf{x}_E[k]) \end{cases} \qquad \begin{cases} \mathbf{x}_E[k+1] = f_E(\mathbf{x}_E[k], m[k]) \\ y[k] = g_E(\mathbf{x}_E[k]) \end{cases}$$

- Receptor:

$$\{\mathbf{x}_R'(t) = f_R(\mathbf{x}_R(t), y(t)) \qquad \begin{cases} \mathbf{x}_R'(t) = f_R(\mathbf{x}_R(t), y(t)) \\ \tilde{m}(t) = g_R(\mathbf{x}_R(t), y(t)) \end{cases}$$

$$\{\mathbf{x}_R[k+1] = f_R(\mathbf{x}_R[k], y[k]) \qquad \begin{cases} \mathbf{x}_R[k+1] = f_R(\mathbf{x}_R[k], y[k]) \\ \tilde{m}[k] = g_R(\mathbf{x}_R[k], y[k]) \end{cases}$$

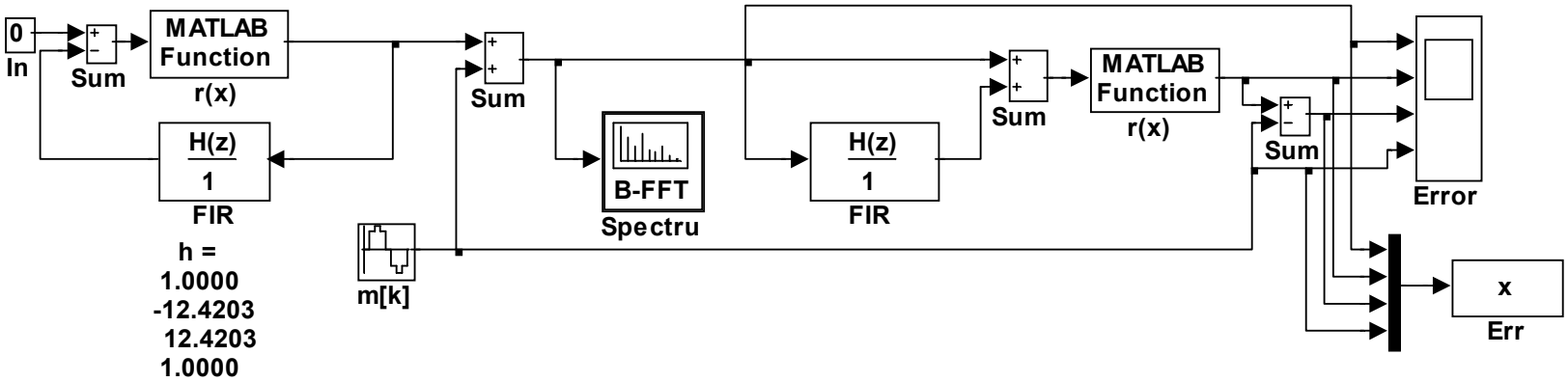
Metode de modulație neliniara

- Există mai multe metode de grefare a informației utile pe semnalul generat de emițătorul neliniar:
  - mascarea haotică
  - modularea directă
  - modularea parametrilor sistemului
- precum și alte variante reprezentând variații sau combinații ale celor de mai sus.
- Presupunem ca anterior s-a realizat un canal de comunicatie bazat pe sincronizare neliniara
- Cautam metode de a transmite un semnal util (modulator) pe suportul bazat pe sincronizare

Mascarea haotică

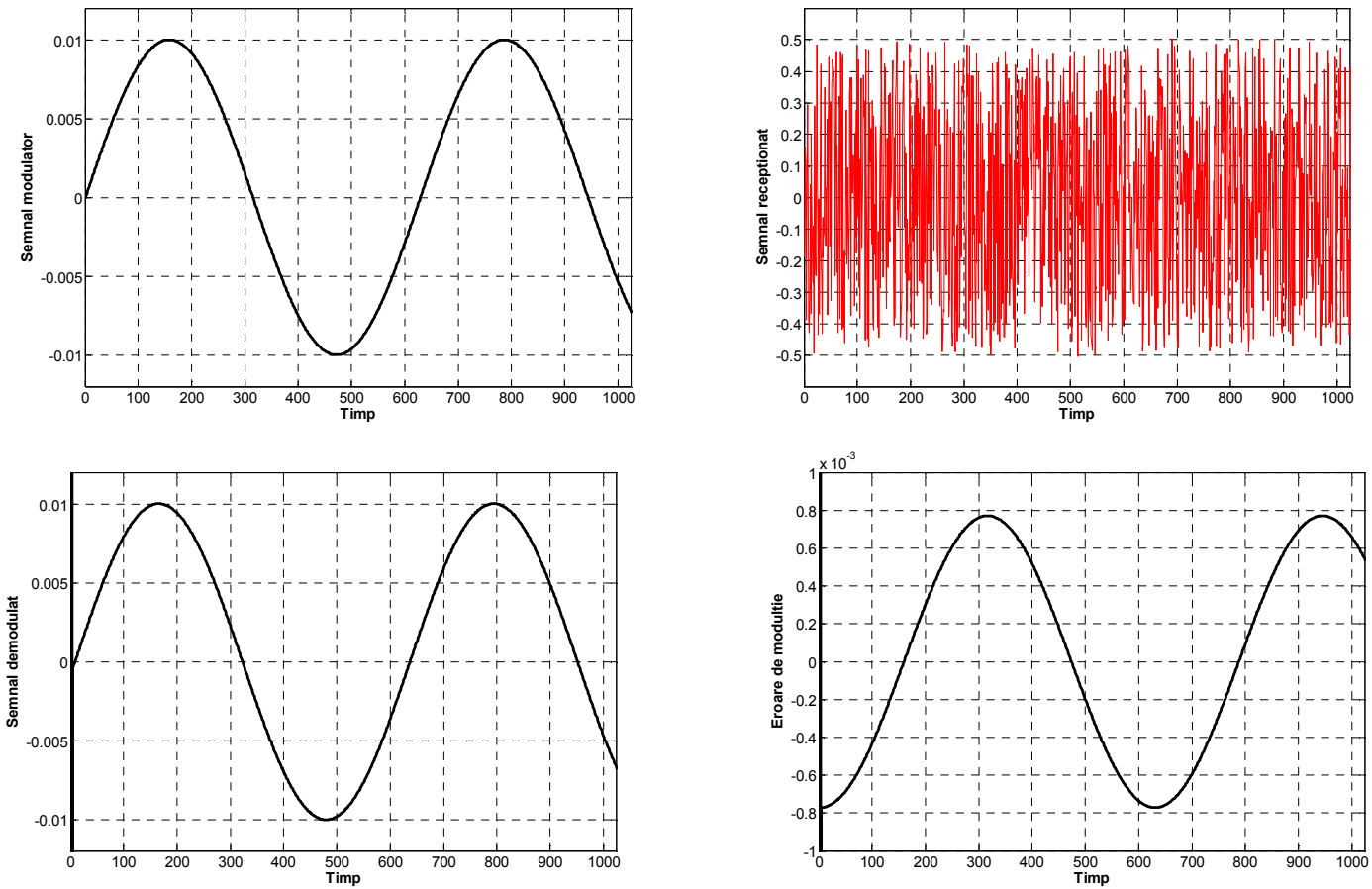
- Aceasta abordare este prima care a fost dezvoltată și cea mai puțin performantă.
- Ideea este de a suma semnalul modulator peste semnalul haotic furnizat de generatorul de purtatoare.
- Pentru a asigura o mascare eficientă, semnalul util trebuie să fie mult mai mic decât cel purtător.
- In functie de emitatorul ales, se poate opta pentru oricare metoda de sincronizare.
- Semnalul modulator fiind adunat cu cel purtator, nu avem o modulatie propriu-zisa, ci o suprapunere liniara.
- Semnalul modulator apare ca o perturbatie pe canalul de comunicatii, ducand la erori de sincronizare
- Daca semnalul modulator nu este suficient de mic, el este vizibil, atat in formele de unda in domeniul timp, cat si in spectrele de freventa ale semnalului transmis

Mascarea haotică (sistem discret aditiv)

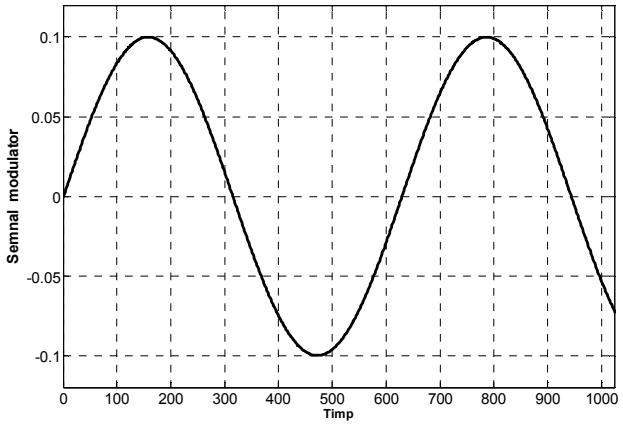


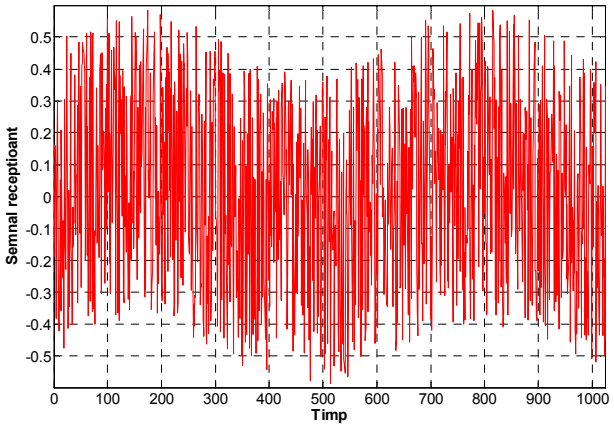
- Emitatorul este un sistem aditiv haotic
- Receptorul este proiectat pe principiul sistemului invers
- Intrarea in emitator este nula
- Iesirea receptorului este eroarea de sincronizare, proportionala cu “perturbatia” pe canalul de comunicatii
- Eroarea de demodulare depinde de nivelul semnalului modulator

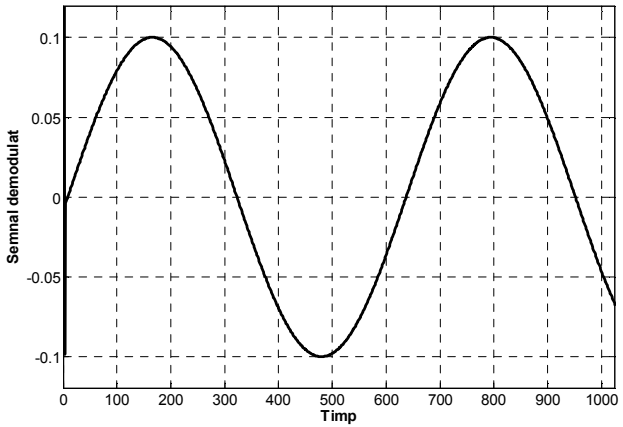
Mascarea haotică (semnal modulator mic)

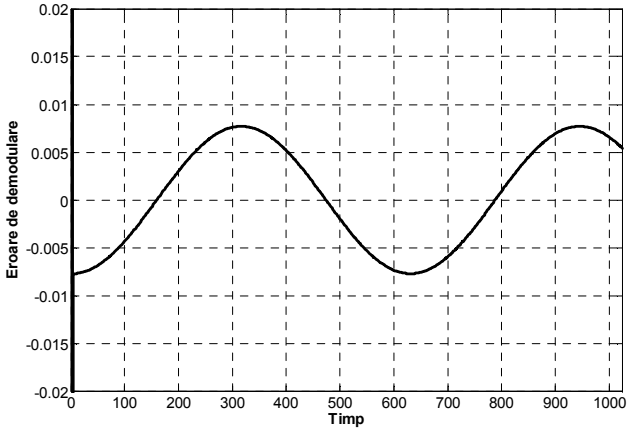


Mascarea haotică (semnal modulator mare)

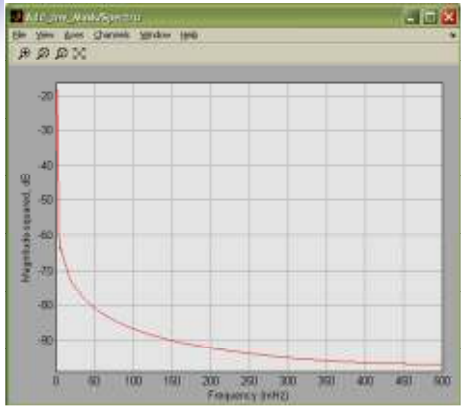


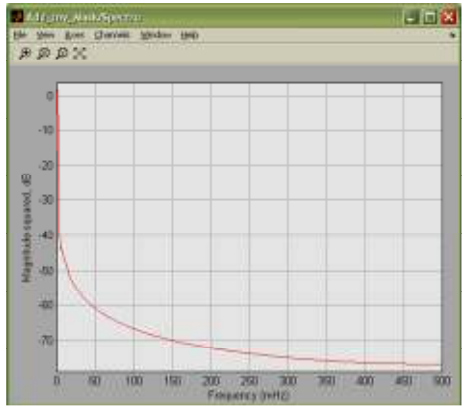


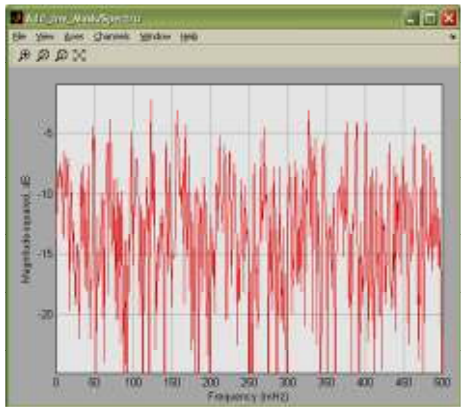


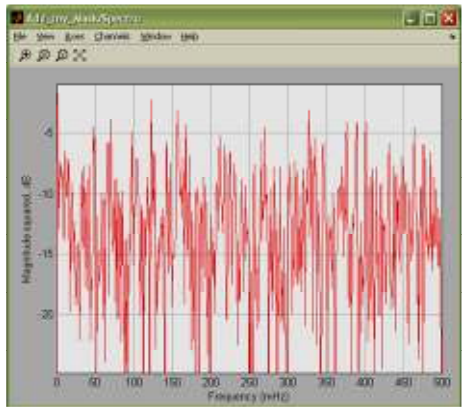


Mascarea haotică (spectre)









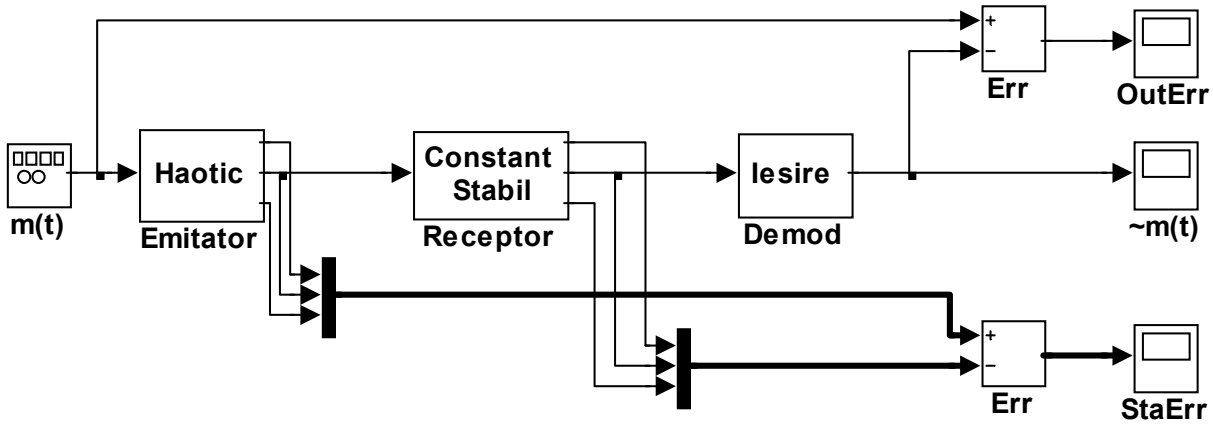
Semnal modulator mic

Semnal modulator mare

Modularea neliniara directă (in bucla de reactie)

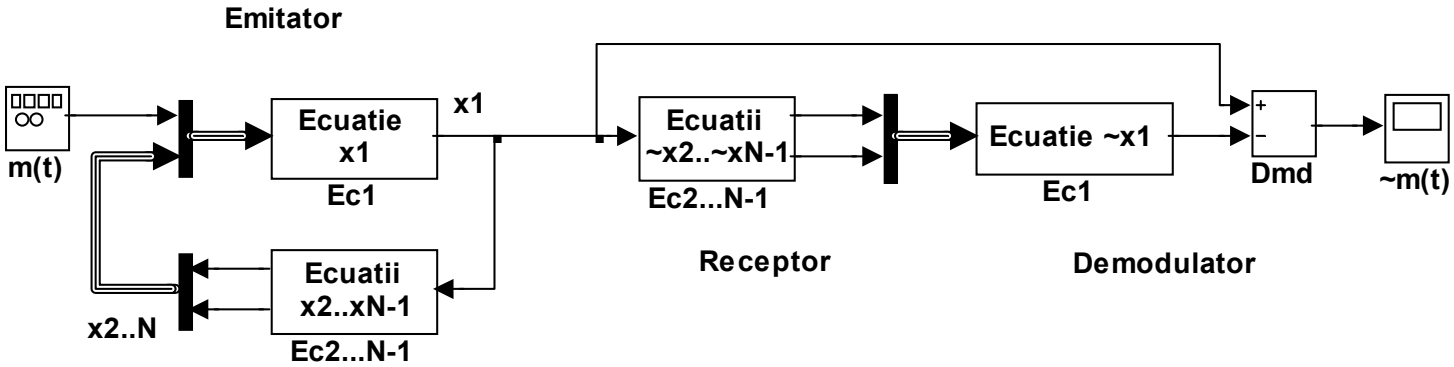
- Metoda **modulației directe** implică aplicarea semnalului modulator, ca intrare în sistemul emitator.
- Sistemele autonome permit de multe ori modificari simple care să le transforme în **sisteme neautonome**, prin includerea semnalului de intrare în ecuațiile de stare ale modelului autonom, fără ca această modificare să le schimbe tipul de comportare dinamică (cel puțin pentru anumite clase de semnale modulatoare, cum ar fi, de exemplu, cea a semnalelor mărginite).
- Toate metodele de sincronizare sunt aplicabile în cazul acestui tip de modulație (partiționarea emitatorului, metoda sistemului invers și controlul cu reactie)
- In fiecare caz, trebuie proiectat demodulatorul, care sa extraga o aproximare a semnalului modulator, din variabilele de stare ale sistemului receptor si, eventual, semnalul receptionat.

Modularea directă (cont.)



- Emitatorul este modificat pentru a fi **ne-autonom**, intrarea fiind semnalul modulator
- Receptorul **reface toate variabilele** de stare ale emitatorului

Sincronizare prin partitionarea emitatorului



- Ecuatia variabilei de stare transmise este utilizata la **demodulare**

Sistem Lorenz

- Emitator

$$\begin{cases} x' = \omega_0 \cdot \sigma \cdot (y - x) \\ y' = \omega_0 \cdot (\rho \cdot x - y - x \cdot z + m(t)) \\ z' = \omega_0 \cdot (x - \beta \cdot z + x \cdot y) \end{cases}$$

Receptor

$$\begin{cases} \tilde{x}' = \omega_0 \cdot \sigma \cdot (y - \tilde{x}) \\ \tilde{z}' = \omega_0 \cdot (\tilde{x} - \beta \cdot \tilde{z} + \tilde{x} \cdot y) \end{cases}$$

Demodulator

$$\tilde{y}' = \omega_0 \cdot (\rho \cdot \tilde{x} - \tilde{y} - \tilde{x} \cdot \tilde{z})$$

$$\tilde{m}(t) = y - \tilde{y} = \varepsilon_2$$

- Receptor autonom

$$A = \begin{pmatrix} -\omega_0 \cdot \sigma & 0 \\ \omega_0 & -\beta \cdot \omega_0 \end{pmatrix}$$

- Dinamica erorii:

$$\begin{cases} \varepsilon_1' = -\omega_0 \cdot \sigma \cdot \varepsilon_1 \\ \varepsilon_3' = \omega_0 \cdot \varepsilon_1 - \omega_0 \cdot \beta \cdot \varepsilon_3 + \omega_0 \cdot \varepsilon_1 \cdot y \end{cases}$$

$$\varepsilon_1 = x - \tilde{x}$$

$$\varepsilon_3 = z - \tilde{z}$$

- Eroarea scade exponential la 0

$$\begin{cases} \tau_1 = 1 / \omega_0 \cdot \sigma \\ \tau_3 = 1 / \omega_0 \cdot \beta \end{cases}$$

- Dinamica demodulatorului:

$$\varepsilon_2' = \omega_0 \cdot \rho \cdot \varepsilon_1 - \omega_0 \cdot \varepsilon_2 - \omega_0 \cdot (x \cdot z - \tilde{x} \cdot \tilde{z}) + \omega_0 \cdot m$$

Etajul de demodulare

- Ecuatia neliniara a demodulatorului:

$$\varepsilon_2' = \omega_0 \cdot \rho \cdot \varepsilon_1 - \omega_0 \cdot \varepsilon_2 - \omega_0 \cdot \left(x \cdot z - \tilde{x} \cdot \tilde{z}\right) + \omega_0 \cdot m$$

$$\tilde{m}' = -\omega_0 \cdot \tilde{m} - \omega_0 \cdot \left(z - \rho\right) \cdot \varepsilon_1 - \omega_0 \cdot \tilde{x} \cdot \varepsilon_3 + \omega_0 \cdot m$$

- Dupa **regimul tranzitoriu** de sincronizare:

$$\tilde{m}' \simeq -\omega_0 \cdot \tilde{m} + \omega_0 \cdot m \qquad H(s) = \frac{\tilde{M}(s)}{M(s)} \simeq \frac{\omega_0}{s + \omega_0}$$

- Canalul de comunicatii bazat pe **sincronizarea neliniara** este **aproximativ liniar**, avand selectivitate de tip **trece-jos**

Egalizarea canalului

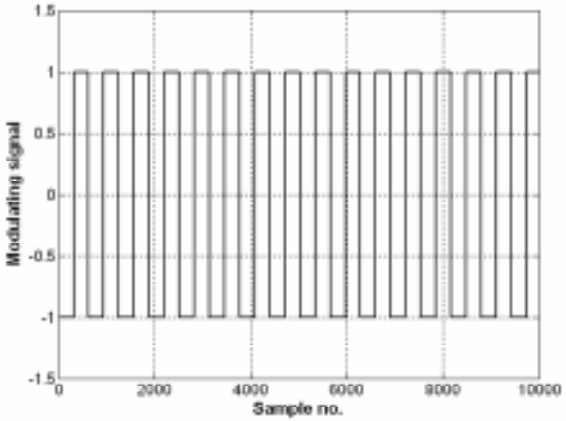
- Pentru egalizarea canalului de comunicatii trece jos:

$$H(s) = \frac{\tilde{M}(s)}{M(s)} \simeq \frac{\omega_0}{s + \omega_0}$$

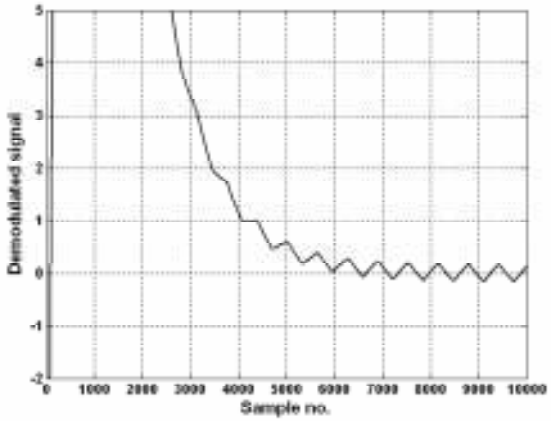
- Putem folosi un egalizor trece sus:

$$H_E(s) = \frac{s + \omega_0}{1/K \cdot s + \omega_0}$$

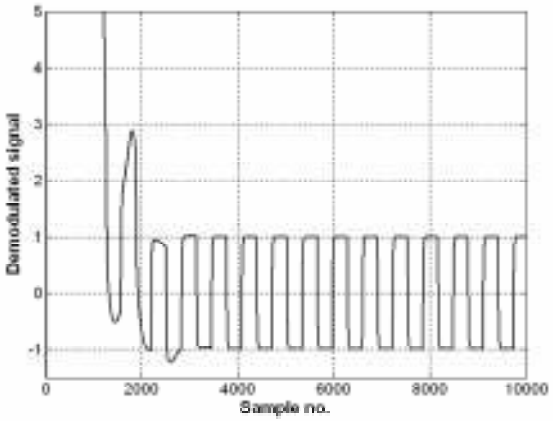
Simulari



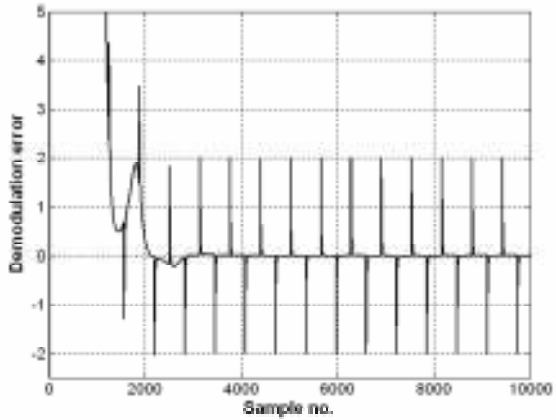
- Semnal modulator



- Semnal demodulat fara egalizare

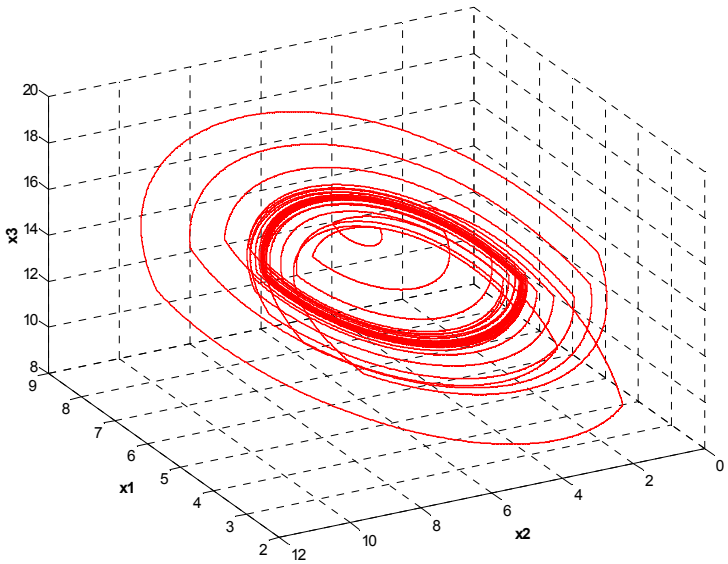


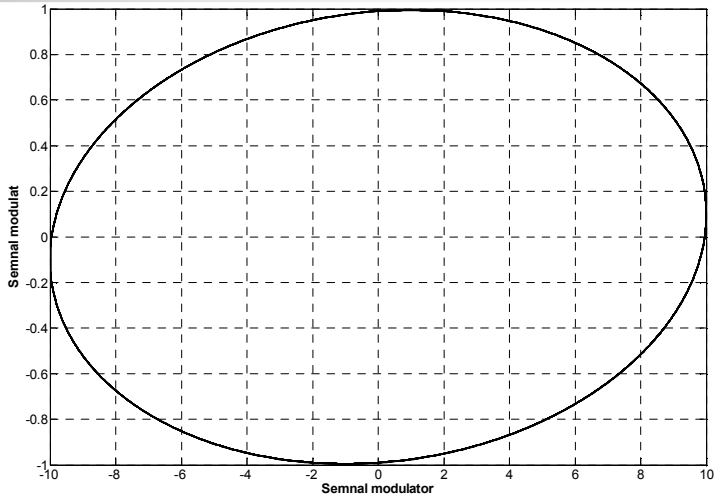
- Semnal demodulat cu egalizare

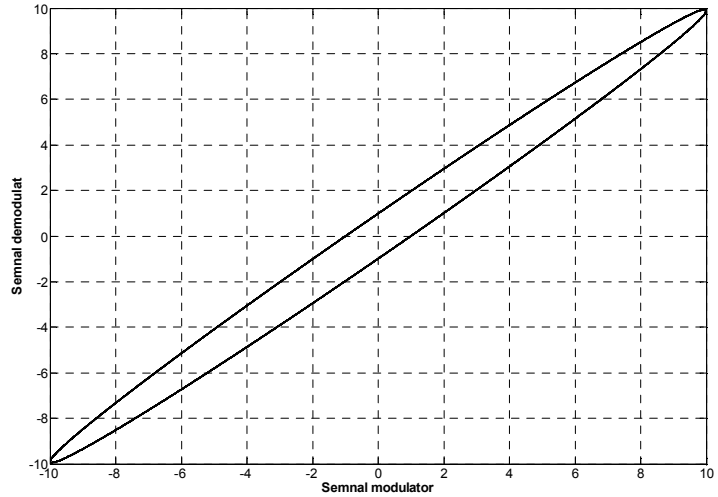


- Eroarea de demodulare cu egalizare

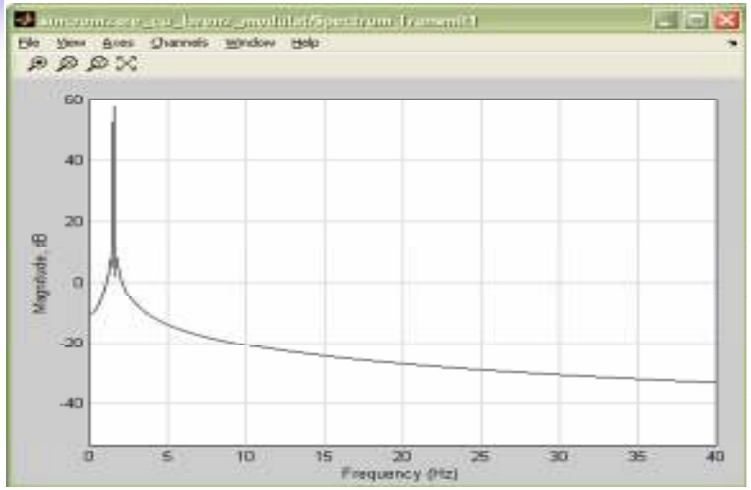
Simulari (cont.)

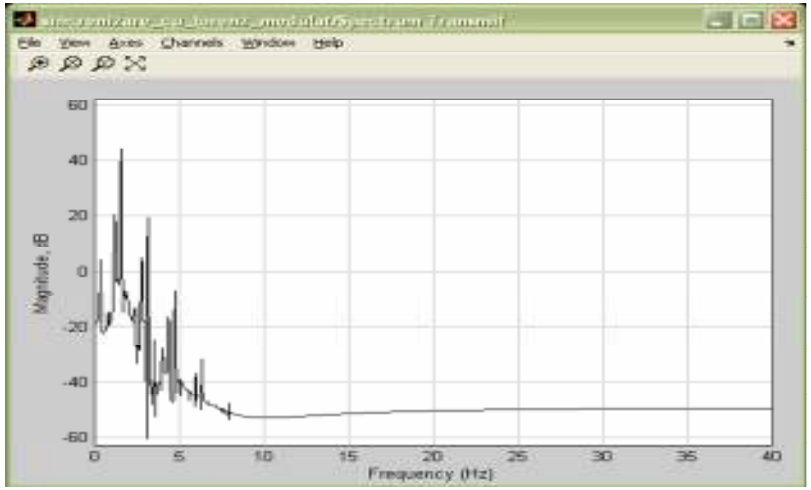




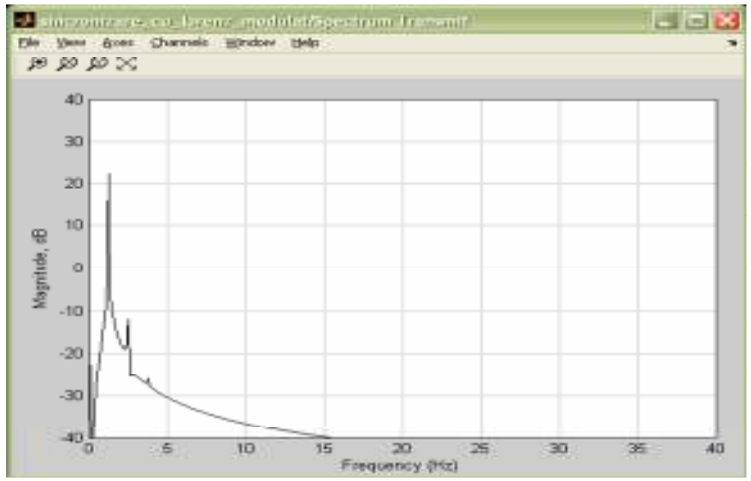


Simulari (cont.)



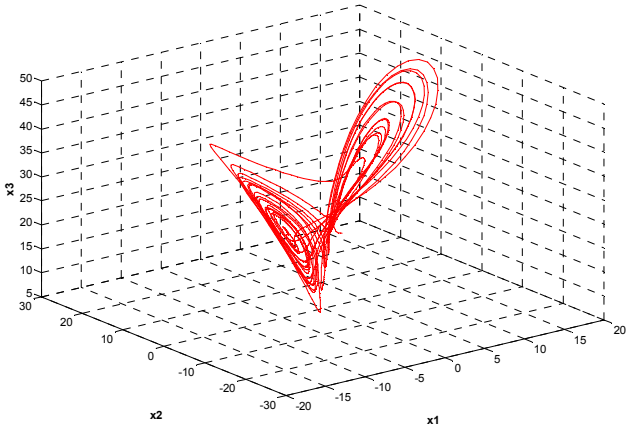


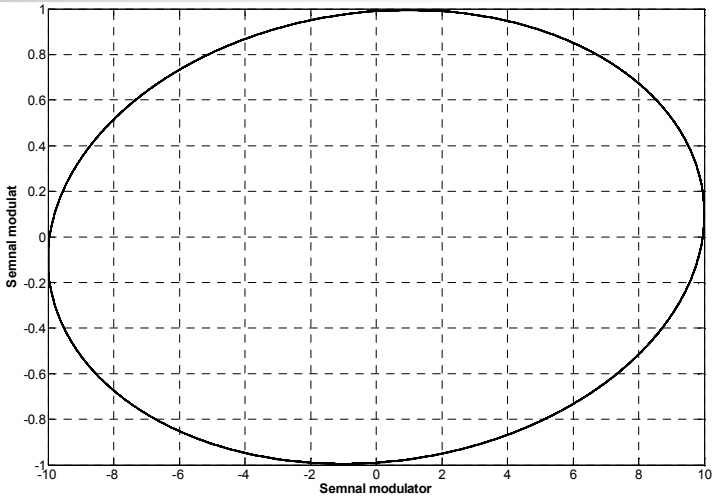
Spectru semnal modulat

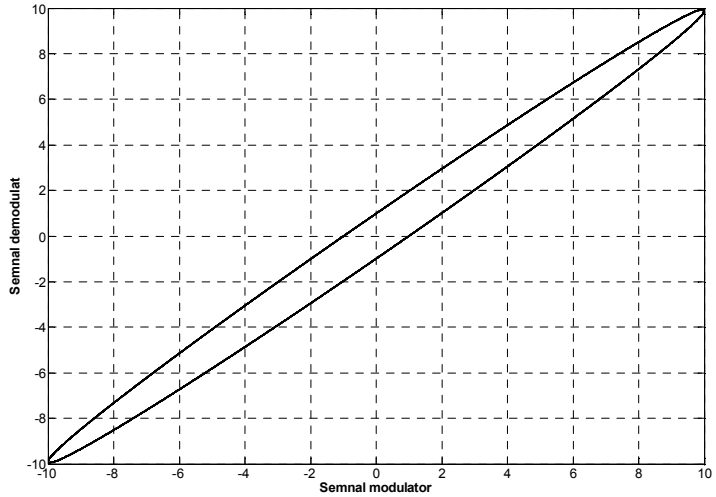


Spectru semnal purtator

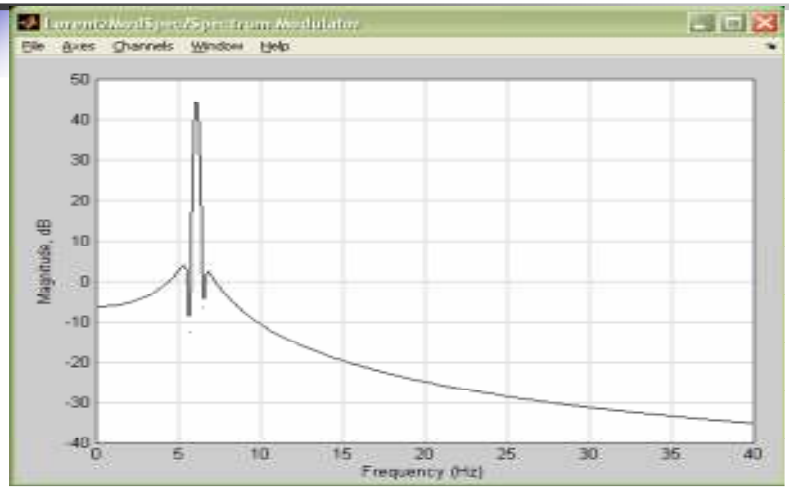
Securitatea transmisiei



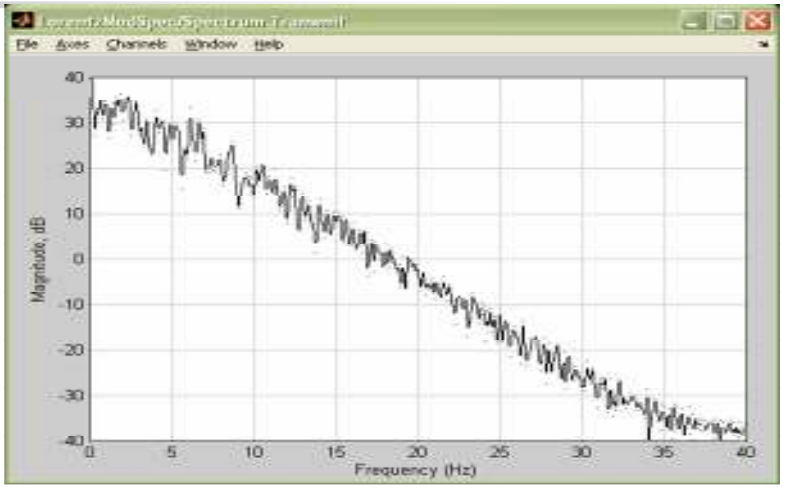




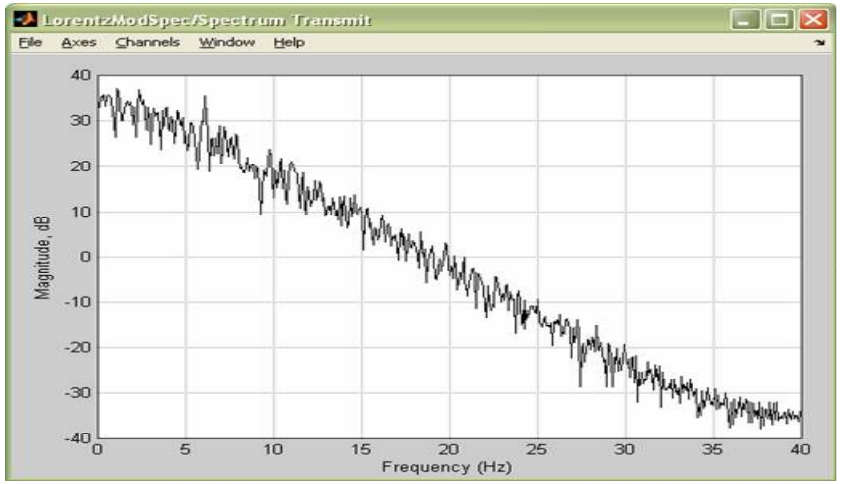
Securitatea transmisiei (cont.)



Spectrul semnalului modulator

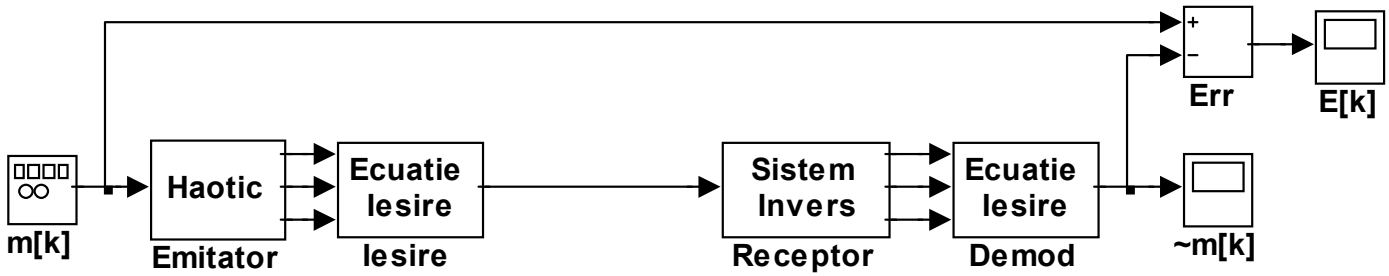


Spectrul semnalului transmis
$A_{mod} = 10$



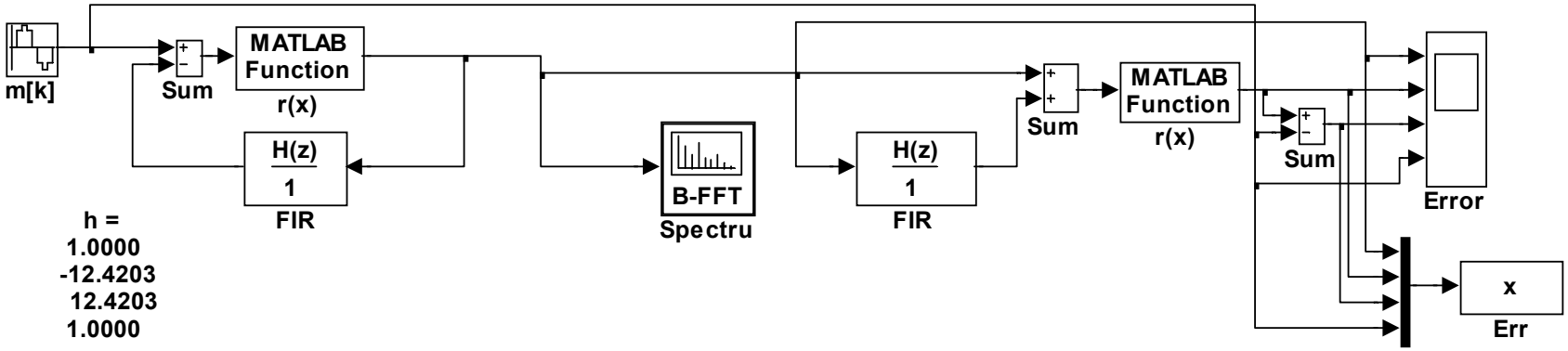
Spectrul semnalului transmis
$A_{mod} = 20$

Sincronizare prin metoda sistemului invers



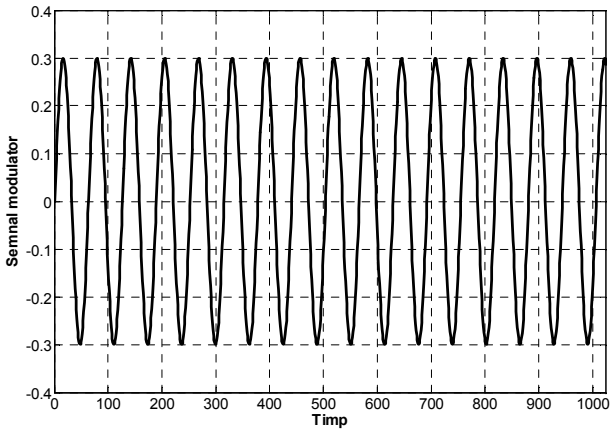
- **Sistemul invers** trebuie sa fie proiectat pentru comportare constanta si **global asimptotic stabila**
- Pe canalul de comunicatii se transmite un semnal de iesire, posibil combinatie (neliniara) a mai multor variabile de stare ale emitatorului
- Receptorul reface toate variabilele de stare ale emitatorului
- Din variabilele de stare ale recptorului, se cauta recuperarea semnalului modulator, demodulatorul fiind de multe ori fara memorie (ecuatia de iesire a receptorului)

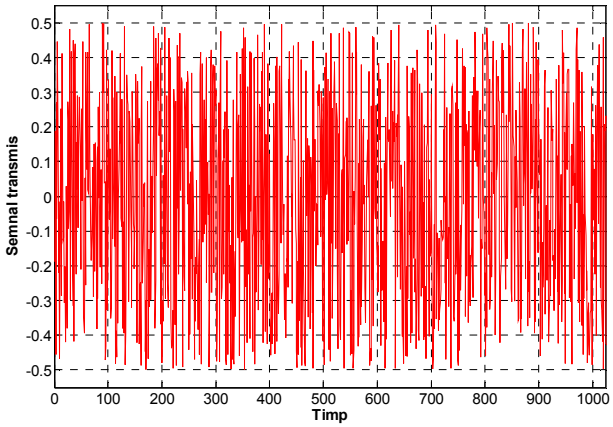
Emitator discret aditiv

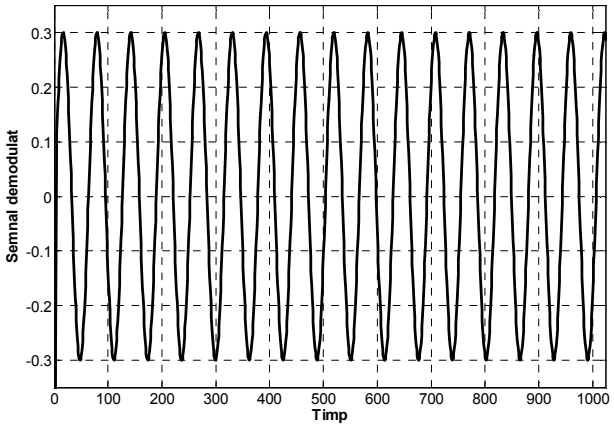


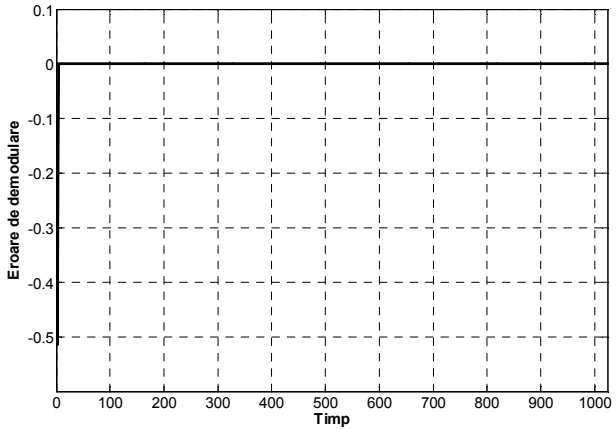
- Emitatorul este un sistem aditiv haotic
- Receptorul este proiectat pe principiul sistemului invers
- Intrarea in emitator este semnalul modulator (mai mic de 0.5, valoarea maxima a iesirii functiei algebric reziduu aditiv)
- Iesirea receptorului este semnalul demodulat
- Eroarea de demodulare este ideal nula, real depinde de desperecherea parametrilor intre emitator si receptor si de perturbatiile pe canal

Simulari

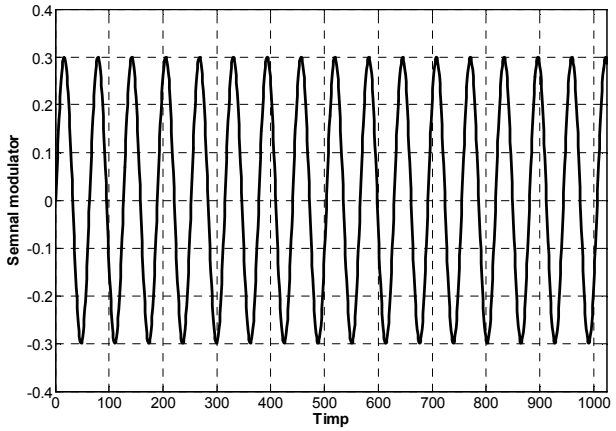

Semnal modulator
Timp

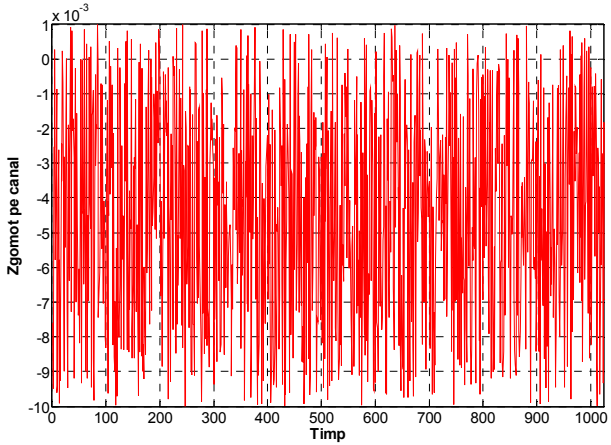

Semnal transmis
Timp

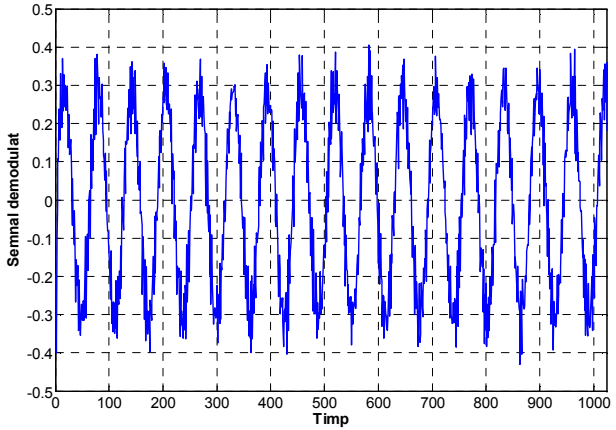

Semnal demodulat
Timp

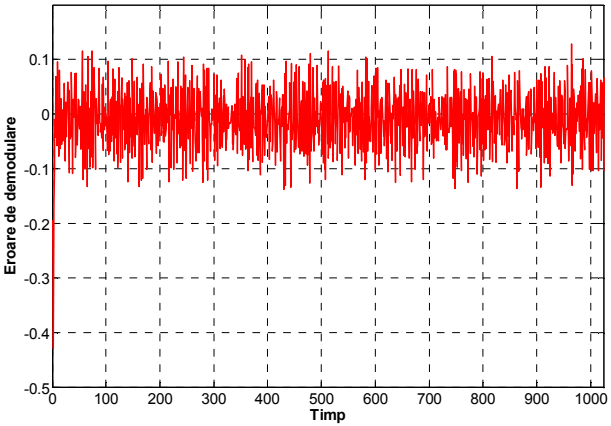

Eroare de demodulare
Timp

Erori de demodulare datorate perturbatiilor

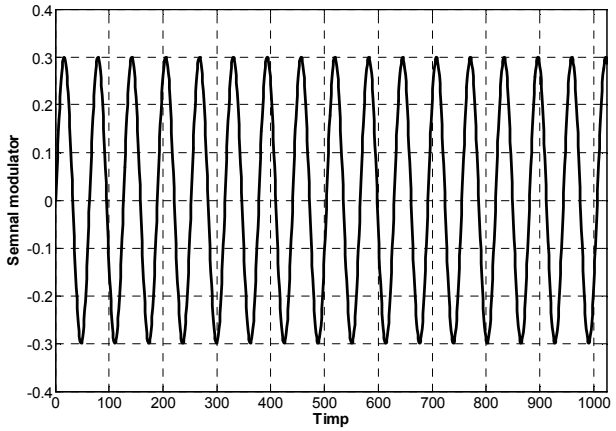


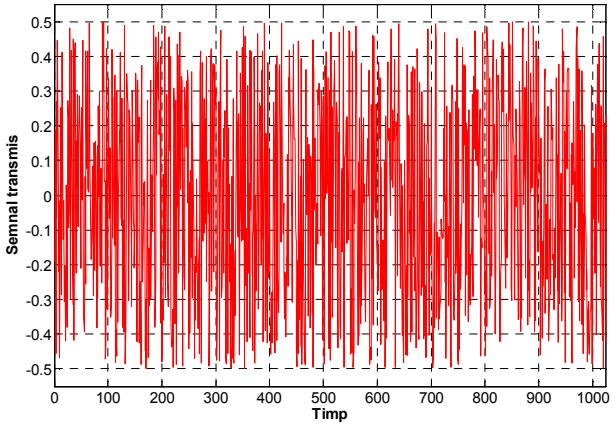


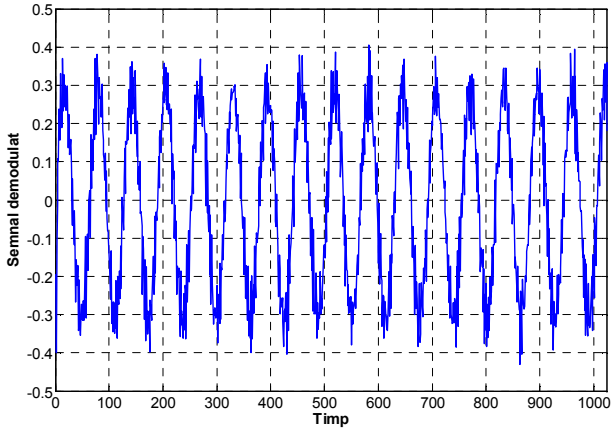


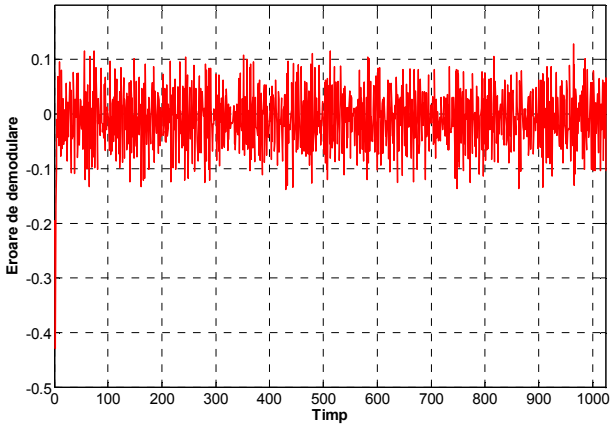


Erori de demodulare datorate parametrilor

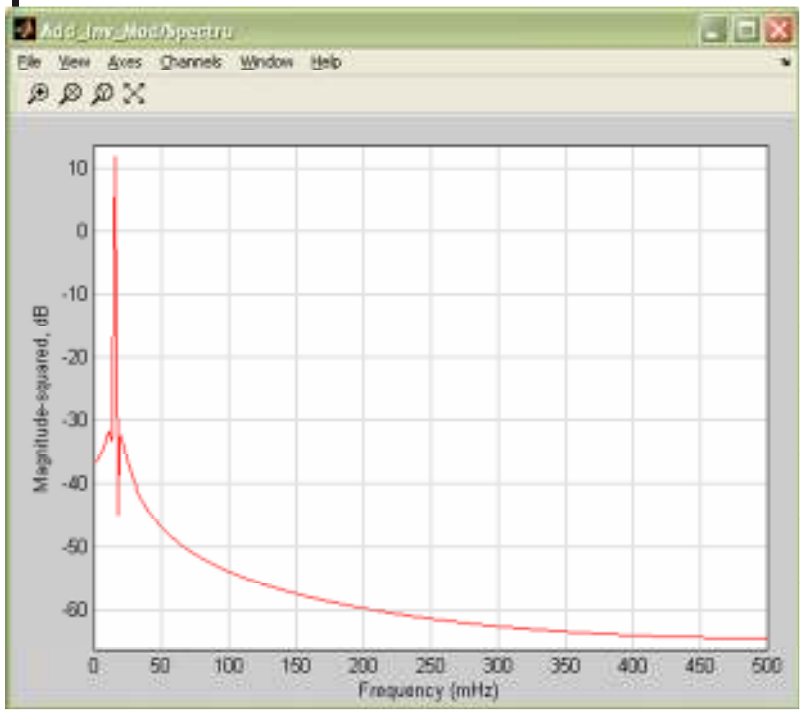


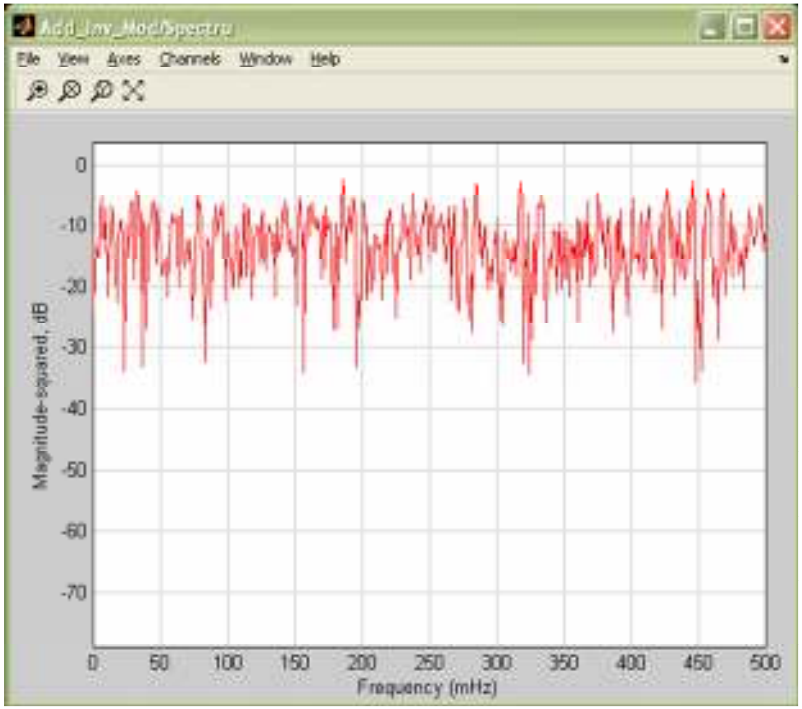






Spectre



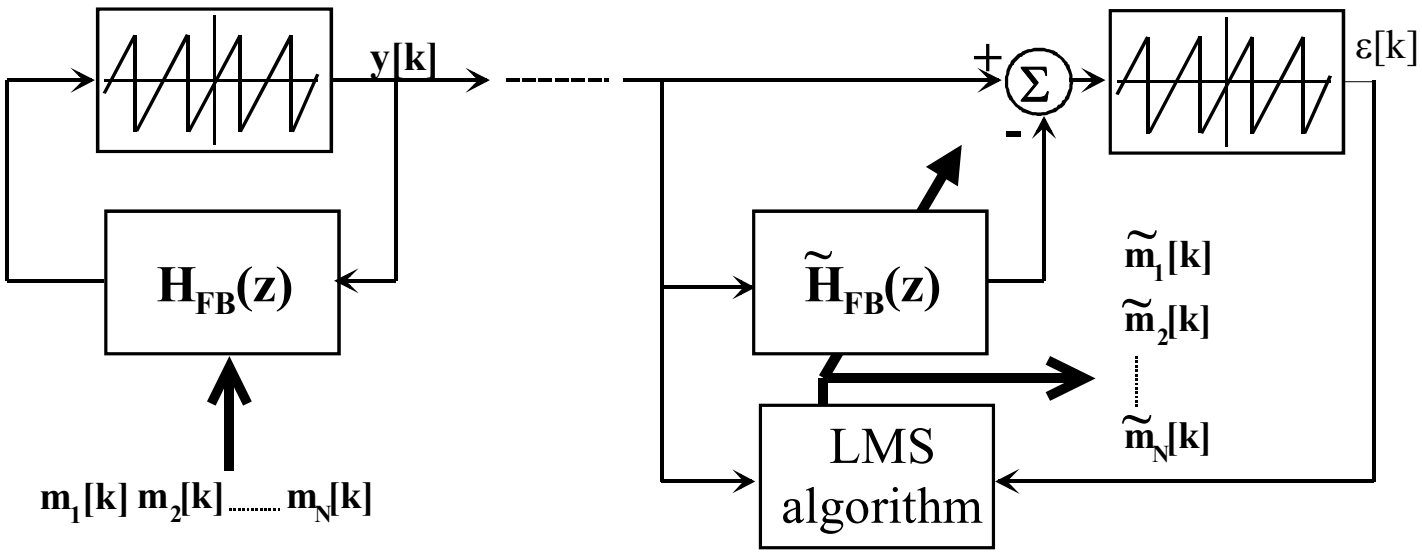


- Desi semnalul modulator este mare, linia spectrala caracteristica nu se distinge in spectrul semnalului transmis

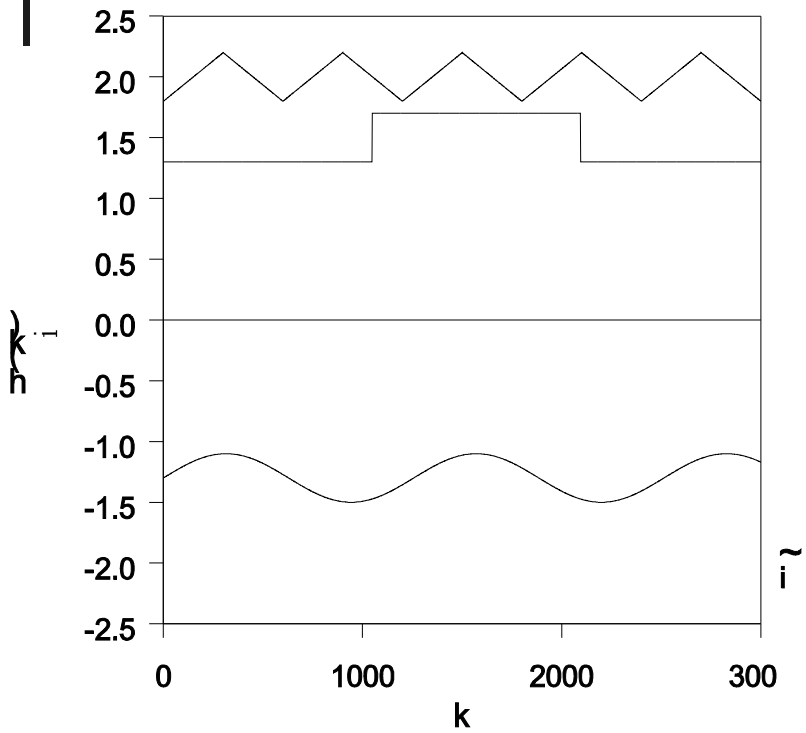
Modularea parametrilor sistemului

- Aplicarea unui semnal modulator, ca o mică variație a unui parametru al sistemului haotic, în jurul valorii nominale a acestuia.
- Pentru ca emițătorul să pastreze comportarea dinamica initiala (periodica, cuasi-periodica sau haotica), este necesar ca amplitudinea semnalului modulator să nu modifice valoarea parametrului modulat, până în zone, din spațiul parametrilor, în care sistemul emițător să aibă alt tip de comportare dinamică.
- Ne putem asigura de acest lucru, prin realizarea unei analize privitoare la partiționarea spațiului parametrilor după tipurile de comportări dinamice.
- Indiferent de metoda de sincronizare aleasă, datorită variației parametrilor emițătorului, și receptorul trebuie să fie variant în timp. Demodularea semnalului util din parametrii receptorului se poate realiza cu ajutorul unui algoritm adaptiv, care să poată urmări variația parametrilor emițătorului, in ritmul semnalului modulator.
- Dacă semnalul modulator nu variază continuu, ci este cuantizat, exista varianta unor receptoare multiple, în număr egal cu numărul nivelelor de cuantizare ale semnalului modulator. Prin detectarea sincronizării, se poate decide care nivel de cuantizare a fost emis.

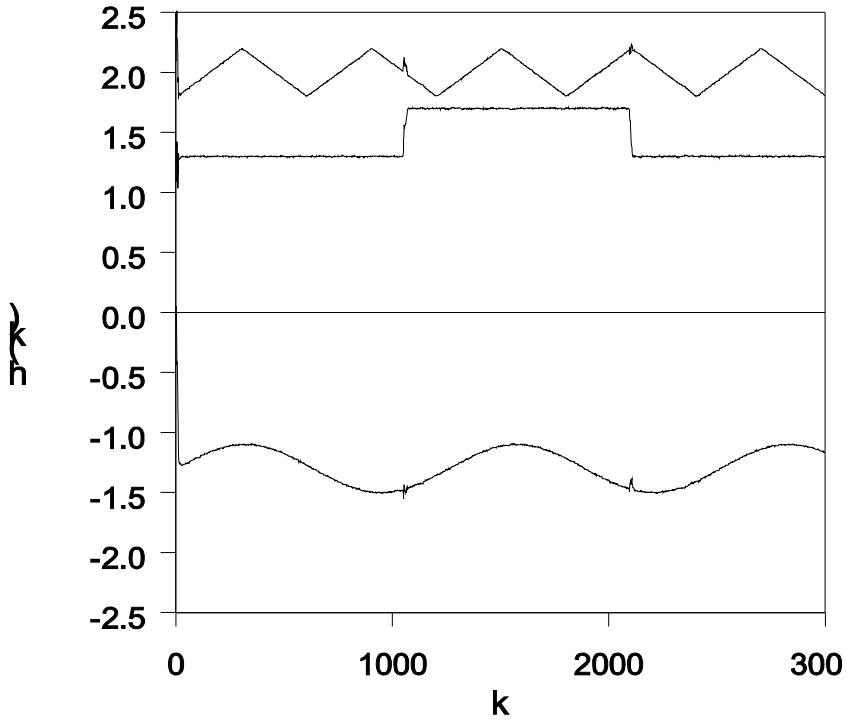
Emitator aditiv – receptor adaptiv



Simulari

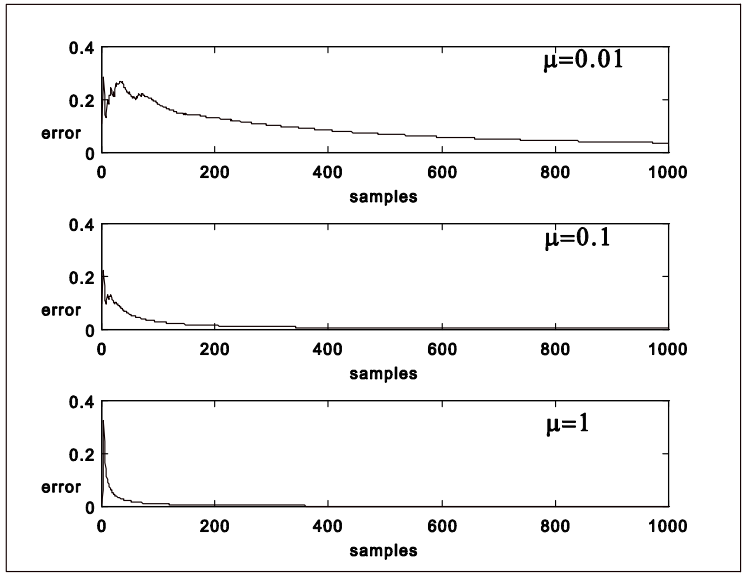


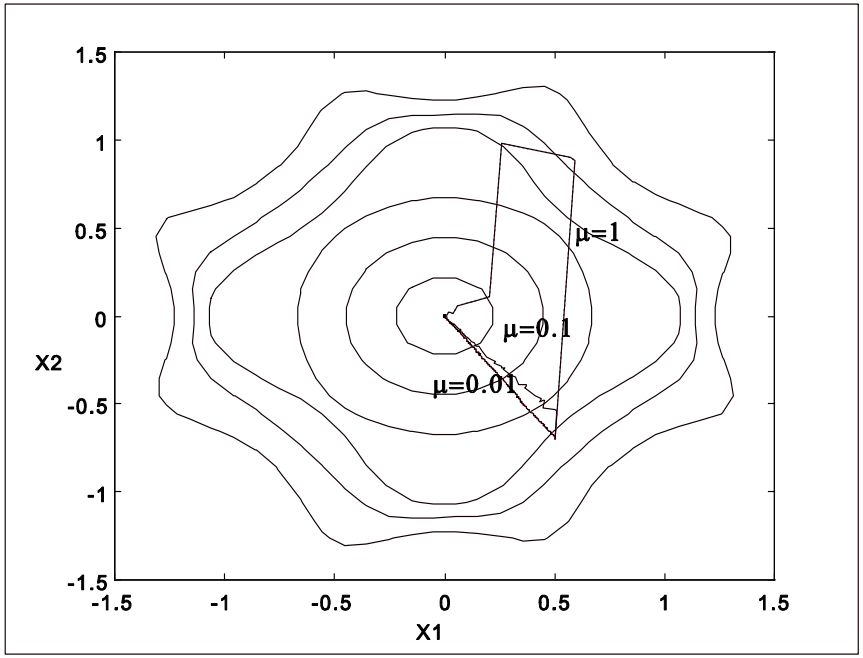
Semnale modulatorare



Semnale demodulate

Evolutia parametrilor receptorului





Concluzii

- Există trei metode principale de modulatie:
  - mascare
  - modulare directă
  - modularea parametrilor emitatorului
- In prealabil este neceara asigurarea sincronizarii intre receptor si emitator
- Nu exista limitari principiale privitoare la metoda de sincronizare aleasa; alegerea se face in functie de tipul emitatorului, metoda de modulare si de performantele necesare
- Modulatia neliniara poate fi utilizata indiferent de dinamica emitatorului, dar are un plus de securitate in cazul haotic
- Mascarea este cea mai putin performanta
- Modulatia directa este cea mai simpla si mai versatila
- Modulatia parametrilor este mai complexa, dar permite multiplexarea cailor

Bibliografie

- Suport de curs: \Lab_Files\6TMPS_CNPS\Suport_Curs\
  - www.scs.etc.tuiasi.ro/
- Suport de laborator: \Lab_Files\6TMPS_CNPS\Suport_Laborator
  - www.scs.etc.tuiasi.ro/
- *I. Ciocoiu, V. Grigoras; "Tehnici moderne de procesare a semnalelor"*

Ed. Cermi 2005 (cap. 4 si 5):

- \Lab_Files\6TMPS_CNPS\Tehnici moderne de procesare a semnalelor
- *T. S. Parker, L. O. Chua; "Chaotic Dynamics Algorithms" 1989:*
  - \Lab_Files\6TMPS_CNPS\Chaotic Dynamics Algorithms - Parker & Chua
- *H. G. Schuster; "Deterministic Chaos" 1984*
- *J. Guckenheimer, P. Holmes; "Nonlinear Oscillations, Dynamical Systems and Bifurcations of Vector Fields" Springer-Verlag 1983*