

## МЕТОД ВІДБОРУ ХАОТИЧНИХ СИГНАЛІВ ДЛЯ ВИКОРИСТАННЯ У НАДШИРОКОСМУГОВИХ СИСТЕМАХ ЗВ'ЯЗКУ

У статті показаний метод відбору хаотичних коливань та вхідних параметрів, при яких вони генеруються, шляхом використання розширеного трактування матриці Грама та граміану. Показані та охарактеризовані результати впливу зміни значення відносної точності вирішення системи диф. рівнянь на величини фокусів атракторів, зокрема у зонах поганої обумовленості.

Ключові слова: хаос, надширокосмуговість, UWB, генератор хаосу, хаос-піднесуча, матриця Грама, гаміан.

O.B. GOLEVYCH

Khmelnitsky National University, Khmel'nitsky, Ukraine

### THE SELECTION METHOD FOR CHAOTIC SIGNALS IN ULTRA-WIDEBAND COMMUNICATION SYSTEMS

*Abstract - The selection method of chaotic oscillations and input parameters of their generation through the use of advanced interpretation of the Gram matrix and the gramian is presented in the article. The effects of changing the relative accuracy of differential equations' systems' solutions on the value of attractors' focuses, particularly in areas of ill-conditioning, are shown and described.*

*Keywords: chaos, UWB, chaos generator, chaotic subcarriers, Gram matrix, gramian.*

#### Вступ

На сьогоднішній день спектр можливих застосувань динамічного хаосу досить обширний. Він включає в себе питання моделювання складних систем, аналіз колективної поведінки ансамблів взаємодіючих об'єктів з метою ефективного управління динамікою такого роду систем, розвиток прогностичних методів, заснованих на аналізі експериментально спостережуваних хаотичних часових вибірок і ряд ін. Особливе місце займає напрямок пов'язаний з використанням хаосу в інформаційних технологіях, зокрема у надширокосмуговій технології UWB [1]. Інтерес до цього не випадковий і визначається, насамперед, властивостями хаотичних коливань [2].

**Метою статті** є обґрунтування методу визначення оптимального з точки зору апаратних витрат базису хаос-підносійних для будь-якого генератора хаосу.

#### Обґрунтування критерію відбору хаотичних сигналів

Генерація хаотичних сигналів різних динамічних систем безпосередньо залежить від вхідних параметрів даної системи. Однак, емпірично встановлено, що генерація власне хаотичних коливань здійснюється в деяких конкретних межах значень кожного із вхідних параметрів [3]. Це означає, що при інших значеннях вхідних параметрів динамічна система буде реалізовувати інший, відмінний від хаотичного типу сигналу (затухаючі або наростаючі коливання, гармонічні коливання) які не представляють особливої цінності для використання у хаотичних системах зв'язку.

Для відокремлення значень вхідних параметрів заданої динамічної системи при яких генеруються власне хаотичні сигнали будуються біфуркаційні діаграми, де відображені зони генерації хаотичних та не хаотичних коливань [4].

Однак, якщо динамічна система володіє більш як одним незалежним вхідним параметром – побудова двовимірної двопараметричної біфуркаційної діаграми буде являтися тільки частинним випадком, і не дасть цілого уявлення щодо повного обсягу значень усіх вхідних параметрів динамічної системи. Побудова повної двопараметричної біфуркаційної діаграми динамічної системи із двома вхідними параметрами можлива лише у чотиривимірному просторі, що унеможливує її статистичне відображення для, наприклад, наочного аналізу.

Внаслідок того, що переважна більшість динамічних систем у множині значень вхідних параметрів реалізують різні види сигналів (рис. 1) необхідно, з точки зору доцільності використання у хаотичних системах зв'язку UWB вирішити задачу, що полягає у відсіюванні усіх не хаотичних коливань.

Тому логічно було б запропонувати метод аналізу та оцінки типу коливань реалізованих динамічною системою при певних значеннях вхідних параметрів, що надасть змогу у подальших розрахунках використовувати тільки ті значення вхідних параметрів при яких здійснюється реалізація хаотичного сигналу.

#### Алгоритм метода відбору хаотичних сигналів та його особливості

В основу метода аналізу сигналів динамічних систем було взято метод перевірки на лінійну розбіжність векторів, та розширене трактування матриці Грама і граміану, де значення граміану характеризуватиме ВКФ хаотичних сигналів, а величина максимального значення взаємної енергії між ансамблями хаотичних сигналів певної довжини являється визначальним критерієм оцінки у застосованому підході.

Значення взаємної енергії між ансамблями хаотичних сигналів характеризує енергетичну незалежність між каналами в яких використовуються ці сигнали, тобто визначає чи енергія із одного каналу переходить у інший.

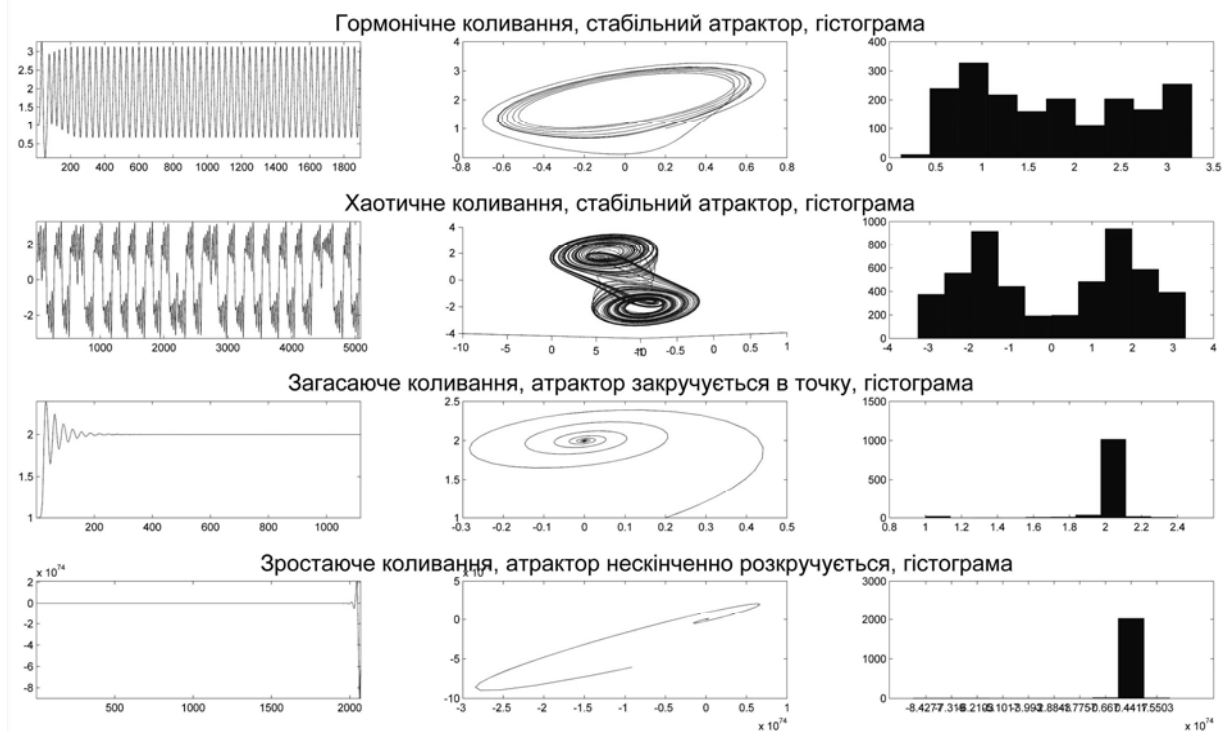


Рис 1. Типи коливань, їх атрактори та гістограми, при певних значеннях вхідних параметрів. Для прикладу наведені сигнали генератора Чуа.

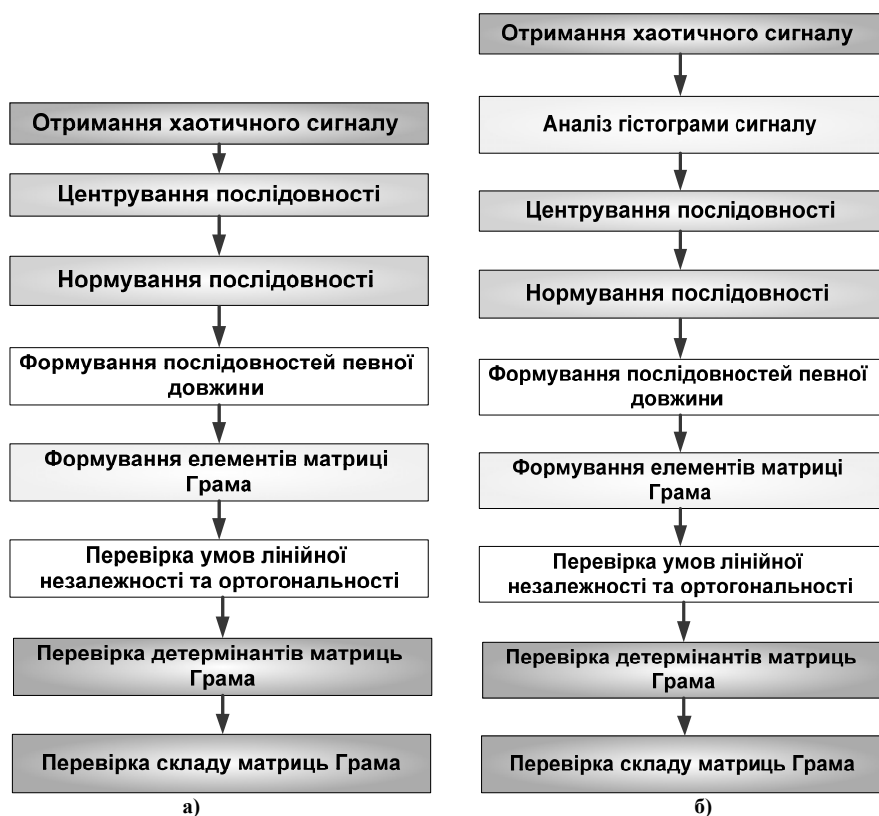


Рис 2. Послідовність (а) та доповнена послідовність (б) методу визначення оптимального з точки зору апаратних витрат базису хаос-підносійних.

Використання лінійно незалежних функцій як базис підносійних спряжено із значними апаратними витратами, замість  $N$  кореляторів необхідно використовувати  $N^2$  кореляторів. Тому або необхідно перетворювати отриману систему лінійно незалежних функцій в ортогональну, наприклад за процедурою Шварца, або вибрати серед виділених різних базисів найкращий.

Застосування перетворення лінійно-незалежного базису в ортогональний є складною процедурою і над хаотичними сигналами проводити цю процедуру проблематично, тому оберемо шлях підбору найбільш якісного з точки зору ортогональності базису.

Методика відбору оптимального базису хаос сигналів для використання у якості хаос-підносійних описана у статті [5], а її алгоритм приведений на рис 2.а.

Використовуючи такий метод оцінки коливань динамічної системи можливо відокремити придатні для використання у системах зв'язку хаотичні сигнали.

Однак, при детальному аналізі біфуркаційних діаграм деяких генераторів хаосу були виявлені коливання, які даним методом оцінки помилково вважалися ортогональними, внаслідок повільно загасаючого, або повільно зростаючого характеру поведінки амплітуди сигналу. Тому даний метод був доповнений, для відсіювання подібного типу коливань (рис. 2б).

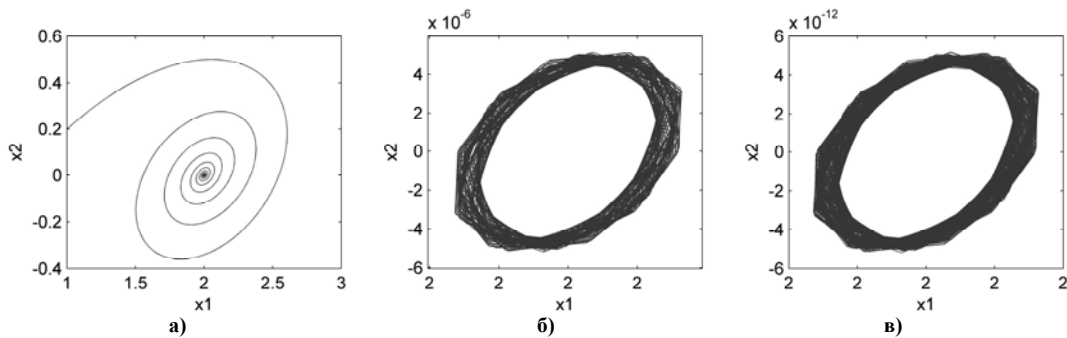


Рис 3. Атрактор типу «фокус» генератора Чуа (а), встановлені режими коливання даного атрактора при точності вирішення диф. рівняння  $\epsilon = 2.22045e-6$  (б), та при  $\epsilon = 2.22045e-12$  (в)

Доповнення методу оцінки сигналів полягає у аналізі гістограми реалізованого хаотичного сигналу, де, як видно із рис. 1, гістограми зростаючих та спадаючих коливань представляють собою одиничні прямокутники, а гістограми хаотичного та періодичного – відтворюють певний закон розподілу випадкової величини. Тому прийнятним для подальшого аналізу сигнал, слід вважати той, у якого присутні більш як один прямокутник у гістограмі на рівні 30% від максимального значення висоти найбільшого прямокутника.

Слід також звернути увагу на проблему точності реалізації математичної моделі динамічної системи. В ході проведення досліджень, при аналізі хаотичних атракторів було виявлено стабільні орбіти атракторів, у зонах біфуркаційних діаграм, де не передбачувалось виникнення режиму генерації хаотичних сигналів. При детальному аналізі атракторів цих зон було встановлено, що на величину фокуса еліптичного атрактора впливає тільки значення відносної точності  $\epsilon$  при вирішенні системи нелінійних диференціальних рівнянь (Рис 3). І тільки при збільшенні відносної точності  $\epsilon$  на декілька порядків атрактор зводився у точку.

### Висновки

Запропонований метод відбору хаотичних сигналів є універсальним, та дозволяє відібрати хаотичні сигнали будь-якого генератора хаосу, що дозволить оцінити його кореляційні властивості. За допомогою даного методу, можлива побудова та аналіз двопараметричних біфуркаційних діаграм генераторів хаосу та відбору тільки тих значень вхідних параметрів, при яких генеруються тільки хаотичні коливання з цілю їх подальшого використання у хаотичних системах надширокопasmового зв'язку.

Також запропонований метод відбору хаотичних коливань не чутливий до коливань з атракторами типу «фокус» та «репеллер», що значно пришвидшує час аналізу динамічної системи.

Встановлено, що відносна точність вирішення систем диференціальних рівнянь безпосередньо впливає на становлення стійких атракторів динамічних систем у зонах поганої обумовленості.

### Література

1. Пахомов С. Развитие стандарта Ultra Wideband / С. Пахомов. – [Електронний ресурс] // Журн. КомпьютерПресс — 05.2003. — Режим доступу: <http://www.compress.ru/article.aspx?id=10728&iid=428#03/>
2. Кислов В. Я., Колесов В. В., Беляев Р. В. Применение хаотических сигналов в информационных технологиях / В. Я. Кислов, В. В. Колесов, Р. В. Беляев // Журн. Радиотехника и электроника — 2009, — №1-2. — С. 23-32.
3. А. с. 1125735 СССР. Способ генерирования электромагнитных шумовых колебаний / Е.А. Мясин (СССР), — № 1125735 ; Оpubл. 23.11.84;
4. Мацумото Т. Хаос в электронных схемах / Т. Мацумото // ТИИЭР.-Т.75.-1987.-№8.-С.76.
5. Голевич О.Б. Використання хаотичних сигналів у багатоканальних надширокопasmових системах зв'язку / О.Б. Голевич, О.С. Пивовар // ВOTTP.-2013.-№3.-С.180.

### References

1. S. Pakhomov, «Razvitiye standarta Ultra-Wideband», Komp'yuterPress, 05.2003, <http://www.compress.ru/article.aspx?id=10728&iid=428#03/>
2. Kislov V. YA., Kolesov V. V., Belyayev R. V. Primeneniye khaoticheskikh signalov v informatsionnykh tekhnologiyakh, Radiotekhnika i elektronika, 2009, No. 1-2. — pp. 23-32.
3. Pat 1125735 SSSR, Sposob generirovaniya elektromagnitnykh shumovykh kolebaniy / A. Myasin, Opubl. 23.11.84
4. Matsumoto T. Khaos v élektronnykh skhemakh. //TYÉÉR.-T.75.-1987.-№8.-S.76.
5. Golevych O.B., Pyvovar O.S., Vykorystannya khaotychnykh syhnaliv u bahatokanalnykh nadshyrokosmuhovykh systemakh zv'yazku. //VOTTP.-2013.-№3.-S.180