

Рис. 7. Третий вариант архитектуры системы

Выводы

В данной статье описан процесс разработки программной системы, имитирующей полет крылатой ракеты. Проведены анализ предметной области, алгоритмизация задачи, отражен процесс создания архитектуры программы. Изложенный материал может иметь практическое применение при создании систем управления движением объектов по пересеченной местности, а также при создании игровых приложений.

Литература

1. Свирневский Н.С. Моделирование задачи автоматизированного проектирования изделия / Н.С. Свирневский // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2006. – № 5. – С. 50–54.
2. Михайленко В.Е., Анпилогова В.А. Справочник по машинной графике в проектировании / Михайленко В.Е., Анпилогова В.А. – К. : Будівельник, 1984. – 183 с.
3. Буч Г. Объектно-ориентированный анализ и проектирование / Буч Г. – М. : Бинум, 1998. – 560 с.
4. OpenGL. Руководство по программированию / Шрайнер Д.и др. – Питер, 2006. – 624 с.

Надійшла 8.11.2012 р.
Рецензент: д.т.н. Сорокати Р.В.

УДК 621.321

О.С. ПИВОВАР, С.Р. ПАВЛІНСЬКИЙ
Хмельницький національний університет

МОДЕЛЮВАННЯ ГЕНЕРАТОРІВ ХАОСУ ДЛЯ ВИКОРИСТАННЯ В UWB СИСТЕМАХ ОБРОБКИ ІНФОРМАЦІЇ

У статті розглядається ітераційна модель генератора хаосу із метою визначення особливостей спектрів хаотичних сигналів під час зміни керуючого параметру. Показано можливість використання спектральних особливостей для введення інформаційного сигналу у хаотичний носійний процес.

Ключові слова: генератор хаосу, хаотичний сигнал, спектр, біфуркація, UWB.

In the article the iteration model of generator of chaos is examined with the aim of determination of features of spectrums of chaotic signals during a change managing to the parameter. Possibility of the use of spectral features is shown for introduction of informative signal to the chaotic process.

Keywords: generator of chaos, chaotic signal spectrum, bifurcation, UWB.

Вступ

Зростаючі обсяги інформації мобільних систем телекомунікацій постійно потребують збільшення пропускних спроможностей каналів зв'язку. Особливо гостро стоїть проблема розробки радіосистем, що могли б функціонувати із вже існуючими системами мобільних комунікацій в одному і тому самому частотному діапазоні. Можливість спільного існування різних систем в межах одного частотного ресурсу потребує суттєвої відмінності застосованих сигналів у різних системах. Якщо традиційні системи використовують модульовані гармонічні коливання, то має сенс у нових системах використовувати хаотичні сигнали.

Основна частина

Хаотичні коливання утворюються в хаотичних нелінійних нестійких динамічних системах, тобто

вони є результатом еволюції поведінки цих систем. Форма сигналів хаос-генераторів носить випадковий характер, але такі сигнали мають важливі відмінності від шумових сигналів, що торкаються як способу їх отримання так і статистичних характеристик. Найбільш повно відмінність хаотичних і випадкових сигналів пояснюється за допомогою фазових траєкторій. Для випадкових процесів фазові траєкторії є випадковими, непередбачуваними та не відтворюваними повторно, тобто під час запуску шумоподібного генератора за однакових початкових умов отримуються різні фазові траєкторії. Хаотичні коливання, незважаючи на складність форми та її зміну у часі є відтворюваними, за умови відтворення початкових умов збудження [1].

Приваблива особливість хаотичних систем полягає у можливості управління хаотичними режимами шляхом малих змін параметрів системи. Структура виду коливань, за умови невеликої зміни керуючого параметра, може змінитися у незначній мірі, але це буде вже інша хаотична мода і факт цієї зміни може бути надійно зафіксований. Якщо в системі є декілька змінних параметрів, то варіювання кожним з них окремо або одночасно буде приводити до зміни типу хаотичної моди. Тому введення інформації в хаотичний сигнал може здійснюватися за допомогою зміни параметра (параметрів), а виділення інформації в приймачі здійснюється за рахунок вибору параметрів приймача і забезпечення хаотичної синхронізації.

До теперішнього часу запропоновано і досліджено значну кількість динамічних систем, що генерують хаотичні сигнали, наприклад, генератор Чуа, система Лоренца, система Ресслера[2]. З практичної точки зору вони можуть бути реалізовані за допомогою дискретної нелінійної елементної бази або у вигляді аналогової інтегральної мікросхеми, або на основі цифрових сигнальних процесорів. Традиційно генератори хаосу описуються декількома нелінійними диференційними рівняннями у частинних похідних, що дуже схожі на математичні моделі генераторів регулярних коливань. Найбільш часто у якості моделі хаос генераторів використовуються системи із трьох рівнянь для розв'язання якої необхідна сучасна математична підтримка у вигляді спеціалізованих математичних САПР. Крім того для розв'язання цих рівнянь час аналізу може сягати від декількох годин до декількох діб. Тому для висвітлення загальних підходів та тенденцій використовуються спрощені математичні моделі у вигляді ітераційних рекурентних співвідношень та структурних схем їх реалізації [3].

Найбільш простою для поточних обчислень та аналізу є математична модель хаос генератора що може бути описана формулою:

$$X_{i+1} = rX_i(1 - X_i), \tag{1}$$

де X_i – значення сигналу на виході генератора хаосу;

r – керуючий параметр, фізичний зміст якого визначається конкретно побудовою схеми генератора та схемою встановлення його режимів збудження, наприклад, це може бути узагальнений режим роботи за постійним струмом транзисторного генератора Колпітца.

Відповідно математичній моделі (1) із традиційних радіотехнічних блоків можливо створити структурну модель (рис. 1), яка вбирає в себе усі фізичні аспекти що «приховано» у системі диференційних рівнянь. Незважаючи на простоту математичного виразу (1) складання структурної моделі у рамках радіотехнічного аспекту розгляду може бути здійснено багатьма шляхами, що підтверджує наявність високої кількості різноманітних схем генераторів хаотичних сигналів [1, 2].

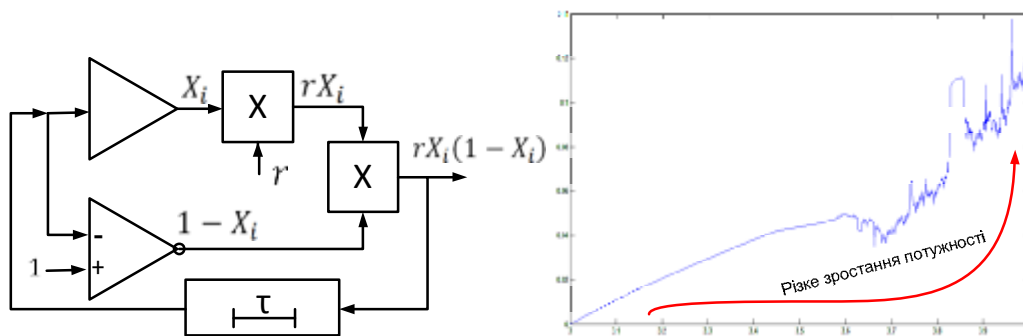


Рис. 1. Функціональна модель напівпровідникового генератора хаотичного сигналу (ліворуч) та залежність потужності хаос-сигналу від керуючого параметра (праворуч)

Складні радіотехнічні кола можливо описати через сукупність певних зв'язку між лінійними та нелінійними блоками. В якості лінійних блоків структурна схема генератора динамічного хаосу (рис. 1) використовує лінійні підсилювачі та лінію затримки. Вважається, що підсилювачі мають певний динамічний діапазон та є повністю неінерційними елементами. Лінія затримки в цій моделі забезпечує адекватність причинно-наслідкових зв'язків та характеризується рівномірною в усьому діапазоні радіочастот амплітудно-частотною характеристикою (АЧХ) та безмежно лінійною фазочастотною характеристикою (ФЧХ).

Нелінійна частина структурної моделі (рис. 1) представлена у вигляді двох схем перемноження. Принципова та практична реалізація перемножувачів надзвичайно різноманітна та доступна. В рамках моделі передбачається, що блок множення має динамічний діапазон амплітуд більший за динамічний діапазон лінійних підсилювачів. В такому випадку усі енергетичні обмеження генератора в цілому

визначається динамічним діапазоном лінійного підсилювача, що є найбільш характерним для радіотехнічних пристроїв надширококутового діапазону.

Здатність змінювати характер мод хаотичного процесу прийнято описувати за допомогою біфуркаційних діаграм. Біфуркаційною діаграмою хаос-генераторів називають залежність вихідного сигналу від керуючого параметру, таку діаграму розглядають як варіант фазової площини із наявністю таких структурних елементів як атрактори і точки біфуркації [3]. Побудова біфуркаційної діаграми може бути просто здійснена за допомогою різноманітних мов програмування, а результати виведені із довільною точністю.

Детальний аналіз запропонованої моделі за допомогою САПР MATLAB показав, що біфуркаційна діаграма такого хаос генератора може бути представлена у вигляді фрактальної структури із точками біфуркації та двома гілками атракторів. Під час порівняння цієї моделі і біфуркаційних діаграм реальних приладів наочно видно (рис. 2) загальну схожість фрактальної структури із наявністю всіх характерних для неї елементів.

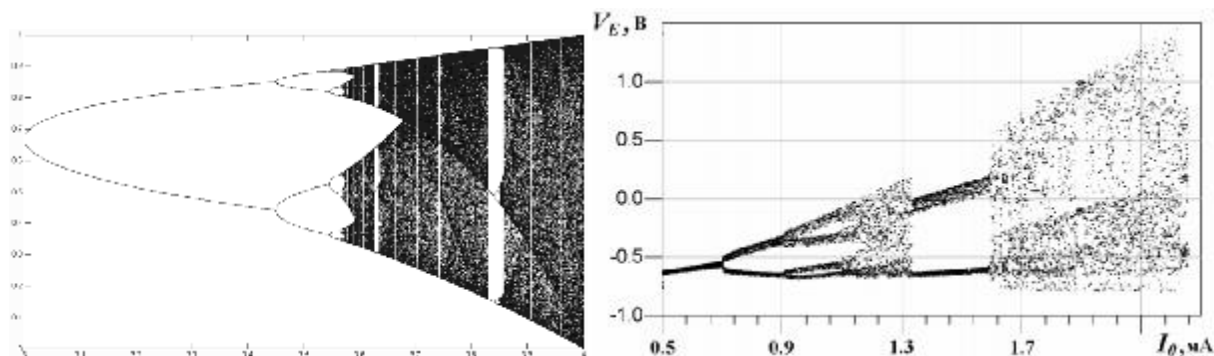


Рис. 2. Біфуркаційні діаграми типової моделі (ліворуч) та генератора Колпіца (праворуч)

Для зазначеної структурної моделі (рис. 1), керуючий параметр доцільно обрати у межах від 3 до 4 [3]. Саме в цих межах явно проглядається поява точок біфуркації і ряд характерних зон, що можна охарактеризувати як зони перемішування різних гілок атракторів які виникають за умови незначної зміни керуючого параметру. Такий суттєвий вплив з математичної точки зору називають «поганою обумовленістю», а з фізичної точки зору гранично мала зміна параметра відповідає обов'язковій наявності шумових флуктуацій, наприклад, за рахунок теплового руху носіїв електричного струму.

Глобальне зростання сумарної енергії хаосу обмежує діапазон значень керуючого параметру для моделі (рис. 1) зверху динамічним діапазоном лінійного підсилювача або енергетичними можливостями джерела живлення, а знизу «звичайним» режимом роботи генератора хаосу як генератора синусоїдальних коливань. Іншими словами, схемотехнічна будова генераторів хаосу надзвичайно нагадує будову генератора гармонічних коливань, що примусово переведено в невластивий йому режим роботи який характеризується постійним збудженням та згасанням коливань різних мод та на різних частотах. Власне це і забезпечує фрактальність біфуркаційної діаграми (рис. 2) та наявність характерних ділянок які вигідно застосовувати для UWB систем.

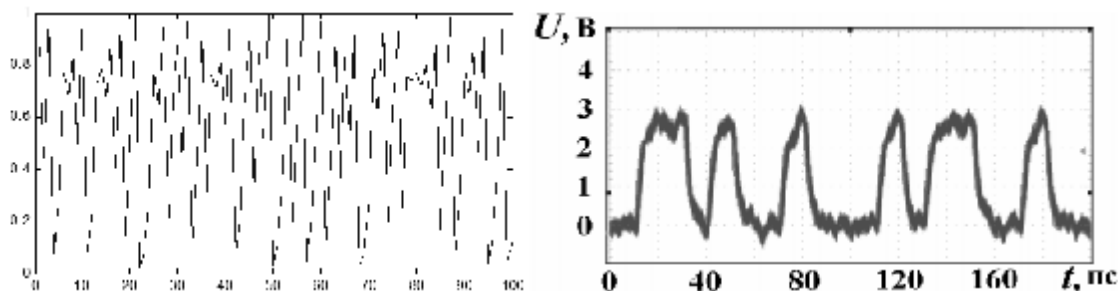


Рис. 3. Часова форма вихідного сигналу типової моделі (ліворуч) та генератора Колпіца (праворуч) в режимі генерації хаосу

Постійне збудження різних мод генератор хаосу сприяє формуванню шумоподібного сигналу (рис. 3), спектр якого може поширюватись на значні ділянки радіодіапазону. Через таку ширококутовість вихідна випромінювана потужність UWB (ультраширококутових) систем буде суттєво змінюватись завдяки зміні вхідного імпедансу антени. Таким чином відомі спектральні та спектрально-енергетичні характеристики хаотичних сигналів можуть бути використані як вхідні параметри для розрахунку надширококутових антен.

Розроблене програмне забезпечення для запропонованої моделі дозволяє встановити довільний діапазон значень керуючого параметру для обчислення спектрів хаотичних сигналів. Верхнє значення параметру завжди обмежується переповненням регістру множення чисельної системи імітації. В отриманих спектральних діаграмах можна чітко виділити характерні зони значень параметру при яких спектри хаос

сигналів набувають суттєвих відмінностей (рис. 4). Запропоновано такі зони позначити як: 1) точка біфуркації; 2) початок біфуркації; 3) розвиток біфуркації; 4) початок хаосу; 5) розвиток хаосу; 6) хаос.

З точки зору обвідної амплітудно-частотного спектру (АЧС) перші три зони характеризуються поступовим переходом від повного домінування низькочастотних складових до появи високочастотних складових та формуванням двох граничних частот що обмежують спектр зверху та знизу. У зонах генерації хаосу до основних спектральних складових із зростанням керуючого параметру додаються інші спектральні складові, а спектр стає більш рівномірним (рис. 4).

Використання різних зон біфуркації для UWB систем можливе під час застосування схеми модуляції по керуючому параметру в якій інформаційні символи передаються почергово хаотичним та бігармонічним сигналами. В такій комбінації бігармонічний сигнал забезпечує найвищу точність визначення часового положення, а хаотичний сигнал найвищу розрізняльну спроможність, або відокремлення логічного нуля від логічної одиниці у межах інформаційного бітового потоку.

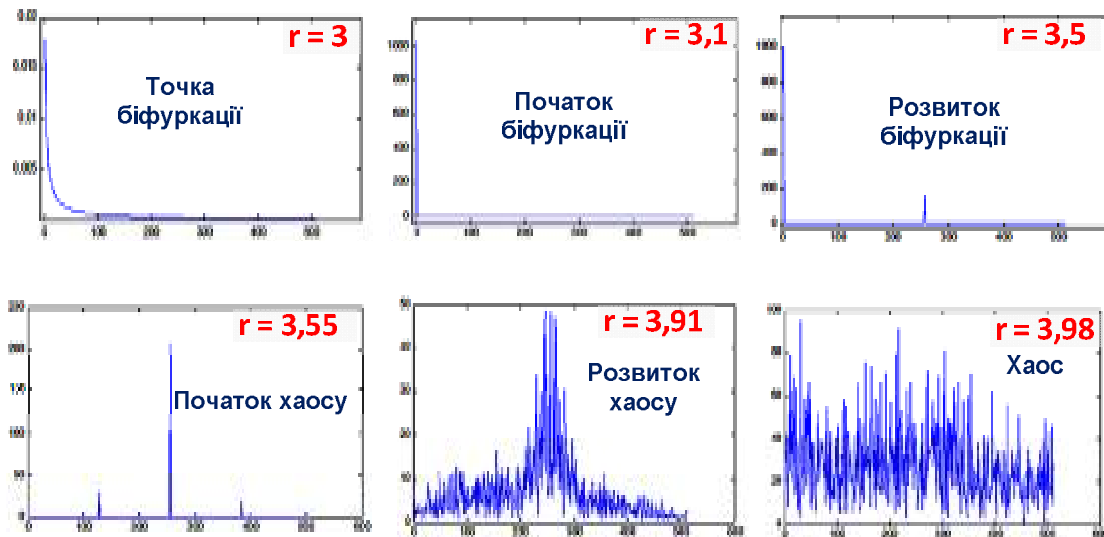


Рис. 4. Амплітудно-частотні спектри хаотичного сигналу у характерних точках різних зон біфуркації

Однак, незважаючи на очевидний вплив керуючого параметру на перехід від квазидетермінованого сигналу до хаотичного, у зонах що відповідають генерації хаосу існують ділянки в яких генерація сигналів відбувається по атракторній схемі, а спектр відповідає зонам біфуркації. Тому для застосування у UWB системах наявність цих зон може бути використана для швидкого переходу між хаосом та детермінованим сигналом під час здійснення процесу модуляції без перехідного етапу встановлення та перезапуску генератора хаосу.

Для інтегральної оцінки можливості застосування генераторів хаосу в UWB системах, за допомогою САПР MATLAB обраховано ширину спектру вихідного сигналу залежно від керуючого параметра (рис. 5) та виявлено такі його особливості.

- 1) ширина спектру у зонах генерації хаосу глобально зростає у приблизно лінійній залежності;
- 2) відхилення у межах глобального зростання в середньому не перевищує 15 % від поточного значення;
- 3) серед зон генерації хаотичного сигналу існують невеликі ділянки зриву генерації хаосу.

Ширококутовість хаотичного сигналу описує можливість його застосування в UWB системах тільки з точки зору отримання достатньої ширини спектру, але слабо характеризує можливість протидіяти вузькосмуговим навмисним та ненавмисним завадам які створюються існуючими системами передачі інформації та радіоелектронної протидії. Наприклад, якщо за допомогою прицільної завади вразити найбільш потужні спектральні складові, то ширококутовий сигнал втратить значну частину своєї енергії та виправлення інформації за умови використання самокорегуючого кодування стане малоімовірним. Тому спектр хаотичного сигналу намагаються зробити якомога більш рівномірним. Це також відноситься і до факту спотворення спектру під час дії модулюючого сигналу, що говорить про те що вводити інформаційний сигнал у UWB системи традиційними способами модуляції недоцільно. Для підтвердження такого підходу отримана залежність нерівномірності спектру генерованого хаотичного сигналу від керуючого параметра (рис. 5).

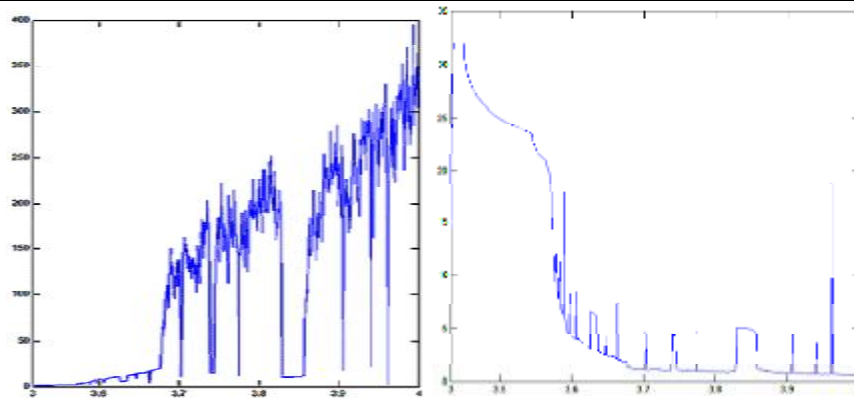


Рис. 5. Ширина спектру (ліворуч) та нерівномірність спектру (праворуч) сигналу хаос-генератора

Стабілізація генерованого сигналу у межах «надширокосмуговості» відбувається в певних ділянках (табл. 1), ширина ділянки обмежує можливості керування параметром під час модуляції або під дією інших збурюючих факторів. Значення керуючого параметру для генераторів UWB систем слід встановлювати у центрах цих ділянок (табл. 1), в такому випадку реалізується максимальна глибина модуляції через його зміну.

Таблиця 1

Межі ділянок керуючого параметра для генерації сигналу із найбільшою шириною спектру

№ ділянки	Початок ділянки	Кінець ділянки	Ширина ділянки	№ ділянки	Початок ділянки	Кінець ділянки	Ширина ділянки
1	3,679	3,701	0,022	5	3,857	3,905	0,048
2	3,705	3,737	0,032	6	3,907	3,939	0,032
3	3,747	3,772	0,025	7	3,941	3,959	0,018
4	3,776	3,827	0,051	8	3,963	4	0,037

Відмінність ділянки одна від одної характеризується максимум подвійним зростанням ширини спектру та його рівномірності. З точки зору стабілізації генерації хаосу під час розробки дослідних зразків першу ділянку не слід застосовувати з точки зору граничного межування із зоною чітких гілок атракторів біфуркаційної діаграми, а останню зону ширококумовості не рекомендується до використання завдяки можливості різкого збільшення споживання енергії та не дотримання умов біологічної вразливості.

Висновки

1. Більшість хаос-генераторів на базі напівпровідникових активних елементів може бути структурно промодельована на основі лінійної схеми що включає в себе лінійні підсилювачі, перемножувачі та лінії затримки, які відповідають основним функціональним елементам будь якого хаос-генератора.

2. Біфуркаційна діаграма, яка властива хаос-генераторам з точки зору використання в UWB системах, за шириною та нерівномірністю спектра та статистичними характеристиками може бути умовно поділена на 6 робочих зон перші 3 з яких відповідає генерації квазідетермінованого сигналу, а інші 3 різним варіантам хаосу.

3. В UWB системах рекомендується застосовувати генератор хаотичних коливань у шести середніх ділянках «ширококумовості». Значення керуючого параметру слід встановити у центрах цих ділянок, а еквівалентне значення глибини модуляції відповідно ширині ділянки.

Література

1. Шахтарин Б.И. Синхронизация в радиосвязи и радионавигации: Учебн.пособие / Б.И. Шахтарин, В.В. Сизых, Ю.А. Сидоркина, И.М. Андрианов, К.С. Калашников. – М.: Горячая линия – Телеком, 2011. – 278с.: ил.
2. Залогин Н.Н., Кислов В.В. Широкополосные хаотические сигналы в радиотехнических и информационных системах / Н.Н. Залогин, В.В. Кислов. – М.: Радиотехника, 2006. – 208с.: ил.
3. Дьюдни А. Странная привлекательность хаоса / А. Дьюдни // В мире науки. – № 9. – 1987 г.

Надійшла 26.11.2012 р.
Рецензент: д.т.н. Троцишин І.В.