

УДК 621. 396:621.37
UDC 621. 396:621.37

DOI:10.33744/0365-8171-2024-115.2-245-263

ЗАСТОСУВАННЯ ХАОТИЧНОГО СУПЕРРЕГЕНЕРАТОРА В ЗАДАЧАХ МАНІТОРИНГА
(Частина 2)

USE CHAOTIC SUPERREGENERATOR IN PROBLEM OF THE MONITORING (Part 2)



Артеменко Владислав Андрійович, UT5UDJ, магістр екології, науковий співробітник відділу гідрохімії, Український гідрометеорологічний інститут Державної служби України з надзвичайних ситуацій та Національної академії наук України, м. Київ, Україна, e-mail: ut5udj@ukr.net

<https://orcid.org/0000-0003-0536-5415>



Петрович Володимир Васильович, кандидат технічних наук, професор, старший науковий співробітник, професор кафедри транспортного будівництва та управління майном, Національний транспортний університет, м. Київ, Україна e-mail: petrovichv60@ukr.net

<https://orcid.org/0000-0003-0422-2535>

Анотація. В частині I був запропонований новий вид суперрегенерації – хаотична суперрегенерація. В частині II показана перш за все перспективність досліджень хаотичної суперрегенерації з точки зору моніторингу оточуючого середовища.

Визначена нова схема та нова модель хаотичного суперрегенератора, яка більш стійка при її натурній реалізації та моделюванні. Пояснені причини підвищення такої стійкості. Показано, що для реалізації хаотичних суперрегенераторів слід використовувати тільки відносно невелику кількість можливо придатних схем хаотичних автогенераторів. Приведені основні методи синтезу (побудови) хаотичних суперрегенераторів.

Запропонована система звичайних диференціальних рівнянь, яка описує роботу моделі, що розглядається, та визначені всі необхідні для проведення моделювання дані.

Наведені всі важливі результати моделювання. Розроблений метод, який безпосередньо доказує існування такого явища, як хаотична суперрегенерація. Визначено існування якісно різних режимів при реалізації хаотичної суперрегенерації залежно від величини параметру K (співвідношення частоти “власних” коливань та частоти гасіння).

Мета роботи. Дослідження відкритого авторами нового явища - хаотичної суперрегенерації. Дослідження якісно різних режимів роботи хаотичного суперрегенератора. Розробка загальної методики синтезу схем хаотичних суперрегенераторів. Синтез нової стійкої схеми та нової моделі при її математичному моделюванні. Розробка методу прямого доказу існування явища хаотичної суперрегенерації.

Ключові слова: відкриття явища хаотичної суперрегенерації, доказ існування явища хаотичної суперрегенерації, дослідження якісно різних режимів роботи хаотичного суперрегенератора, загальна методика синтезу схем хаотичних суперрегенераторів.

Актуальні задачі екологічного моніторингу.

Звичайно задачі екології вирішують у декілька етапів:

Етап 1. Збір інформації про стан оточуючого середовища (екологічний моніторинг).

Етап 2. Обробка інформації за допомогою статистичних методів та ЕОМ.

Етап 3. Висновки про стан оточуючого середовища та прийняття відповідних рішень для його покращення.

Наскільки надійно виконаний етап 1, залежить адекватність подальших висновків про стан оточуючого середовища в цілому та прийняття заходів щодо його покращення.

Виконання етапу 1 звичайно здійснюється за допомогою періодичних вимірювань фізичних та фізико-хімічних параметрів навколишнього середовища (температури, тиску та ін.), та взяттям проб для виконання відповідних аналізів. Але при цьому виникає ряд істотних проблем, що призводять до втрати оперативності при виконанні досліджень. Тому на сучасному етапі досліджень здійснюють моніторинг безперервний, тобто параметри середовища вимірюють через невеликі однакові проміжки часу (наприклад, через декілька хвилин). При такому моніторингу головну роль відіграють датчики, розроблені на основі досягнень сучасних технологій. У цьому випадку успішно використовують польові транзистори як хімічні сенсори, що працюють при визначенні концентрацій речовин у розчинах, а також у газовому середовищі.

Спеціалізований польовий транзистор може вимірювати концентрації безпосередньо на певному місці, тобто на відміну від класичних аналітичних методів додаткові реактиви стають непотрібними. Інший, перспективний підхід при проведенні моніторингу базується на дослідженні взаємодії речовин із зовнішніми електромагнітними полями.

Розглядаються перш за все розчини, які володіють достатньою провідністю. Потужність джерел електромагнітних полів при цьому може бути надзвичайно малою.

При безконтактному моніторингу сигнал малої потужності від зовнішнього генератора взаємодіє із певним розчином.

В результаті розчин, який досліджується, починає сам випромінювати електромагнітні хвилі, але із іншою інтенсивністю (навіть із іншою частотою). Сигнали, які випромінюються розчином, також можуть бути прийняті безпосередньо самим генератором. У цьому випадку маємо автогенераторний метод безконтактного моніторингу.

Звичайно при автогенераторних методах проводять вимірювання за допомогою періодичних сигналів (перш за все синусоїдальних).

Модернізуючи такий генератор, можливо провадити вимірювання не тільки на певній частоті, але навіть у спектрі частот.

Однак використання звичайних автогенераторів (наприклад, синусоїдальних коливань) не дає змоги у повній мірі реалізувати достатньо високу чутливість методу.

Один із основних способів підвищення чутливості – це переведення генератора періодичних коливань у стан переривчастих коливань (при виконанні відповідних додаткових умов). При цьому, звісно, також реалізується суперрегенеративний режим його роботи. Таким чином, з'являється можливість підвищити чутливість автогенераторного методу приблизно на шість порядків (тобто у мільйон разів).

Авторами замість використання генераторів синусоїдальних коливань запропоновано застосовувати генератори хаотичних коливань, що дає змогу проводити також дослідження у досить широкому спектрі частот, без зміни роботи генератора за частотою.

При застосуванні хаотичних суперрегенераторів слід також чекати появи принципово нових ефектів, які при проведенні безконтактного екологічного моніторинга можуть бути використані із очевидною практичною вигодою.

Принципи побудови хаотичних суперрегенераторів

Традиційно в науці був відомий лише один вид суперрегенерації, який можливо назвати “класичним”. Однак до появи нашої роботи явище суперрегенерації розглядалось не в повній мірі, оскільки припускало побудову відповідних обладнань тільки на основі автогенераторів періодичних коливань.

Одне із головних відкриттів ХХ-го сторіччя – це відкриття явища детермінованого хаосу. Як з'ясувалось, це явище може виникати навіть у маломірних динамічних системах при наявності певних нелінійностей у цих системах.

Ще у 1922 році Е. Амстронг при дослідженні роботи побудованого ним суперрегенератора відзначив появу “нерівного шуму з переливками”[1].

Зараз відомо, що такого роду шуми можуть виникати при появі у динамічній системі хаосу низької розмірності. Сам Е. Амстронг спеціально відмітив це явище, яке зараз має назву “детермінований хаос”. У класичному суперрегенераторі також може спостерігатись (але на достатньо короткі проміжки часу) детерміновано-хаотична поведінка. Виявити таку поведінку досить складно. Висвітлення окремих питань цього явища можна знайти в роботах [2-4]. Але ці роботи не можуть претендувати на достатню об'єктивність та мають певні недоліки.

В частині I був розглянутий хаотичний суперрегенератор із зовнішнім гасінням (за рахунок модуляції добротності коливального контура хаотичного автогенератора).

Така модуляція контура була реалізована за допомогою опору, який змінювався за часом та був включений послідовно із індуктивністю.

В частині II модуляція добротності також здійснювалась за допомогою опору із змінною за часом величиною, але який був включений паралельно із індуктивністю (паралельно із коливальним LC-контуром).

На рис. 1 приведена принципова схема модифікованого суперрегенератора. Така зміна в схемі значно поліпшує стійкість її роботи.

Крім того, на відміну від запропонованого у частині I сигналу гасіння синусоїдальної форми був використаний сигнал гасіння прямокутної форми. Це також підвищує сталість роботи як самої схеми, так і її математичної моделі.

Таким чином, була досягнута повна картина явища, оскільки була врахована також методика побудови суперрегенераторів на основі автогенераторів хаотичних коливань.

Як було показано в частині I, хаотичні суперрегенератори – це конструкції нового виду, для здійснення роботи яких необхідний принципово новий підхід.

Попередньо можливо було б припустити, що хаотичний суперрегенератор легко побудувати на базі будь-якого хаотичного автогенератора.

Але це не так!

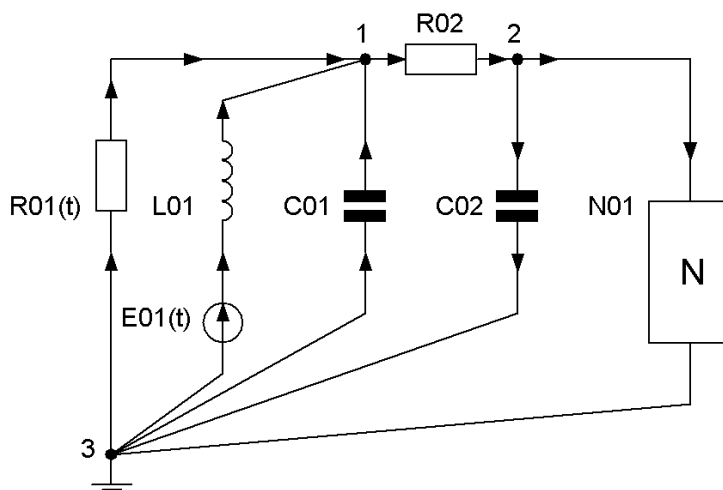


Рисунок 1 – Схема хаотичного суперрегенератора із паралельним включенням індуктивності та опору.

Figure 1 – Circuit of chaotic superregenerator with parallel connection of inductance and resistance.

Як з'ясувалось, хаотичний автогенератор, на базі якого може бути створений хаотичний суперрегенератор, повинен працювати тільки у двох режимах:

- 1) режимі затухаючих коливань;
- 2) режимі хаотичних коливань.

В той же час більшість схем хаотичних автогенераторів не задовільняють цим двом вимогам. Тому побудувати хаотичний суперрегенератор із урахуванням зазначених вище вимог виявляється досить складною задачею.

Розглянута у частині I схема хаотичного суперрегенератора, яка створена на базі хаотичного автогенератора Лео Чуа [5], є достатньо унікальною, оскільки цей автогенератор дозволяє працювати практично тільки у двох, зазначених вище режимах. При цьому для досягнення режиму хаотичної суперрегенерації частота гасіння повинна бути відносно низькою (вимоги як для класичного суперрегенератора).

Далі розглянемо випадок, коли по закону гасіння буде змінюватись напруга живлення хаотичного автогенератора. Відповідно, при нульовій напрузі живлення генерація не виникає. При поступовому збільшенні напруги виникають автоколивання. Але ці автоколивання – періодичні! І тільки при подальшому (досить значному!) підвищенні напруги живлення, виникають хаотичні коливання. Тобто хаотичний автогенератор запускається як автогенератор періодичних коливань та

процес суперрегенерації здійснюється в режимі періодичних коливань. По-суті, реалізується класична суперрегенерація, яка ускладнюється за рахунок того, що виникає хаотизація коливань.

Зазначимо, що аналізуються тільки суперрегенератори із зовнішнім гасінням. Випадки із самогасінням виявляються ще більш складними.

Нова система диференціальних рівнянь.

Складемо систему звичайних диференціальних рівнянь першого порядку, яка описує певедінку схеми (рис.1). Були використані умовні напрямлення струмів згідно вказаних стрілочок.

Для контура $R\phi_1/C\phi_1$:

$$UR\phi_1 - UC\phi_1 = \phi, \quad (1)$$

$$UR\phi_1 = UC\phi_1, \quad (2)$$

$$IR\phi_1 = UR\phi_1/R\phi_1 = UC\phi_1/R\phi_1, \quad (3)$$

або

$$IR\phi_1 = UC\phi_1/R\phi_1. \quad (4)$$

Для контура $C\phi_1/R\phi_2/C\phi_2$

$$UC\phi_1 + UR\phi_2 + UC\phi_2 = \phi, \quad (5)$$

$$UR\phi_2 = -UC\phi_1 - UC\phi_2, \quad (6)$$

$$IR\phi_2 = UR\phi_2/R\phi_2 = (-UC\phi_1 - UC\phi_2)/R\phi_2, \quad (7)$$

$$IR\phi_2 = (-UC\phi_1 - UC\phi_2)/R\phi_2. \quad (8)$$

Для контура $C\phi_2/N\phi_1$

$$-UC\phi_2 + UN\phi_1 = \phi, \quad (9)$$

$$UN\phi_1 = UC\phi_2, \quad (10)$$

$$IN\phi_1 = \Psi(UN\phi_1). \quad (11)$$

Для вузла 1 маємо

$$IR\phi_1 + IL\phi_1 + IC\phi_1 - IR\phi_2 = \phi, \quad (12)$$

$$IC\phi_1 = -IL\phi_1 - IR\phi_1 + IR\phi_2, \quad (13)$$

$$C\phi_1 \cdot \frac{dUC\phi_1}{dt} = -IL\phi_1 - IR\phi_1 + IR\phi_2$$

Для вузла 2 маємо

$$IR\phi_2 - IC\phi_2 - IN\phi_1 = \phi, \quad (15)$$

$$IC\phi_2 = IR\phi_2 - IN\phi_1, \quad (16)$$

$$C\phi_2 \cdot \frac{dUC\phi_2}{dt} = IR\phi_2 - IN\phi_1$$

Для контуру $E\phi_1/L\phi_1/C\phi_1$

$$E\phi_1 = UL\phi_1 - UC\phi_1, \quad (19)$$

$$UL\phi_1 = UC\phi_1 + E\phi_1, \quad (20)$$

$$L\phi_1 \cdot \frac{dIL\phi_1}{dt} = UC\phi_1 + E\phi_1$$

Додаткові умови

Для здійснення моделювання необхідно також виконати наступне:

1. Вказати значення параметрів моделі;
2. Вказати необхідні додаткові параметри моделювання;

3. Визначити закон (закопи) зміни величин $E\phi 1(t)$ та $R\phi 1(t)$ за часом;

4. Задати вольт-амперну характеристику (ВАХ) негatrona N.

Параметри моделі маємо наступні:

$$C\phi 1 = 63/63;$$

$$R\phi 1 = 63/63;$$

$$C\phi 2 = 7/63;$$

$$R\phi 1 \text{ Min} = 63/63;$$

$$K = 100;$$

$$R\phi 1 \text{ Max} = 1575/63;$$

$$L\phi 1 = 9/63;$$

$$R\phi 2 = 90/63.$$

Амплітуда сигналу, який приймається, складає $\text{SignalAmplitude} = 1\text{E-}6$ (один мікрвольт). Додаткові параметри моделювання дорівнюють $\text{NIForOneW}=10$ (величина, пов'язана безпосередньо із кроком інтегрування за часом).

Зазначимо, що загальні методи дослідження моделі ті самі, як у частині I дослідження. Тобто також використовуємо нормування “за власною частотою коливань LC-контура хаотичного автогенератора” (нормування за величиною ω).

Але, як відомо, хаотичний автогенератор генерує не на одній частоті, а у неперервній області частот, тому говорити про власну частоту автогенератора взагалі некоректно.

Однак на практиці зручно оперувати із “частотою хаотичного автогенератора” ω , яка визначається як

$$\omega = 1/\sqrt{CL}, \quad (21)$$

$$\text{де } L=L\phi 1, \quad (22)$$

$$C = C\phi 1. \quad (23)$$

У цьому випадку та надалі ω – це колова частота. Відповідно, NIForOneW визначає крок інтегрування, тобто замість “реального часу” використовується ω . Значення $\text{NIForOneW}=10$ має сенс при $dt = 1/10$, якщо будь-яке нормування відсутнє.

Величина K пов'язана із частотою гасіння співвідношенням

$$K = \frac{\omega_{\text{автогенератора}}}{\omega_{\text{сигнала гасіння}}}, \quad (24)$$

де значення ω автогенератора відповідає виразу згідно (21).

Тобто $K=100$ означає, що колова частота сигналу гасіння у 100 разів менша колової частоти “власних коливань” автогенератора.

Таким чином, у ході проведених досліджень, задаючи конкретні числові значення величини K , знаходимо також інші параметри моделювання.

Маємо $\text{TimeStart}=\emptyset$,

$$\text{TimeStop}=100 \cdot K,$$

$$\text{NI}=\text{TimeStop} \cdot \text{NIForOneW},$$

де TimeStart – початковий час моделювання, який завжди дорівнює нулю,

TimeStop – кінцевий час моделювання (інтегрування),

NI – кількість зроблених ітерацій при вирішенні системи ODE, тобто, по-суті, це загальна кількість точок рішення системи.

При інтегруванні системи ODE також використовувалась процедура із постійним кроком інтегрування.

Для визначення коефіцієнта підсилення хаотичного суперрегенератора по напрузі слабкого вхідного сигналу (1 мікрвольт для всіх експериментів) використовували тільки останню чверть ряду рішення системи ODE.

Для побудови графіків використовували останню половину рішень системи ODE. Це зроблено для усунення впливу “перехідних ефектів”, які неминуче будуть присутні при числовому рішенні системи ODE.

Далі розглянемо закон зміни величини $E\emptyset 1(t)$ (слабкого сигналу, який приймається). Моделювання проводилось для трьох випадків:

1) Сигнал повністю відсутній, $E\emptyset 1 = \emptyset$. (25)
Це серія “А”,

2) Синусоїдальний сигнал, $E\emptyset 1 = \text{SignalAmplitude} \cdot \sin(\omega \cdot t)$. (26)
Це серія “В”,

3) “Шумовий” сигнал,
 $E\emptyset 1 = \text{SignalAmplitude} \cdot \text{RandN}(\) \cdot \sin(\omega \cdot t)$. (27)
Це серія “С”

$\text{RandN}(\)$ - генератор “випадкових” чисел із нормальним законом розподілення,
 ω - колова частота, яка визначається співвідношенням згідно виразу (21).

Ще раз зазначимо, що $\text{SignalAmplitude} = 1\text{E-}6$, тобто 1 мікрвольт, є константою.

Далі розглянемо сигнал частоти гасіння, який моделює величину опору $R\emptyset 1$ по “прямокутному” закону.

Це можливо визначити за допомогою псевдокоду

```
 $T_{mp} = \text{sign}(\sin(\omega \cdot t/K))$   
If  $T_{mp} > 0$   
 $R\emptyset 1 = R\emptyset 1 \cdot \text{Min}$   
Else  
 $R\emptyset 1 = R\emptyset 1 \cdot \text{Max}$   
EndIf
```

При цьому слід зазначити, що розглянуті вище вирази приведені у випадку, коли ніякого нормування не передбачається.

При умові нормування за величиною ω будемо мати:

```
 $E\emptyset 1 = \emptyset$   
 $E\emptyset 1 = \text{Signal Amplitude} \cdot \sin(t)$   
 $E\emptyset 1 = \text{Signal Amplitude} \cdot \text{RandN}(\ ) \cdot \sin(t)$   
 $T_{mp} = \text{sign}(\sin(t/K))$ 
```

Відповідно, це буде присутнє у коді, який використовується для дослідження моделі (при моделюванні).

Наприкінці, для здійснення процесу моделювання, розглянемо згідно пункту 4 (див. вище) ВАХ негатрона.

Але при цьому будемо використовувати більш досконалу модель негатрона у порівнянні з розглянутою у частині I.

ВАХ у цьому випадку (представлений на рисунку 2) має наступний вигляд:

$$BP\emptyset 1 = +10/10,$$

$$BP\emptyset 2 = +60/10,$$

$$GA = -8/10,$$

$$GB = -5/10,$$

$$GC = +9/10.$$

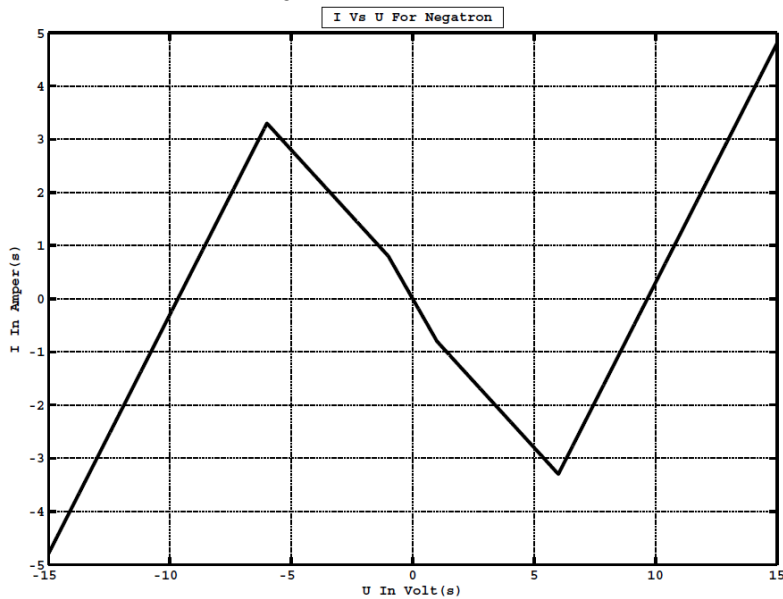


Рисунок 2 – Вольт-амперна характеристика негатрона згідно част.2.

Figure 2 – Current – voltage characteristic of the negatron which was used in the second part of the research

У даному випадку будемо мати

$$IN = GC \cdot UN + (GA - GB) \cdot (|UN + BP\emptyset 1| - |UN - BP\emptyset 1|)/2 + (GB - GC) \cdot (|UN + BP\emptyset 2| - |UN - BP\emptyset 2|)/2. \quad (33)$$

Відповідно, IN – це струм негатрона (ампери);

UN – напруга на негатроні (вольти);

$BP\emptyset 1$ та $BP\emptyset 2$ – координати точок зламу на ВАХ негатрона, GA , GB та GC це нахили відповідних сегментів ВАХ.

Нумерація для BP та GA починається від початку координат (\emptyset ; \emptyset).

Результати моделювання

В числових експериментах величину K змінювали від 10 до 250. Для зручності процесу моделювання величина K приймала тільки суцільночислові значення (у загальному випадку K може приймати навіть дробні значення).

Параметри моделі підібрані так, щоб при значенні $R\emptyset 1 = R\emptyset 1Max$ у системі існувала можливість виникнення хаотичних коливань (типу SS або DS). Відповідно, величину $R\emptyset 1Min$ підбирали таким чином, щоб при $R\emptyset 1 = R\emptyset 1Min$ спостерігалось достатньо сильне шунтування коливального контура $L\emptyset 1C\emptyset 1$ хаотичного автогенератора, та хаотичні коливання затухали (якщо і мали місце). При цьому $R\emptyset 1 = R\emptyset 1Min$ підбирали так, щоб затухання коливань виникали із “певною

оптимальною швидкістю”. Надто швидке затування, так і затування коливань занадто повільне не дозволяють адекватно реалізувати режим хаотичної суперрегенерації, тобто якісно виконувати необхідні дослідження.

Точка $(\emptyset; \emptyset; \emptyset)$ є точкою рівноваги системи ODE, хоча і нестійкою по відношенню до малих збурень. У цьому зв'язку для випадку $E\emptyset_1 = \emptyset$ не слід чекати появи спалахів суперрегенерації при будь-яких значеннях K , про що свідчать результати дослідів “серії А”.

Експерименти “серії В” відповідають випадку, коли слабкий сигнал, який приймається, це синусоїдальний сигнал із частотою “власних коливань” хаотичного автогенератора (немодульована несуча або CW).

Експерименти “серії С” відповідають випадку, коли слабкий сигнал – це, по-суті, шумовий АМ-сигнал, амплітуда якого змінюється по “випадковому закону” із нормальним ймовірнісним розподіленням.

Далі розглянемо результати експериментів “серії В” (CW- сигнал) та “серії С” (шумовий АМ-сигнал) при зростанні величини K , тобто зменшенні частоти гасіння.

Якщо при значенні $K=10$ моделювання не показує проявів суперрегенерації, то для випадку $K=25$ явище суперрегенерації починає проявлятися.

Для CW- сигналу маємо “спалахи” однакової амплітуди (рис. 3), для шумового АМ-сигналу це “спалахи” різної амплітуди, що демонструє можливість прийому АМ-сигналів (рис.4).

Явище суперрегенерації присутнє також при подальшому зростанні параметру K .

На рис. 5 (випадок прийому CW- сигналу) та рис. 6 (випадок прийому шумового АМ-сигналу) представлені результатами моделювання при $K=100$.

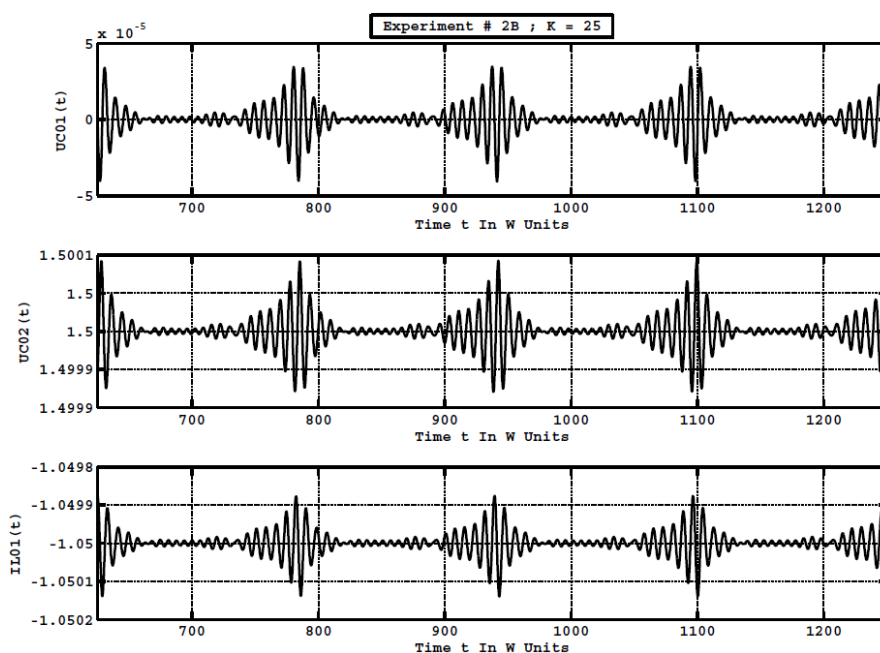


Рисунок 3 – Суперрегенеративні спалахи однакової амплітуди при прийомі немодульованого (CW) сигналу ($K=25$).

Figure 3 – Super – regenerative flashes of the same amplitude when receiving an unmodulated (CW) signal ($K=25$).

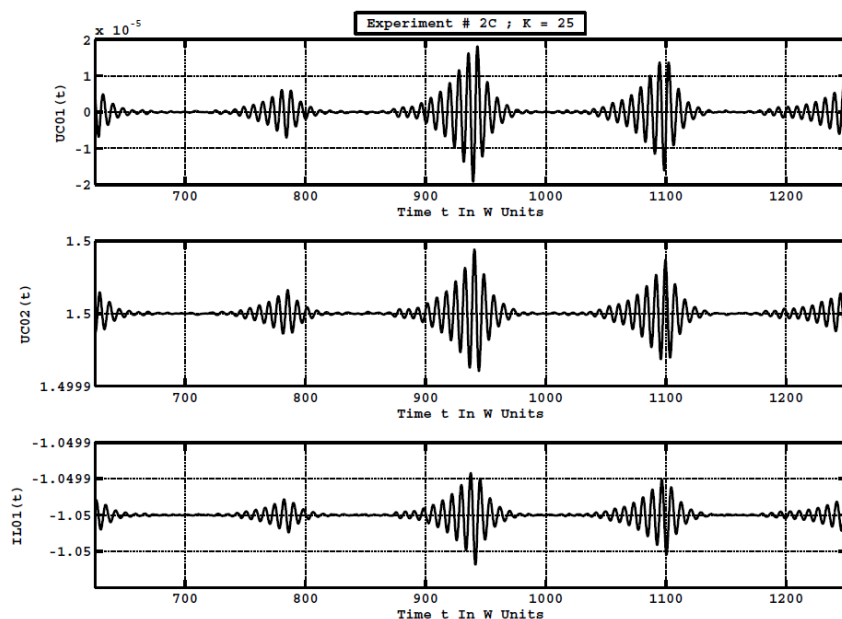


Рисунок 4 – Суперрегенеративні спалахи різної амплітуди при прийомі шумового АМ - сигналу (K=25).

Figure 4 – Super – regenerative flashes of different amplitudes when receiving a noise – modulated AM – signal for the case when K=25.

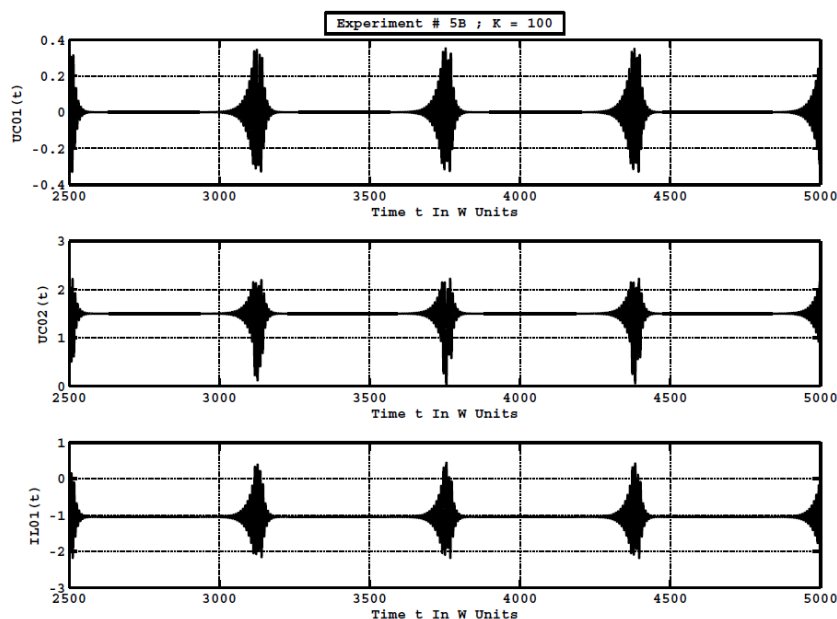


Рисунок 5 – Суперрегенеративні спалахи однакової амплітуди при прийомі немодульованого (CW) сигналу (K=100).

Figure 5 – Super – regenerative flashes of the same amplitude when receiving an unmodulated (CW) signal for the case when K=100.

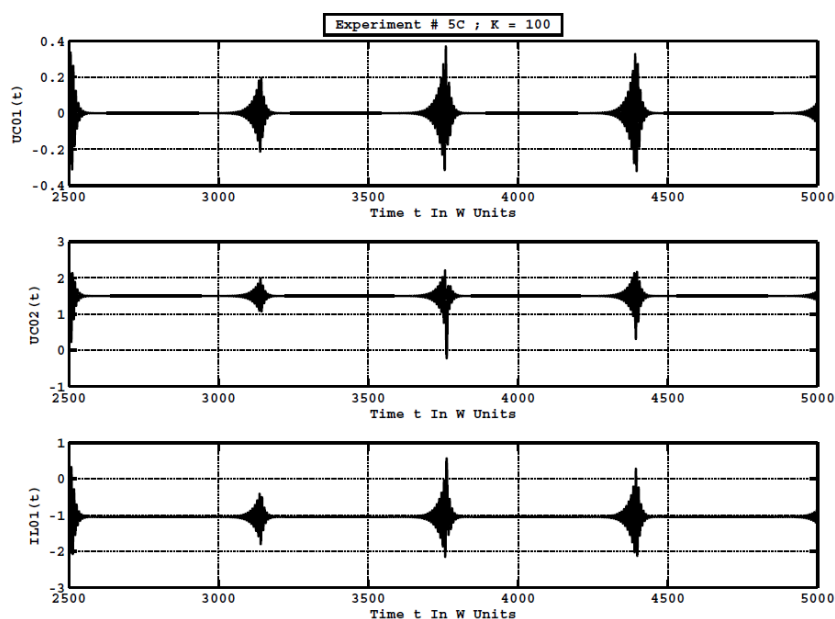


Рисунок 6 – Суперрегенеративні спалахи різної амплітуди при прийомі шумового АМ - сигналу ($K=100$).

Figure 6 – Super – regenerative flashes of different amplitudes when receiving a noise modulated AM – signal for the case when $K=100$.

Далі, при значенні $K \approx 100$, виникає зміна режиму роботи системи.

Аналізуючи графіки динамічних змінних $UC\phi_1(t)$, $UC\phi_2(t)$ та $IL\phi_1(t)$, можливо було б прийти до висновку, що робота моделі відповідає роботі звичайного (класичного) суперрегенератора.

Але це не так!

Вже при $K > 100$ спостерігається перехід роботи моделі у якісно інший режим, відсутній у класичного суперрегенератора.

Цей режим можливо назвати “хаотичною суперрегенерацією у істотно нелінійному режимі”.

Для немодульованого сигналу при значенні $K=110$ (рис.7) амплітуди спалахів залишаються в принципі сталими, однак огинаючі спалахів набувають більш складної форми у порівнянні із випадком класичного суперрегенератора. Відповідно, модульований за амплітудою сигнал (рис.8) викликає тригерне переключення моделі із одного стану в інший, що видно із графіків для $UC\phi_2(t)$ та $IL\phi_1(t)$. Можливо при цьому припустити, що між амплітудою сигналу, який приймається, та формою суперрегенеративного спалаху існує певний зв'язок, але при цьому характер його досить складний.

На рис. 9 (випадок прийому CW- сигналу) та рис. 10 (випадок прийому шумового АМ-сигналу) приведені результати моделювання при значенні $K=150$.

Тригерний ефект спостерігається як у випадку модульованого, так і немодульованого слабкого сигналу. При цьому зв'язок між амплітудою сигналу, що приймається, та формою спалахів суперрегенерації вже візуально не спостерігаються.

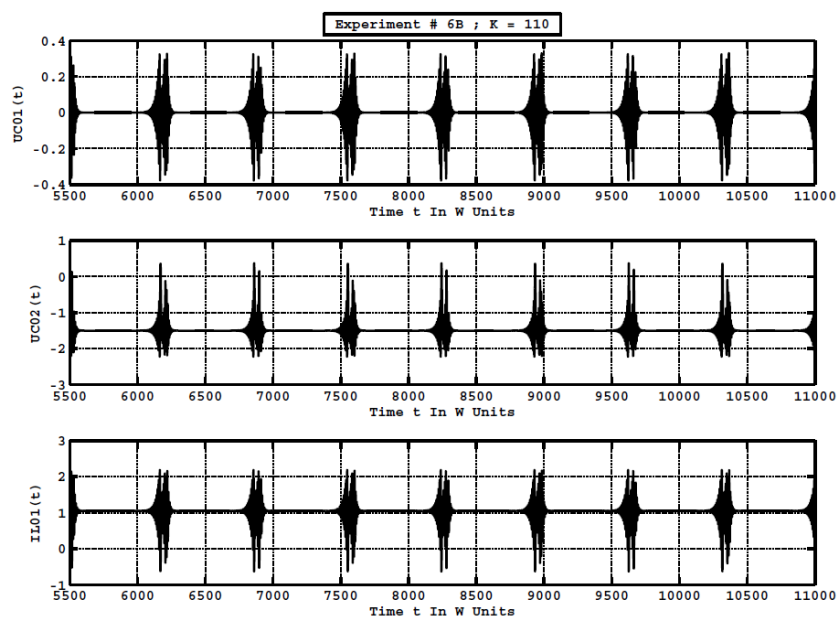


Рисунок 7 – Суперрегенеративні спалахи однакової амплітуди та складної форми при прийомі немодульованого (CW) сигналу ($K=110$).

Figure 7 – Super – regenerative flashes of the same amplitude and complex shape when receiving an unmodulated (CW) signal for the case when $K=110$.

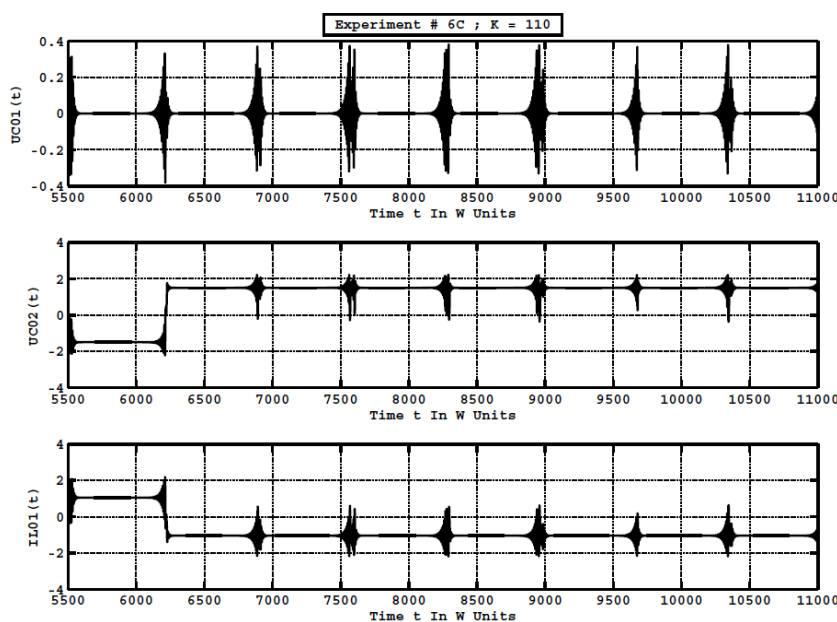


Рисунок 8 – Суперрегенеративні спалахи та виявлення тригерного ефекта при прийомі шумового АМ - сигналу ($K=110$).

Figure 8 – Super – regenerative flashes and manifestation of the trigger effect when receiving a noise – modulated AM – signal for the case when $K=110$.

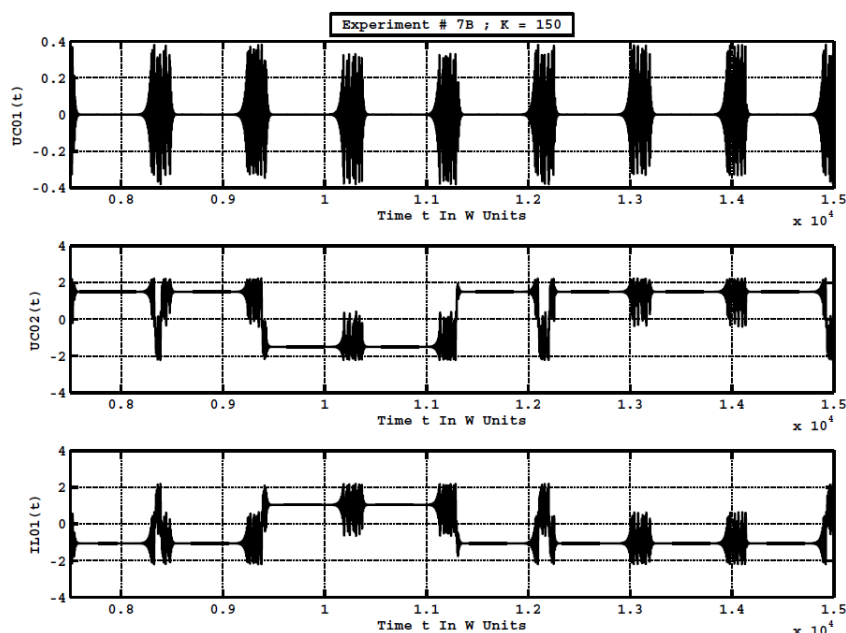


Рисунок 9 – Суперрегенеративні спалахи складної форми та прояв тригерного ефекта при прийомі немодульованого (CW) сигналу ($K=150$).

Figure 9 – Super – regenerative flashes of complex shape and manifestation of the trigger effect when receiving an unmodulated (CW) signal for the case when ($K=150$).

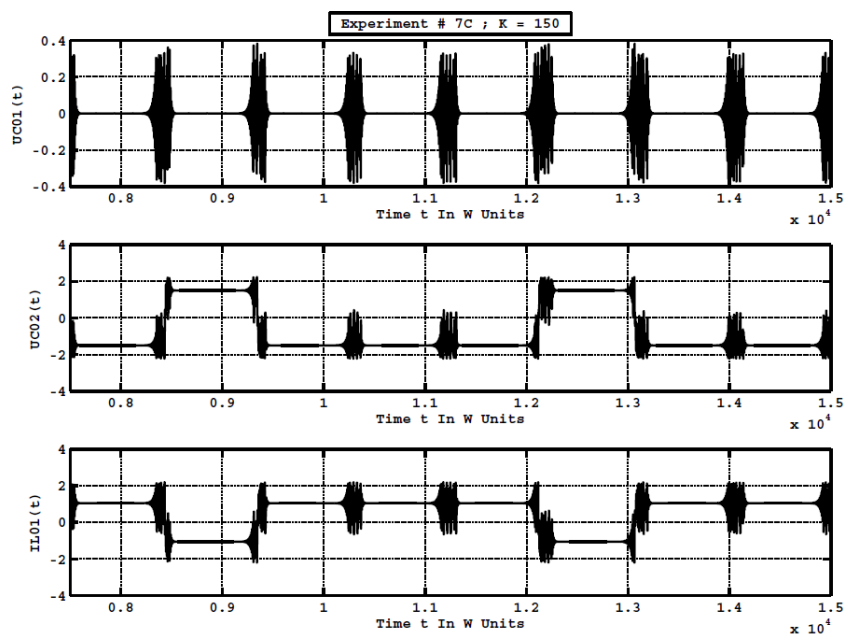


Рисунок 10 – Суперрегенеративні спалахи складної форми та прояв тригерного ефекта при прийомі шумового АМ - сигналу у випадку $K=150$.

Figure 10 – Super – regenerative flashes of complex shape and manifestation of the trigger effect when receiving a noise modulated AM – signal for the case when $K=150$.

Останні дослідження, проведені авторами, показали особливу необхідність побудови графіків залежностей однієї динамічної змінної від іншої (наприклад, $UC\emptyset 2(t)$ від $UC\emptyset 1(t)$ і т.д.), оскільки дійсно важливі якості динамічної системи не проявляються у повній мірі при аналізах тільки графіків часових залежностей кожної динамічної змінної окремо.

У цьому зв'язку розглянемо, наприклад, залежність $UC\emptyset 2(t)$ від $UC\emptyset 1(t)$ при різних значеннях параметру K .

На рис. 11 при значенні параметру $K=100$ для немодульованого сигналу одержуємо фігуру, достатньо схожу на аттрактор типу SS (Single Scroll). Однак цього зовсім не видно, якщо розглядати окремо графіки для цих динамічних змінних.

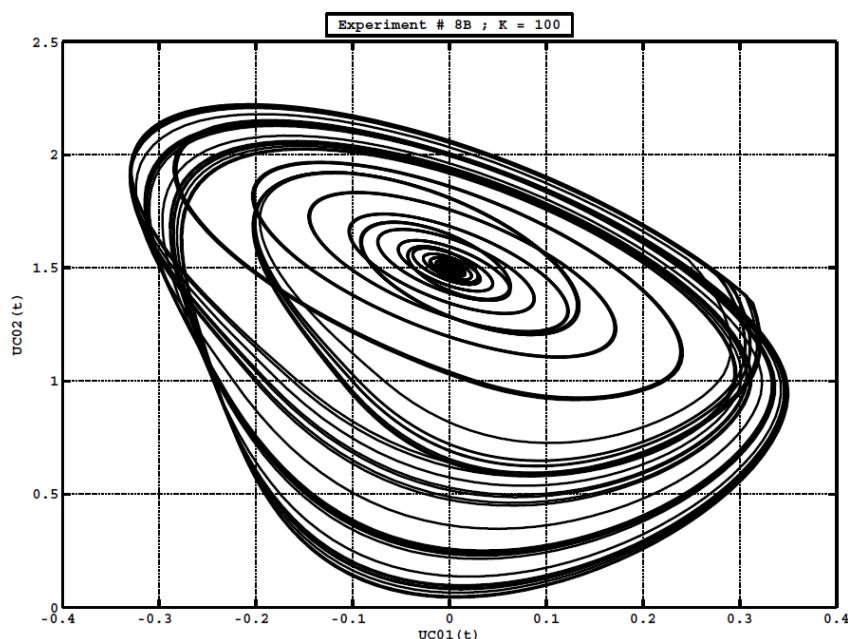


Рисунок 11 – Вид аттрактора системи в координатах $UC\emptyset 1(t)/ UC\emptyset 2(t)$ при прийомі немодульованого (CW) сигналу у випадку ($K=100$).

Figure 11 – View of the system attractor in coordinates $UC\emptyset 1(t)/ UC\emptyset 2(t)$ in case of receiving an unmodulated signal for the case when ($K=100$).

Відповідно, у випадку модульованого шумового АМ-сигналу (рис.12) маємо фігуру, достатньо схожу на хаотичний аттрактор типу DS (Double Scroll). Цього також не видно при розгляді окремих графіків для цих динамічних змінних.

Далі приведені на рис. 13 (випадок прийому немодульованого CW- сигналу) та рис. 14 (випадок прийому модульованого шумового АМ-сигналу) значення, коли $K=250$.

Крім того, з'явилась можливість більш адекватно прокоментувати результати числових експериментів при $K \leq 100$.

Як з'ясувалось, обманлива схожість та ототожнення поведінки моделі при $K \leq 100$ із моделью та поведінкою класичного суперрегенератора проявляється тільки у тому випадку, якщо розглядати виключно часові залежності для динамічних змінних окремо одна від одної.

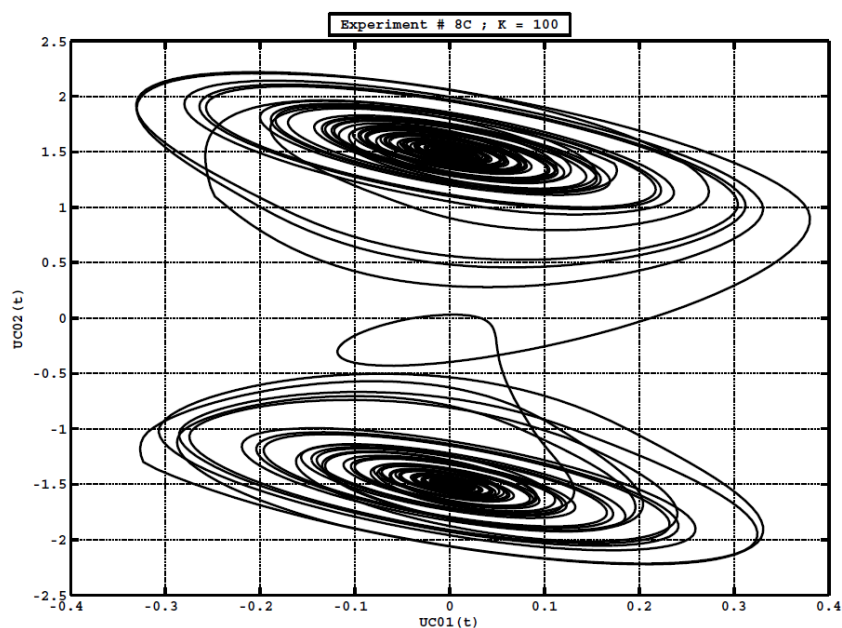


Рисунок 12 – Вид аттрактора системи в координатах $UC\emptyset 1(t)/ UC\emptyset 2(t)$ у випадку прийому модульованого шумом АМ-сигнала ($K=100$).

Figure 12 – View of the system attractor in coordinates $UC\emptyset 1(t)/ UC\emptyset 2(t)$ in the case of receiving for the case when ($K=100$).

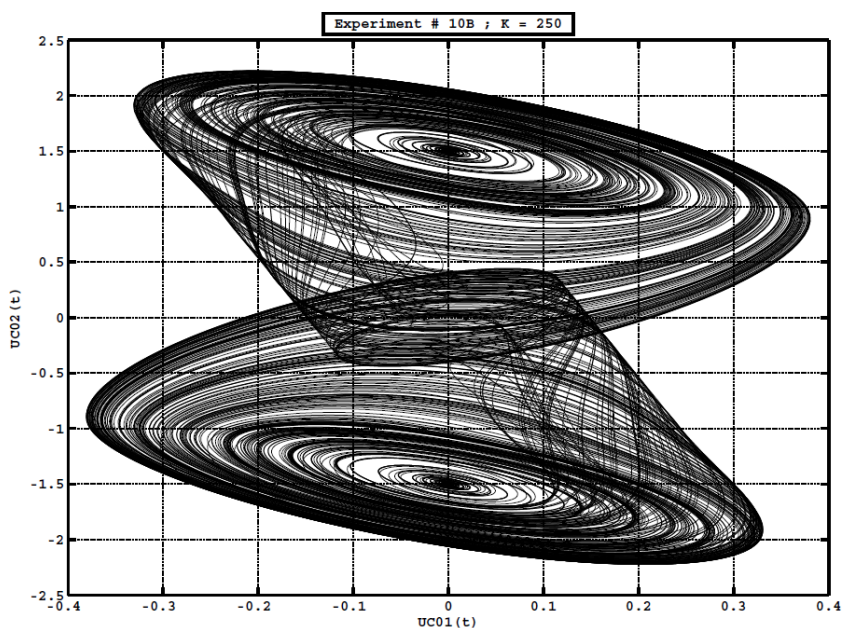


Рисунок 13 – Вид аттрактора системи в координатах $UC\emptyset 1(t)/ UC\emptyset 2(t)$ при прийомі немодульованого (CW) сигналу у випадку ($K=250$).

Figure 13 – View of the system attractor in coordinates $UC\emptyset 1(t)/ UC\emptyset 2(t)$ in the case of receiving an unmodulated signal for the case when ($K=250$).

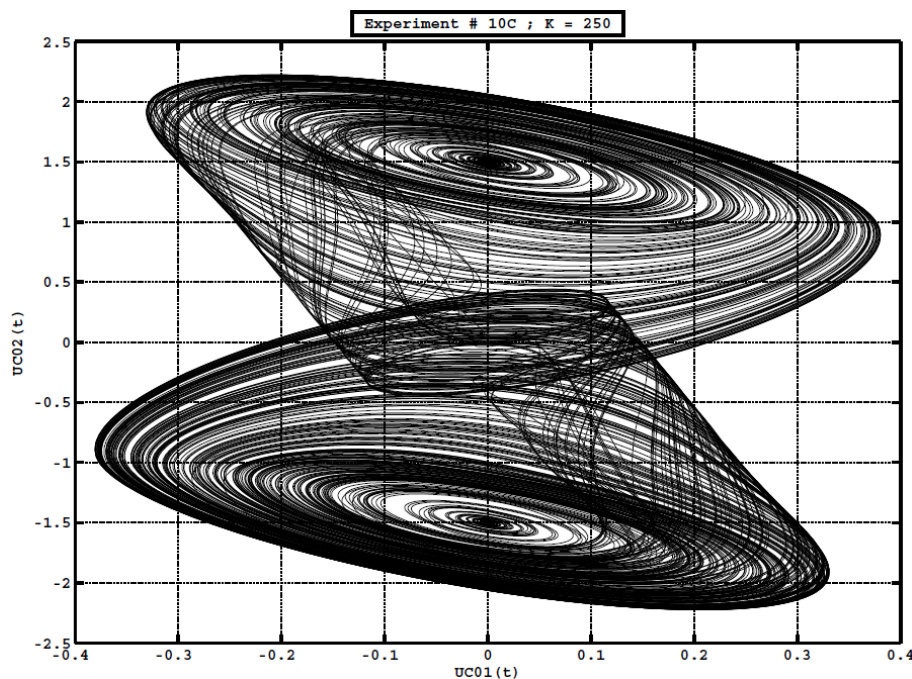


Рисунок 14 – Вид аттрактора системи в координатах $UC\emptyset 1(t)/ UC\emptyset 2(t)$ при прийомі модульованого шумом АМ-сигнала ($K=250$).

Figure 14 – View of the system attractor in coordinates $UC\emptyset 1(t)/ UC\emptyset 2(t)$ in the case of receiving a noise modulated AM-signal for the case when ($K=250$).

Побудова графіків залежностей однієї динамічної змінної від іншої динамічної змінної дозволило з'ясувати, що модель при $K \leq 100$ також проявляє детерміновано-хаотичну поведінку. Навіть вид відповідного аттрактора (хаотичний) якісно відрізняється від того, що спостерігається у випадку класичного суперрегенератора (періодичний аттрактор).

Таким чином, був запропонований адекватний підхід до аналізу хаотичної суперрегенерації.

Була отримана також залежність коефіцієнта підсилення по напрузі K_u для синусоїдального сигналу із амплітудою в 1 мікрвольт (та частотою ω) від величини K .

Як видно (дивись рис. 15), при значенні $K \approx 100$ досягається своєрідне насичення, коли подальше зростання K вже не призводить до зміни коефіцієнта підсилення по напрузі K_u . Зазначимо, що якісно така залежність подібна до залежності, яку маємо для моделі класичного суперрегенератора.

В результаті проведених досліджень з'явилась можливість виділяти два якісно відмінних типи хаотичної суперрегенерації:

Тип I. Хаотична суперрегенерація ($K \leq 100$), при якій обробка слабого сигналу, що приймається, відповідає класичній суперрегенерації;

Тип II. “Розвинута” (сильно нелінійна) хаотична суперрегенерація, при якій обробка слабого сигналу якісно відрізняється від випадку класичної хаотичної суперрегенерації (типу I).

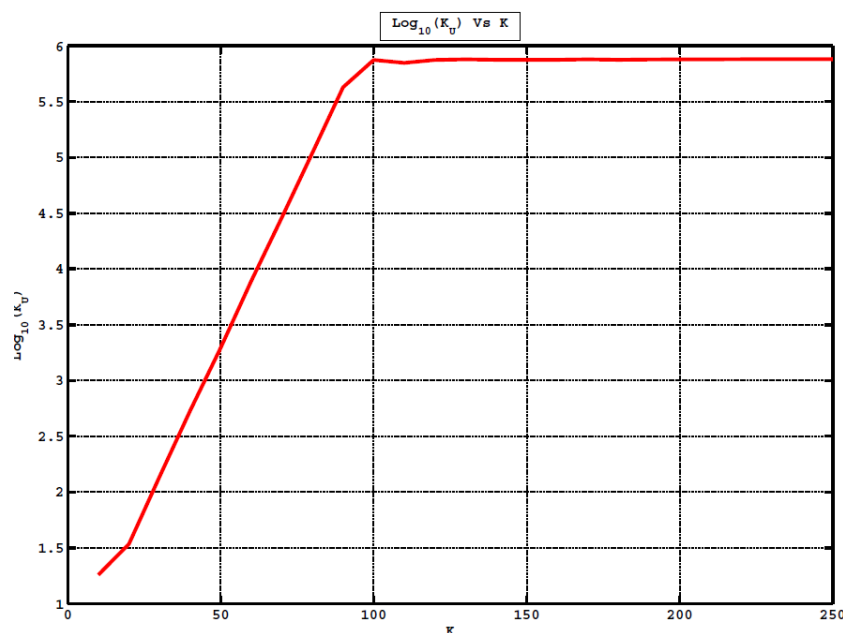


Рисунок 15 – Залежність логарифму підсилення вхідного сигналу в 1 мікрвольт від величини K , що безпосередньо пов'язана із частотою суперизації системи, яка досліджується.

Figure 15 – Dependence of the logarithm of the voltage gain of the input (receive) signal of 1 microvolt on the value of K associated with the superization frequency for the system under study.

Висновки по частині II

1. Приведена нова схема та нова модель хаотичного суперрегенератора.
2. Встановлено, що для реалізації хаотичних суперрегенераторів слід використовувати тільки спеціальний вид хаотичних автогенераторів.
3. Розроблені основні методи синтезу моделей хаотичних суперрегенераторів.
4. Приведена система звичайних диференціальних рівнянь моделі та всі необхідні для моделювання дані. Представлені нові результати, що були одержані в ході комп'ютерного моделювання.
5. Встановлено, як мінімум, два якісно різних режиму роботи в даній схемі хаотичного суперрегенератора, які реалізуються залежно від величини параметру K (співвідношення частот “власних” коливань хаотичного автогенератора, на базі якого реалізований хаотичний суперрегенератор, та частоти гасіння).
6. Для схеми (моделі), яка розглядається, визначені два типи хаотичної суперрегенерації. Це звичайна хаотична суперрегенерація (тип I), при якій обробка слабких сигналів, які приймаються, виконується згідно принципів класичної суперрегенерації (у “лінійному” режимі роботи). Цей тип I спостерігається при відносно невеликих значеннях величини K . При достатньо великих значеннях K реалізується тип II. У цьому випадку обробка слабких сигналів, які приймаються, будуть якісно іншими у порівнянні із класичною суперрегенерацією. При цьому досвід, що був одержаний при роботі з класичними схемами суперрегенераторів, використовувати не можна. Тобто тип II – це зовсім не досліджений тип суперрегенерації, який представляє особливий інтерес внаслідок проявів різного роду нетривіальних явищ (наприклад, явища триггерної хаотичної суперрегенерації).

Також встановлено існування відносно вузького діапазону значень параметру K , який відокремлює поведінку хаотичної суперрегенерації типу I від поведінки типу II. У даному разі тип I спостерігається при $K < K^*$, тип II при $K \geq K^*$. Конкретні значення величини K^* наведені в основному тексті статті.

7. Розроблено метод, який прямо доказує існування явища хаотичної суперрегенерації.

Перелік посилань

1. Armstrong E.H. Some recent developments in regenerative circuits. PIRE, 1922, №8. 144-260.
2. Leenaerts D.V.W. Chaotic Behavior in Super Regenerative Detectors. IEEE Transactions on Circuits and Systems I-Fundamental Theory and Applications. Vol. 43, №3, March 1996, 169 – 176.
3. Leenaerts D. Integrated Transceiver Design: Non – Linear Dynamic Issues. Proceedings NDES, 2001.
4. Commercon J. – C., Badard R. “Chaos” in Superregenerative Receivers. Chaos, Solitons and Fractals 23, 2005, 1267 – 1274.
5. Артеменко В.А., Петрович В.В. Застосування хаотичного суперрегенератора в задачах моніторинга (Частина 1). – Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. Вип 114, Частина 1. С. 208-229.

USE CHAOTIC SUPERREGENERATOR IN PROBLEM OF THE MONITORING (Part 2)

Vladuslav Artemenko, UT5UDJ, Master of Ecology, Ukrainian Hydrometeorological Institute, State Service on Emergencies of Ukraine and National Academy of Science of Ukraine, Hydrochemical Research, Scientific Employee, e-mail: ut5udj@ukr.net, tel. 380936011250, Nauki avenue, 37, Kyiv, Ukraine, 03028, room 34, <https://orcid.org/0000-0003-0536-5415>

Volodymyr Petrovych, Candidate of Technical Sciences, Professor, Senior Researcher, Professor of the Transportation Construction and Property Management Department, National Transport University. e-mail: petrovichvv60@ukr.net, tel. +380442807338, Ukraine, 01010, Kyiv, street M. Omelyanovycha-Pavlenka, 1, room 138, <https://orcid.org/0000-0003-0422-2535>

Abstract. In the first part of the article, a new type of super – regeneration was considered, namely chaotic super – regeneration.

The second part of the article shows the promise of research into chaotic super – regeneration, primarily from the perspective of environmental monitoring.

A new scheme and a new model of a chaotic super – regeneration are proposed, which is much more stable during full – scale implementation and modeling.

The reasons for increasing sustainability are explained.

It is shown that only a relatively small number of currently existing chaotic self - oscillator circuits are suitable for the implementation of chaotic super – regenerators. The main methods for the synthesis of chaotic super – regenerators are presented. The principles of compiling systems of ordinary differential equations that describe the operation of the model under consideration, as well as all the data necessary for modeling, are considered.

All important results obtained during modeling are presented.

A method has been developed that directly proves the existence of such phenomena as chaotic super – regeneration. The existence of qualitatively different regimes in the implementation of the phenomenon of

chaotic superregeneration is shown depending on the value of the parameter K (ratio of “natural” oscillation frequencies and damping frequency).

Annotation. In part I, a new type of superregeneration was proposed - chaotic superregeneration. Part II shows, first of all, the perspective of chaotic superregeneration research from the point of view of monitoring the surrounding environment.

A new scheme and a new model of the chaotic superregenerator, which is more stable during its full-scale implementation and simulation, have been determined. Explanations of the reasons for increasing such stability. It is shown that only a relatively small number of potentially suitable schemes of chaotic autogenerators should be used to implement chaotic superregenerators. The main methods of synthesis (construction) of chaotic superregenerators are presented.

A system of ordinary differential equations is proposed, which describes the operation of the model under consideration, and all the data necessary for modeling are determined.

All important simulation results are presented. A method has been developed that directly proves the existence of such a phenomenon as chaotic superregeneration. The existence of qualitatively different regimes during the implementation of chaotic superregeneration was determined, depending on the value of the parameter K (ratio of the frequency of "natural" oscillations and the frequency of quenching).

Goal of the work. Study of a new phenomenon discovered by the authors - chaotic superregeneration. Study of qualitatively different modes of operation of a chaotic superregenerator. Development of a general methodology for the synthesis of chaotic superregenerators. Synthesis of a new stable scheme and a new model in its mathematical modeling. Development of a method of direct proof of the existence of the phenomenon of chaotic superregeneration.

Key words: Discovery of the phenomenon of chaotic superregeneration, proof of the existence of the phenomenon of chaotic superregeneration, study of qualitatively different modes of operation of a chaotic superregenerator, general method of synthesizing schemes of chaotic superregenerators.

References

1. Armstrong E.H. Some recent developments in regenerative circuits. PIRE, 1922, №8.-244-260.
2. Leenaerts D.V.W. Chaotic Behavior in Super Regenerative Detectors. IEEE Transactions on Circuits and Systems I.-Fundamental Theory and Applications. Vol. 43, №3, March 1996, 169 – 176.
3. Leenaerts D. Integrated Transceiver Design: Non – Linear Dynamic Issues. Proceedings NDES 2001.
4. Commercon J. – C., Badard R. “Chaos” in Superregenerative Receivers. Chaos, Solitons and Fractals, 23, 2005, 1267 – 1274.
5. Artemenko V.A., Petrovych V.V. Zastosuvannya khaotychnoho superreheneratora v zadachakh manitorynha (Chastyna 1). – Avtomobilni dorohy i dorozhnye budivnytstvo. Vyp 114, Chastyna 1. – S. 208-229.

Дата надходження до редакції 03.06.2024.