

СХЕМОТЕХНІЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ РІВНЯННЯ ПЛОЩИНИ У MULTISIM ДЛЯ ВІДОБРАЖЕННЯ ЧАСТИН АТРАКТОРУ У ФАЗОВОМУ ПРОСТОРІ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Представлена схемотехнічна реалізація формули площини за допомогою суматора. Налаштовуючи нахил площини з'являється можливість змінювати відображення частини атрактора, яка знаходиться під або над площиною. Розглянуті випадки з одною та двома площинами. Проведене моделювання у симуляторі Multisim, що підтвердило можливість практичної реалізації розглянутого підходу. Наведені результати симуляції.

Ключові слова: динамічний хаос, атрактор, генератор, фазова площина, пристрій, сигнал, моделювання.

Abstract

The schematic implementation of the plane formula using an adder is presented. By adjusting the slope of the plane, it becomes possible to change the reflection of the attractor parts that are below or above the plane. Cases with one and two planes are considered. Modeling was performed in the Multisim simulator, which confirmed the possibility of practical implementation of the considered approach. The simulation results are shown below.

Keywords: dynamic chaos, attractor, generator, phase plane, device, signal, simulation.

Вступ

Керований переріз широко використовуються для аналітичного дослідження нелінійних кіл, а також при чисельному і апаратному аналізі. У схемотехнічній практиці апаратна реалізація площини дозволяє не лише формувати переріз Пуанкаре [1], але й здійснювати просторову «фільтрацію» сигналів. Практична реалізація такого підходу вимагає точного схемотехнічного задання рівняння площини за допомогою аналогових обчислювальних блоків, зокрема суматорів та компараторів. У роботі розглядається схемотехнічна реалізація рівняння площини $Ax + By + Cz = D$ у середовищі моделювання Multisim, що дозволяє гнучко керувати параметрами відображення атракторів у фазовому просторі та створювати просторові «зрізи» необхідної товщини.

Результати дослідження

У раніше проведених дослідженнях розглядалися математичні моделі, спектр та атрактори запропонованого генератора динамічного хаосу [2], але не використовувався керований переріз. Схемотехнічна реалізація рівняння площини була зібрана та протестована на одному з генераторів динамічного хаосу, а саме на одній з модифікованих схем Чуа. Для кращого візуального сприйняття запропонованого підходу було обрано граничний цикл та три проекції-відображення у фазовому просторі, а саме XY, XZ, YZ. Сигнали подаються на вихідні буфери схеми Чуа і три вхідних та вихідних осцилографи. На рисунку 1 (а) наведено модифікований варіант схеми, базова версія якої була запропонована у роботах [3-4]. Щоб спостерігати результат роботи схеми у Multisim, пропонується на вихід схеми додати аналогові помножувачі. Принцип відображення полягає у множенні на коефіцієнт 1, коли траєкторія системи перебуває над заданою площиною, поріг спрацювання компаратора задається потенціометром R20. Змінюючи опорну напругу в межах від -12 до +12 В можна встановити яка частина атрактора буде відображатися. Було додано резистор R27 для створення гістерезису, що запобігає явищу «брязкоту» вихідних імпульсів. Нахил площини встановлюється за допомогою вхідних потенціометрів суматора. Коли траєкторія системи опускається нижче заданого порога вихідна напруга компаратора дорівнює нулю, отже сигнал з аналогового помножувача дорівнює нулю і «промінь» осцилографа прямує до початку координат.

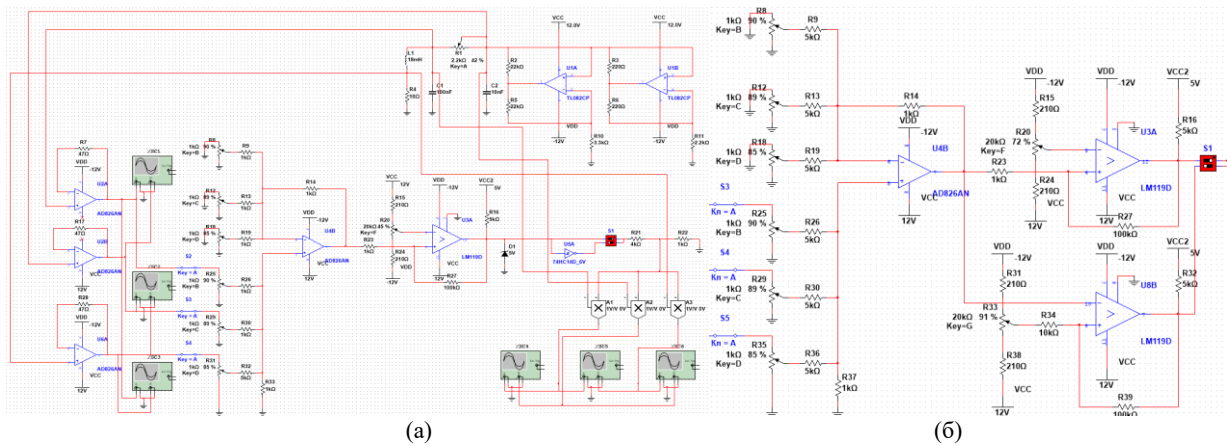


Рис. 1 – Модифікована схема на одному компараторі і підсхеми для відображення частини атрактору (а), схема на двох компараторах, які задають границі зрізів (б)

За допомогою перемикача S1 обирається, який сигнал (інвертований чи неінвертований) надходитиме до помножувачів, таким чином можна відобразити те, що розташоване за межами заданих опорних значень напруги компаратора. Повне відображення граничного циклу схеми Чуа, у трьох проекціях наведено на рисунку 2 (а.1-а.3). Сигнали для побудови атрактора надходять з буферів. Варіант (б.1-б.3) ілюструє положення площини при значенні потенціометра R20 – 80%, при цьому значення потенціометрів R25, R29, R31 обрано відповідно як 0, 100, 95 %. Прямі лінії, спрямовані до початку координат, підтверджують коректність роботи аналогового помножувача для відображення відсічених частин атрактора.

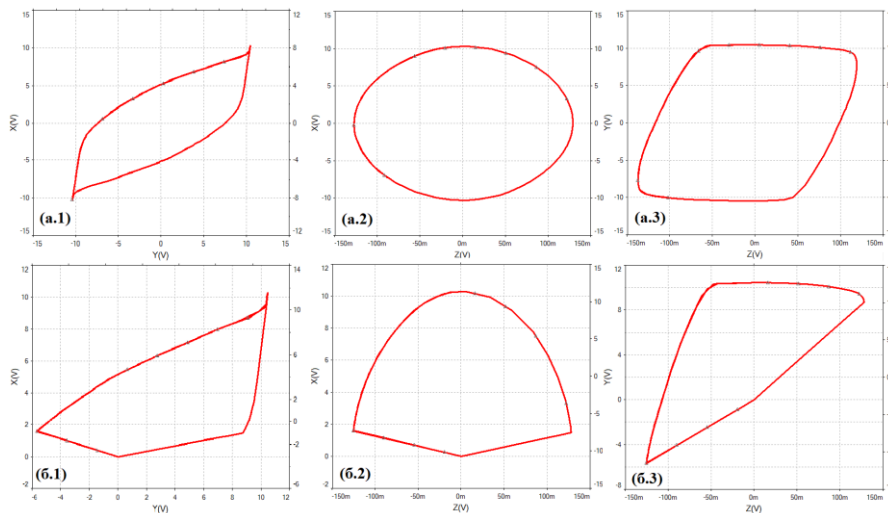


Рис. 2 – Результат моделювання у програмі Multisim

У роботі [5] було наведено варіант використання декількох компараторів для зменшення розмірності системи, залежно від кількості зрізів. Але у випадку якщо напруга траєкторії близька до порогових значень компаратора може відбутися хибне формування імпульсів. Для запобігання цьому явищу, крім гістерезису, можливе створення площини з певною товщиною. Таку версію схеми наведено на рисунку 1 (б). Додавання другого компаратора дозволяє створити ще одну площину, яка паралельна першій і віддалена від неї на певне значення напруги. Таким чином задається необхідна товщина перерізу. Варіант (а.1-а.3) ілюструє атрактор, який перебуває за межами площин при значеннях потенціометрів R20 – 80%, R33 – 64%, при цьому значення потенціометрів R25, R29, R31 обрано відповідно як 25, 5, 100 %. Варіант (б.1-б.3) зображує атрактор в межах між двома площинами за тих самих значень. Варіант (в.1-в.3) ілюструє атрактор в межах між двома площинами при значеннях потенціометрів R20 – 72%, R33 – 91%, при цьому значення потенціометрів R25, R29, R31 обрано як 90, 89, 85 %, на суматорі задане підсилення резисторами R14, R37 номіналом у 22кОм. Варіант (г.1-г.3) зображує атрактор, який знаходиться за межами площин за тих самих значень.

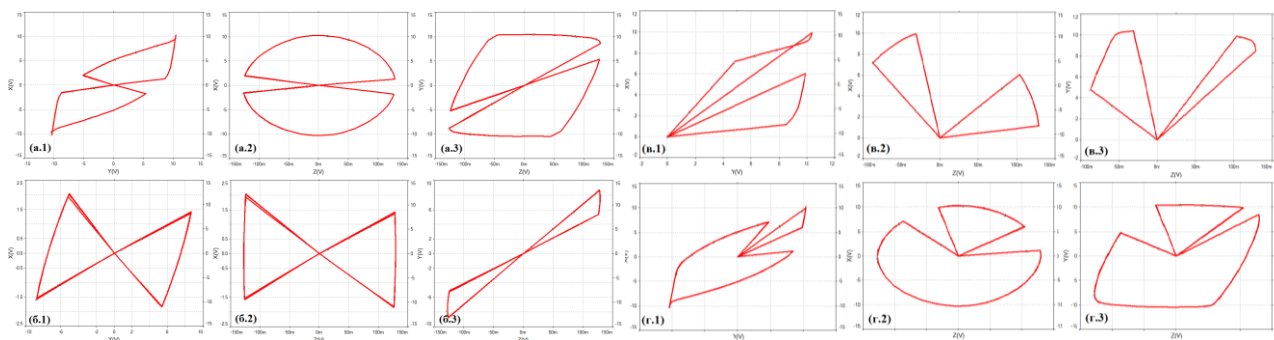


Рисунок 3 - Результат моделювання у програмі Multisim при двох площинах і різних нахилах (а-г)

Висновки

Моделювання базової схеми для формування площини-перерізу підтверджує запропонований у роботах [4-5] підхід. Керування нахилом площини за допомогою входних потенціометрів, замість реостатів, розширює ефективний діапазон контролю, під час зміни їхніх значень. Додавання другого компаратора дозволяє регулювати положення і товщину перерізу. Використання аналогових помножувачів дає можливість відображати частини атрактора над чи під площиною під час моделювання у Multisim. Для демонстрації було обрано граничний цикл схеми Чуа, але підхід може бути застосований і для дивних атракторів чи квазіперіодичних коливань. Також важливо відзначити, що імпульси, які формуються компараторами, відповідають моментам перетину площини і можуть бути застосовані для формування перерізу Пуанкаре. Додавання підсхем визначення сторони входу дозволить аналізувати період системи за кількістю точок на екрані осцилографа.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Zhang Z., Dai L. Secondary Poincaré section for characterizing dynamical behaviours of nonlinear systems. *Chaos, Solitons & Fractals*. 2025. Vol. 199. P. 116849. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chaos.2025.116849>
2. Семенов А., Пінаєв Б., Хлюба А., Шурхал М., Ольхович В. Мікроелектронний генератор детермінованого хаосу на основі біполярної транзисторної структури з від'ємним диференційним опором. *Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах*, 2023, No. 3. С. 206–217. DOI: <https://doi.org/10.31891/2219-9365-2023-75-24>
3. Implementing Poincaré Sections for a Chaotic Relaxation Oscillator / S. Euzzor et al. *IEEE Transactions on Circuits and Systems II: Express Briefs*. 2020. Vol. 67, no. 2. P. 395–399. DOI: <https://doi.org/10.1109/tcsii.2019.2924475>
4. Chen Hong, Wu Ling. Design and implementation of an arbitrary poincare plane section circuit in three-dimensional space. *Acta Physica Sinica*. 2013. T. 62, № 2. С. 020507. DOI: <https://doi.org/10.7498/aps.62.020507>
5. Experimental diagnostics of multi-frequency quasiperiodic oscillations / N. V. Stankevich et al. *Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation*. 2017. Vol. 43. P. 200–210. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cnsns.2016.07.007>

Семенов Андрій Олександрович — д-р техн. наук, професор кафедри інформаційних радіоелектронних технологій і систем, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: semenov.a.o@vntu.edu.ua

Хлюба Антон Анатолійович — аспірант, група 172-24а, кафедра інформаційних радіоелектронних технологій і систем, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: hlobaanton@gmail.com

Semenov Andriy Oleksandrovych — Doctor of Technical Sciences, Professor of the department of information radioelectronic technologies and systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: semenov.a.o@vntu.edu.ua

Khloba Anton Anatolyevich — postgraduate student, Department of information radioelectronic technologies and systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: hlobaanton@gmail.com