

ПРОГРАМНО–АПАРАТУРНИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ У ДИНАМІЧНИХ СИСТЕМАХ

На базі персонального комп'ютера та спеціально розроблених аналогово-цифрового перетворювача й пакету програм створено комплекс для дослідження процесів у динамічних системах. Проведено тестування комплексу за допомогою сигналів з відомими характеристиками.

The complex for investigating the processes in dynamical system was created on the basis of PC and specially elaborated analogue-digital transformer and program pack. The complex was tested by means of the signal with known characteristics.

Останнім часом значний інтерес у дослідників викликають детерміновані нелінійні системи, зокрема ті, процеси в яких мають хаотичний характер [1,2]. При цьому поряд із традиційними методами дослідження динамічних систем, вдаються до нових, специфічних методів, пов'язаних із дослідженням поведінки кореляційного інтегралу та відповідної розмірності. Але тут виникають суттєві труднощі, пов'язані з одержанням і обробкою великих масивів даних у багатомірних просторах, що вимагає довготривалої та копіткої праці.

Для зменшення об'єму рутинної праці дослідника, підвищення вірогідності результатів та ефективності досліджень у цілому пропонується автоматизувати їх за допомогою розробленого нами програмно-апаратного комплексу.

Даний комплекс складається із блока аналогово-цифрового перетворення (АЦП), персонального комп'ютера (ПК) та пакету програм.

АЦП зібрано на окремій платі, що монтується у корпусі ПК і з'єднується за допомогою системної шини ISA. Основу блока АЦП складає інтегральна мікросхема AD1674 фірми ANALOG DEVICES, яка є 12-ти розрядним АЦП послідовних наближень з часом перетворення 10 мкс. Для розширення кількості вхідних каналів використано мультиплексор на двох мікросхемах K590КН6, що дало можливість одночасно вимірювати до 16 різних аналогових сигналів (при циклічному опитуванні каналів). На платі АЦП розташовано програмний таймер, який дозволяє вводити дані експерименту у ПК із програмно-фіксованою частотою опитування. В АЦП передбачено прямий

доступ до пам'яті ПК. Це дає можливість здійснювати вимірювання, не користуючись при цьому ресурсами процесора.

Для проведення експериментів використовувалась ПК на базі процесора *Cyrix 6x86MX* з частотою 166 МГц і об'ємом пам'яті 16 Мбайт. Програмний пакет написаний на мові Паскаль за допомогою компілятора PASCAL 7.0 і складається з таких модулів, а саме: зв'язку з АЦП; розрахунку кореляційного інтегралу та кореляційної розмірності; реалізації швидкого перетворення Фур'є; багатоканального осцилографа та виводу результатів розрахунку у вигляді графіків.

Розрахунок кореляційного інтегралу за допомогою стандартного алгоритму Грассбера-Прокаччо [3] займає багато часу. Цей час, що пропорційний квадрату кількості точок вимірювання, може бути дуже великим. Тому підпрограма розрахунку кореляційного інтеграла була написана на мові Асемблер, що дало скорочення часу розрахунку у 10-15 разів у порівнянні з компілятором PASCAL 7.0.

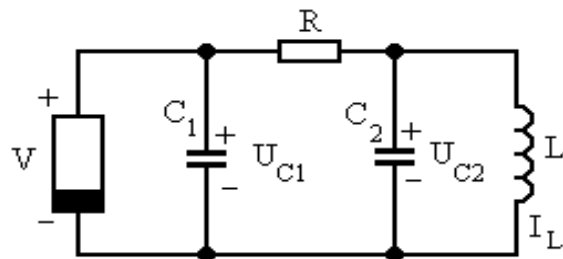
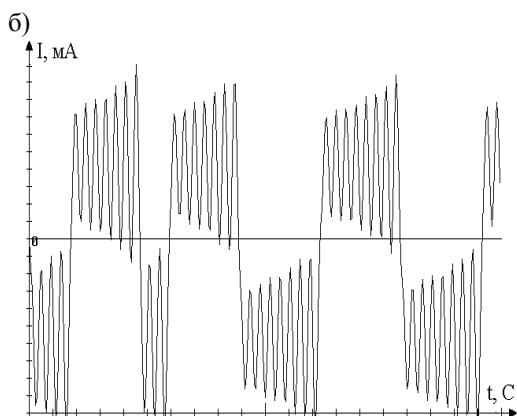
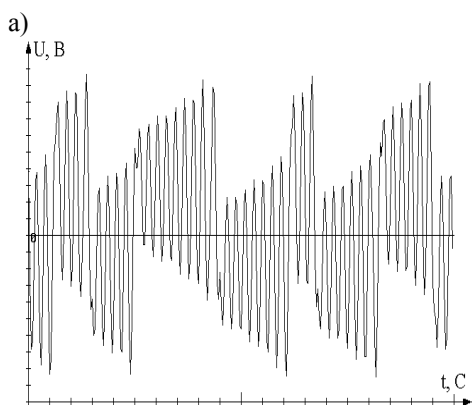
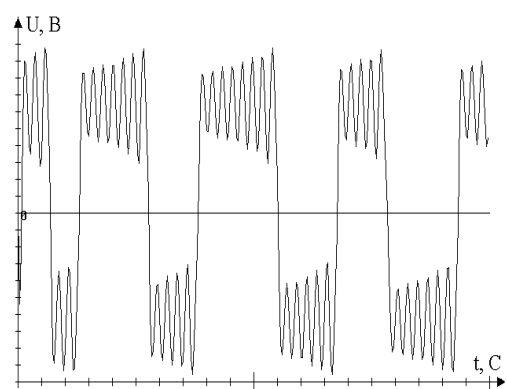
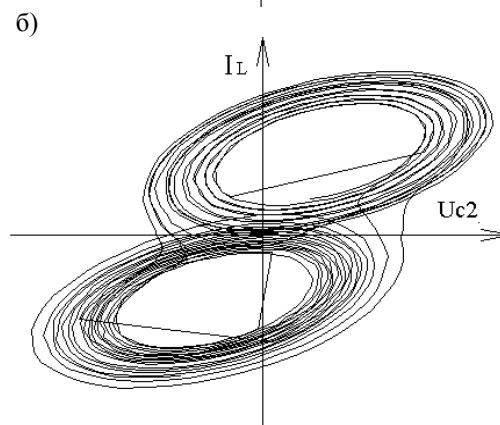
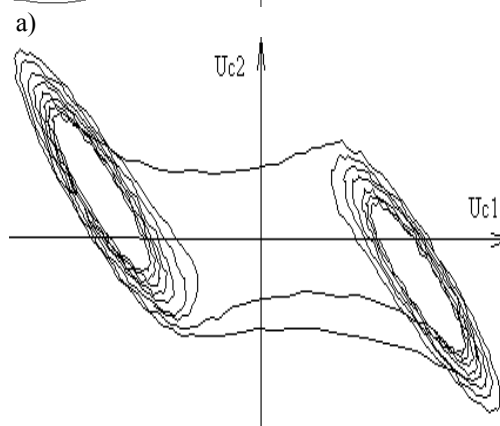
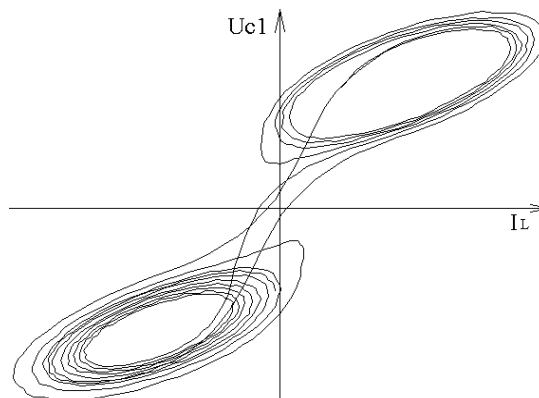


Рис.1. Узагальнена електрична схема генератора Чуа.



в)
Рис.2. Осцилограми напруг: U_{c1} (а), U_{c2} (б), та струму I_L (в).



в)
Рис.3. Фазові портрети у координатах: U_{c1}, I_L (а), U_{c2}, U_{c1} (б), I_L, U_{c2} (в).

Таблиця 1. Розмірності тестових сигналів.

Вид сигналу	Мірність простору	Кореляційна розмірність	
		Експериментальна	теоретична
1. Відображення Кантора	1	0,636	0,6309
2. Відображення Хенона	3	1,221	1,239±0,019
3. Відображення Фейгенбаума	2	0,502	0,4926< ν <0,5024

Таблиця 2. Розмірності хаотичного сигналу.

Вид сигналу	Мірність простору	Кореляційна розмірність	
		експериментальна	теоретична
1. Напруга на конденсаторі C_1	20	2,151	2,13
2. Напруга на конденсаторі C_2	20	2,145	2,13
3. Срум через індуктивність L	20	2,147	2,13

Кореляційна розмірність ν розраховувалась як тангенс кута нахилу ділянки графіка кореляційного інтегралу апроксимованого за методом лінійної регресії. Так на розрахунок кореляційної розмірності для 2000 точок при використанні процесора *Cyrix 6x86MX* – 166МГц було затрачено 2,5 секунди.

Для тестування пакету програм, зокрема кореляційної розмірності, проведено її розрахунки для деяких відомих відображень. В якості одномірних відображень були взяті канторова множина, що є послідовністю

$$a_1=0, a_{2+i}^k = a_i + (2/3)^{k+1}, \quad i=1,2,\dots,2^k, k=0,1,$$

та атрактор Фейгенбаума:

$$x_{n+1} = ax_n(1-x_n), \quad x_n \in [0,1].$$

В якості двомірного відображення досліджувалось відображення Хенона, яке задається наступною залежністю:

$$x_{n+1} = y_n + 1 - ax_n^2, \quad y_{n+1} = bx_n.$$

Із результатів розрахунків, наведених в таблиці 1, можна бачити, що вони знаходяться у межах теоретично одержаних величин [3].

З усього цього можна зробити висновок, що закладені у програму алгоритми будуть давати вірогідні результати і для інших сигналів.

Для тестування апаратної частини комплексу був зібраний генератор хаотичних коливань по схемі Чжуа [4,5,6] на нелінійному V -елементі (рис.1) із симетричною характеристикою. Відомо, що схема Чжуа це проста автономна система, поведінка якої може бути хаотичною. Дана схема допускає глибокий математичний аналіз а її хаотична поведінка має строге математичне доведення. Крім того на даний час це єдиний приклад фізичної системи, хаотична поведінка якої підтверджена з використанням трьох різних підходів: моделюванням на ПК, лабораторними експериментами та математичним аналізом.

За допомогою розробленого нами комплексу проаналізовані три хаотичні сигнали, утворені схемою Чжуа – напруги на конденсаторах та струм через котушку індуктивності. Осцилограми цих сигналів зображено на рис.2, а їх фазові портрети – на рис. 3. Результати розрахунку кореляційної розмірності для кожного з них наведені у таблиці 2. Можна бачити, що отримані значення ν однакові по всіх трьох осях фазового простору і співпадають до третього знаку з теоретичним значенням [6].

Отже, розроблений комплекс дозволяє автоматизувати процес дослідження хаотичних процесів у динамічних системах і підвищує надійність одержання вірогідних результатів.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Паркер Т.С., Чжуа Л.О.* Введение в теорию хаотических систем для инженеров // ТИИЭР. - 1987. - **75**, - №8. - С.6-40.
2. *Мун Ф.* Хаотические колебания: Вводный курс для научных работников и инженеров. - М.: Мир, - 1990.
3. *Малинецкий Г.Г., Потанов А.Б.* О вычислении размерности странных аттракторов // Журнал вычислительной математики и математической физики. - 1988. - **28**, №7 - С.1021-1037.
4. *Хаслер Ж.М.* Электрические схемы с хаотическим поведением // ТИИЭР. - 1987. - **75**, №8. - С.40-54.
5. *Сюсань У.* Семейство схемы Чжуа // ТИИЭР. - 1987. - **75**, №8. - С.55-65.
6. *Мацумото Т.* Хаос в электронных схемах // ТИИЭР. - 1987. - **75**, №8. - С.65-87.