

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ Н.Г.ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Кафедра радиофизики и нелинейной динамики

**Создание программы в среде LabVIEW для лабораторной работы на
тему: «Вынужденная синхронизация хаоса в системе Ресслера с
внешним периодическим воздействием»**

АВТОРЕФЕРАТ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ

Студента 4 курса 4032 группы
направления 03.03.03 Радиофизика
Института физики
Морозова Алексея Александровича

Научный руководитель

Доцент, к.ф.-м.н _____ И.А. Корнеев

Зав. кафедрой радиофизики

и нелинейной динамики,

д.ф.-м.н., доцент _____ Г.И. Стрелкова

Саратов 2023 г.

ВВЕДЕНИЕ

В данной выпускной квалификационной работе описывается созданная программа для лабораторной работы на тему: «Вынужденная синхронизация хаоса в системе Ресслера с внешним периодическим воздействием». Программа реализована в среде LabVIEW от National Instruments. Она используется для создания приложений в области измерений, автоматизации и контроля технологических процессов. В LabVIEW пользователь может создавать графические интерфейсы для управления приборами, обрабатывать данные, анализировать результаты измерений и создавать отчеты. LabVIEW также позволяет работать со многими типами приборов и протоколами связи. LabVIEW имеет широкий спектр возможностей, среди которых:

1. Графическое программирование - пользователь создает блок-схемы, используя графические элементы, включая блоки условий, циклы, математические операции, чтение и запись данных.
2. Большое число инструментальных драйверов - поддерживает большое количество приборов и протоколов связи.
3. Возможность создания пользовательских интерфейсов - позволяет создавать графические интерфейсы для управления приборами, обработки данных, анализа результатов измерений и создания отчетов.
4. Разработка распределенных систем - с помощью можно создавать распределенные системы, обрабатывающие данные на разных компьютерах в единой среде.
5. Интеграция с другими языками программирования - может использоваться в связке с другими языками программирования, такими как C, C++, Java и другими.

Программы, созданные в LabVIEW могут применяться не только в производстве, но в исследовательских и учебных целях, поэтому программа, разработанная для исследования вынужденной синхронизации хаоса в системе Ресслера с внешним периодическим воздействием, будет применяться в

учебном процессе по дисциплине «Спецпрактикум» для направлений 03.03.03 «Радиофизика» и 11.03.02 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи», что является современным и актуальным решением.

Цель выпускной квалификационной работы: Создание программы в среде LabVIEW для лабораторной работы на тему: «Вынужденная синхронизация хаоса в системе Ресслера с внешним периодическим воздействием».

Требования к программе: удобный и понятный интерфейс пользователя; визуализация аттрактора исследуемой системы; визуализация спектра мощности и временных реализаций; возможность сохранения результатов исследования; выполнять задания лабораторной работы.

Задания лабораторной работы:

1. Проанализировать изменения динамики системы, наблюдаемые с увеличением значения параметра c . Показать фазовые портреты и спектры мощности, соответствующие каждому из наблюдаемых режимов.
2. Изменяя частоту и амплитуду внешнего воздействия, продемонстрировать эффект синхронизации через захват и подавление частоты собственных колебаний. Показать эволюцию спектра мощности колебаний $x(t)$, соответствующую механизмам захвата и подавления частоты автоколебаний.
3. На плоскости параметров (A, ω_{ext}) построить карту режимов, на которой отметить область несинхронного хаоса, синхронного хаоса и область синхронных периодических колебаний (экспериментально полученный аналог карты режимов математической модели).

Выпускная квалификационная работа содержит введение, три главы (1. Теоретические сведения; 2 Программы в среде LabVIEW для лабораторной работы; 3 Порядок выполнения лабораторной работы), заключение и список использованных источников. Общий объем работы 33 стр.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

1. Теоретические сведения. Система Ресслера – это нелинейная динамическая система, которая часто используется в качестве примера хаоса. Она состоит из трёх связанных дифференциальных уравнений, описывающих изменение трёх переменных во времени. Динамическая система Ресслера:

$$\begin{cases} \dot{x} = -y - z \\ \dot{y} = x + ay \\ \dot{z} = b + z(x - c) \end{cases} \quad (1.1)$$

где a , b , c – параметры системы. При значениях параметров и $2.6 \leq c \leq 4.2$ система (1.1) в фазовом пространстве наблюдается решение в виде устойчивого предельного цикла. При этих значениях параметров в системе происходит каскад удвоения периода. При $c > 4.2$ возникает хаотический аттрактор. Чётко определённые линии предельных циклов расплываются и заполняют фазовое пространство бесконечным множеством траекторий, обладающим свойствами фрактала.

Введя внешнее гармоническое воздействие в систему (1.1), мы получим следующие уравнение:

$$\begin{cases} \dot{x} = -y - z + A \sin(\omega t) \\ \dot{y} = x - ay \\ \dot{z} = b + z(x - c) \end{cases} \quad (1.2)$$

где A – это амплитуда, а ω – это круговая частота внешнего воздействия.

Когда на систему (1.1) воздействует внешнее периодическое воздействие, могут возникать синхронные колебания в системе. Это происходит, потому что внешнее воздействие изменяет хаотическое поведение системы и приводит к определенному порядку в ее колебаниях. Такая синхронизация может быть вынужденной, то есть происходить под воздействием внешней силы, или само организованной, когда система находит стабильное состояние без внешнего воздействия. Математически этот процесс можно описать с помощью теории управления и теории синхронизации. Ключевым фактором в процессе синхронизации является способность

системы к адаптации к изменяющимся условиям внешнего воздействия и самостоятельному реагированию на эти изменения. Одна из особенностей системы Ресслера – это её чувствительность к начальным условиям. Это означает, что даже небольшие изменения в начальных условиях приводят к существенным изменениям в траектории движения системы. Это свойство делает систему Ресслера хаотичной. Внешнее периодическое воздействие на систему (1.1) может изменять её динамику. Одно из возможных результатов воздействия – это вынужденная синхронизация хаоса. Это означает, что система (1.2) начинает синхронизироваться с внешней периодической силой, и её хаотическая динамика становится более упорядоченной.

Вынужденная синхронизация хаоса — это интересное явление, которое может иметь различные приложения, например, в криптографии и передаче информации. В целом, она связана с более общим феноменом синхронизации, когда две или более системы начинают двигаться в унисон.

Режимы системы Ресслера с внешним периодическим воздействием

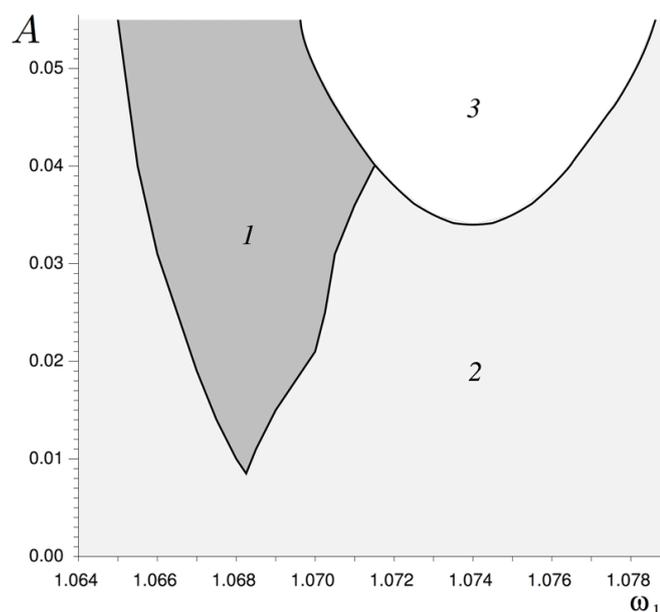


Рисунок 1.1 – Диаграмма режимов исследуемой системы (1.2) на плоскости параметров (ω, A) .

На рисунке 1.1 представлена диаграмма режимов системы (1.2): 1 – область синхронного хаоса; 2 – область несинхронного хаоса; 3 – область синхронных периодических колебаний.

1. Область синхронного хаоса – это область параметров в системе, при которой несколько независимых механизмов начинают колебаться хаотически в согласованном режиме.

2. Область несинхронного хаоса – это область параметров в системе, при которой несколько независимых механизмов колеблются в хаотическом режиме без согласования своей динамики.

3. Область синхронных периодических колебаний – это область параметров в системе, при которой две или более независимых системы колеблются в согласованном режиме с постоянной частотой и амплитудой.

2. Программы в среде LabVIEW для лабораторной работы

Программа состоит из панели блок-диаграммы (рис 2.1) и фронтальной панели рис.(2.2).

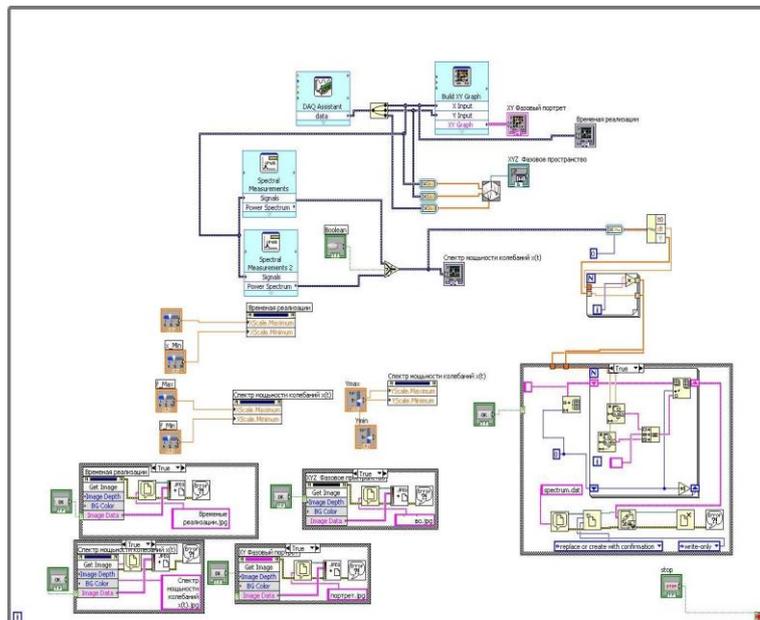


Рисунок 2.1 — Панель блок-диаграммы.

Блок-диаграмма – это графическое представление системы или процесса в виде блоков, соединенных линиями, которые показывают взаимодействие между блоками. Каждый блок представляет отдельную часть системы, и они связаны друг с другом, чтобы показать, как они взаимодействуют.

Сама программа представляется из себя цикл While в которой помещён действующие блоки и функции.

Фронтальная панель

Фронтальную панель (рисунок 2.2) программы позволяет наблюдать в реальном времени колебания динамических переменных экспериментальной установки $x(t)$, $y(t)$, $z(t)$, проекции фазового портрета системы на плоскости (x, y) и фазовое пространство (x, y, z) , спектр мощности колебаний $x(t)$ и временную реализацию $x(t)$. Кнопка **Save image** - позволяет сохранить графики, а кнопка **Save spectrum** - позволяет сохранить измерения спектра. Кнопка **Stop** нужна для остановки работы программы. Переключатель над графиком спектра мощности позволяет отображать спектр в линейном или логарифмическом формате.

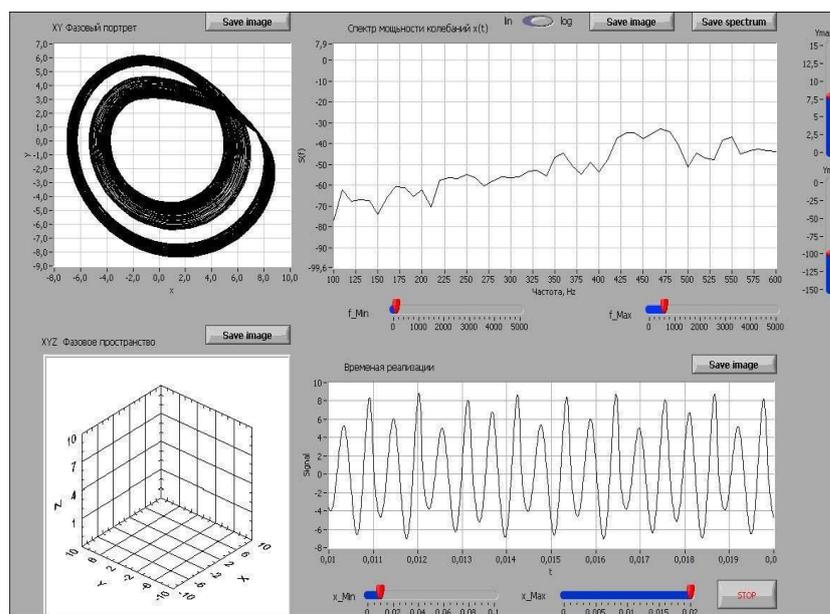


Рисунок 2.2 – Фронтальную панель программы в среде LabVIEW

Лабораторная установка



Рисунок 2.3- Внешний вид

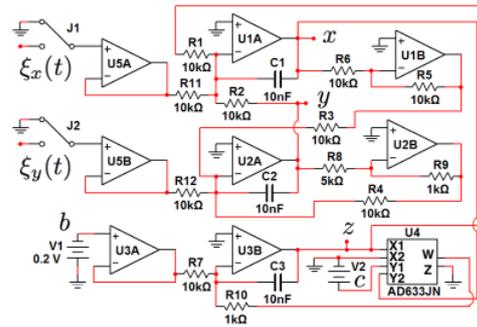


Рисунок 2.4- Принципиальная схема

экспериментальной установки

Экспериментальная установка представляет собой электронную аналоговую модель системы Ресслера. Установка спроектирована на базе операционных усилителей TL072CP и аналоговых умножителей AD633JN. Принципиальная схема, а также внешний вид экспериментальной установки представлены на рисунке 2.10 и рисунке 2.11, а ее работа описывается следующей системой уравнений:

$$\begin{cases} R_0 C_0 \dot{x} = -y - z - \varepsilon_x(t) \\ R_0 C_0 \dot{y} = x + ay - \varepsilon_y(t) \\ R_0 C_0 \dot{z} = b + z(x - c) \end{cases} \quad (2.1)$$

где $R_0 = 10k\Omega$, $C_0 = 10nF$, $\xi_{x, y}(t)$ - аддитивное внешнее воздействие.

3. Порядок выполнения лабораторной работы

1. Проанализировать изменения динамики системы, наблюдаемые с увеличением значения параметра c . Показать фазовые портреты и спектры мощности, соответствующие каждому из наблюдаемых режимов. Какому механизму перехода к хаотической динамике соответствуют наблюдаемые бифуркационные изменения? Какой характер возбуждения автоколебаний (мягкий или жесткий) демонстрирует исследуемая система? Какой бифуркации соответствуют наблюдаемые изменения?

2. Зафиксировать значение параметра c , при котором аттрактором в фазовом пространстве системы является устойчивый предельный цикл периода 1 , соответствующий автоколебаниям, близким к гармоническим. Подключить внешнее периодическое воздействие $\xi x(t)$. Меняя частоту и амплитуду внешнего воздействия, продемонстрировать эффект синхронизации через захват и подавление частоты собственных колебаний. Показать эволюцию спектра мощности колебаний $x(t)$, соответствующую механизмам захвата и подавления частоты автоколебаний.

3. Зафиксировать значение параметра c , при котором исследуемая система находится в режиме хаоса. Подключить внешнее периодическое воздействие $\xi x(t)$. Меняя частоту и амплитуду внешнего воздействия, продемонстрировать эффект синхронизации хаоса. Проиллюстрировать эффект захвата базовой частоты хаотических автоколебаний. Необходимо рассмотреть два случая: (1) Частота внешнего воздействия близка к основной частоте хаотических автоколебаний системы; (2) Частота внешнего воздействия отличается от основной частоты хаотических автоколебаний на $200-500$ Гц.

4. Зафиксировать значение параметра c , при котором исследуемая система находится в режиме хаоса. На плоскости параметров $(A, \omega \xi t)$ построить карту режимов, на которой отметить область несинхронного хаоса, синхронного хаоса и область синхронных периодических колебаний.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По выпускной квалификационной работе на тему Создание программы в среде LabVIEW для лабораторной работы: «Вынужденная синхронизация хаоса в системе Ресслера с внешним периодическим воздействием» была разработана программа, которая выполнила поставленные задачи. Проведя тестирование можно вынести заключение, что разработанную программу можно применять для проведения лабораторной работы по дисциплине «Спецпрактикум» для направлений 03.03.03 «Радиофизика» и 11.03.02 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи».

Стоит отметить, что программа получилась весьма универсальной. Ее можно использовать для исследования других динамических систем или использовать как основу для создания программ направленных на исследования сложных явлений. Недостаток данной программы является – это сложность в наблюдении синхронизацию по спектру мощность, но это не мешает выполнять задания лабораторной работы.

Список использованных источников

1. Анищенко В.С., Вадивасона Т.Е. Лекции по нелинейной динамике: учеб. пособие для вузов // М.-Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика». 2011 г.- 516 с.
2. Суранов А. Я. LabVIEW 8.20: Справочник по функциям. – М.: ДМК Пресс, 2007. – 536 с.
3. В.С.Анищенко, В.В.Астахов, Т.Е.Вадивасова, А.Б.Нейман, Г.И.Стрелкова, Л.Шиманский-Гайер. Нелинейные эффекты в хаотических и стохастических системах. – Москва-Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2003, 544 с.
4. Ахромеева Т. С., Курдюмов С. Л, Малинецкий Г. Г., Самарский А. А. Структуры и хаос в нелинейных средах. М.: Физматлит, 2007
5. А.Пиковский, М.Розенблюм, Ю.Куртс. Синхронизация. Фундаментальное нелинейное явление. – Москва: Техносфера, 2003. –496с.
6. В.В. Астахов, А.В. Шабунин. Радиофизический практикум по теории колебаний: Учебное пособие для студентов вузов. – Саратов: Изд-во ГосУНЦ "Колледж 2003. – 147 с.
7. Стрельников Г.В. Хаос и устойчивость в нелинейной динамике. М.: Изд-во МГУ, 1996.
8. Скаков В.Ю. Бифуркационные диаграммы. Краснодар: Кубанский государственный университет, 2005.
9. Глызин С.Д., Ижболдин П.А. Структуры динамических систем. М.: МЦНМО, 2019.
10. Мэй Э.К. Элементы хаоса. М.: Мир, 2008.
11. Якобсон А.И. Теория бифуркаций и ее приложения. М.: МЦНМО, 2015.
12. Мерлини Е.Г., Пикарелли Ф. Хаотические колебания и их управление. М.: МЦНМО, 2000.

- 13.В.С. Анищенко, Д.Э. Постнов. Эффект захвата фазовой частоты хаотических колебаний. Синхронизация странных аттракторов // Письма в ЖТФ, Т.14, №6, с.569-573.
- 14.В.С. Анищенко, Т.Е. Вадивасова, Д.Э. Постнов, М.А. Сафонова. Вынужденная и взаимная синхронизация хаоса // Радиотехника и электроника, Т.36, №2, с.338-351.
- 15.M.G. Rosenblum, A.S. Pikovsky and J. Kurths. Phase synchronisation of chaotic
- 16.Oscillators // Physical Review Letters, 1996, v. 76, p. 1804-1807.