

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:**

**«Генератор с инерционной нелинейностью»**

**АВТОРЕФЕРАТ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ**

Студента 4 курса 4032 группы

направления 03.03.03 Радиофизика

Института физики

Подопрыгорова Петра Дмитриевича

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

Исследуемая система - генератор с инерционной нелинейностью, который широко применяется в промышленности, научных исследованиях и технике. Эта система имеет важное значение для различных областей, таких как автоматизированное производство, беспилотные летательные аппараты и системы ракетных двигателей.

LabVIEW выбран из-за его гибкости и кроссплатформенности, что позволяет с легкостью интегрировать нашу систему с другими средствами и оборудованием.

LabVIEW предлагает различные функциональности, включающие:

- Визуальное программирование, где пользователь создает блок-схемы с использованием графических элементов, таких как условные блоки, циклы, математические операции, чтение и запись данных.
- Широкий набор инструментальных драйверов, обеспечивающих поддержку множества приборов и протоколов связи.
- Возможность разработки пользовательских интерфейсов, позволяющих создавать графические интерфейсы для управления приборами, обработки данных, анализа результатов измерений и создания отчетов.
- Создание распределенных систем, которые могут обрабатывать данные на разных компьютерах в одной среде.
- Интеграция с другими языками программирования, такими как C, C++, Java и другие.

Кроме того, данная работа имеет практическую значимость, так как предназначена для выполнения лабораторной работы по теме "Генератор с инерционной нелинейностью" в рамках предмета "спецпрактикум". Это означает, что она поможет студентам, обучающимся по направлениям 03.03.03 "Радиофизика" и 11.03.02 "Инфокоммуникационные технологии и системы связи", освоить и применить практические навыки в данной области.

**Цель выпускной квалификационной работы:** Создание программы в среде LabVIEW для лабораторной работы на тему: «Генератор с инерционной нелинейностью».

**Требования к программе:** удобный и понятный интерфейс пользователя; визуализация фазового пространства на плоскости параметров  $x, y$ ; визуализация сечения аттрактора на плоскости  $y, z$ ; возможность сохранения результатов исследования; выполнять задания лабораторной работы.

### **Задания лабораторной работы:**

1. Изучить экспериментально последовательность бифуркаций удвоения периода при вариации параметра  $m$  для фиксированных значений параметра  $g$ .
2. Рассчитать численно значения параметра  $m_k$  в точках бифуркаций удвоения периода для циклов периода 1, 2, 4, 8 и 16.

Оценить значение постоянной Фейгенбаума  $\delta = \frac{m_{k+1} - m_k}{m_{k+2} - m_{k+1}}$  для значений  $k = 4$  и 8 в натурном и численном экспериментах. Сравнить полученные результаты с теоретическим значением  $\delta = 4.6692$ .

## **1. Генератор с инерционной нелинейностью**

### **1.1 Исследуемая система**

Генератор с инерционной нелинейностью (ГИН) представляет собой электронную схему, применяемую для генерации периодических сигналов. Отличительной особенностью этой схемы является наличие нелинейного элемента, который связывает выходной сигнал с обратной связью и создает неравномерность в изменении амплитуды и частоты колебаний. Это позволяет генерировать сложные и разнообразные сигналы, которые могут быть использованы в различных областях, включая радиосвязь, обработку сигналов и автоматическое управление.

$$\begin{cases} \dot{x} = mx + y - xz \\ \dot{y} = -x \\ \dot{z} = -gz + gF(x) \end{cases} \quad 1.1$$

где  $x, y, z$  – параметры системы,  $F(x)$  – нелинейная функция, которая приведена в виде  $\frac{x(x + |x|)}{2} - z$ ,  $g, m$  – параметры системы.

Генератор с инерционной нелинейностью (ГИН) представляет собой устройство, которое использует инерцию и нелинейность для генерации колебаний или сигналов. Он является формой нелинейного осциллятора, в котором инерционный элемент играет важную роль.

Описание основных компонентов и структуры исследуемой системы  
Основные компоненты и структура Генератора с инерционной нелинейностью (ГИН) могут варьироваться в зависимости от конкретной реализации и физической системы, используемой в исследовании. Однако, в общих чертах, ГИН может включать следующие компоненты:

- Инерционный элемент
- Нелинейный элемент
- Обратная связь
- Внешнее воздействие

Структура ГИН может быть различной в зависимости от конкретной системы и ее реализации. Однако, в основе структуры будет присутствовать связь между инерционным и нелинейным элементами, обратная связь для поддержания колебаний и внешнее воздействие для возбуждения системы. Важно отметить, что ГИН может быть реализован как одиночная система или в виде сети или массива связанных ГИН для создания сложных динамических поведений и сигналов.

## **1.2 Бифуркации в генераторе с инерционной нелинейностью**

Обзор различных типов бифуркаций, возникающих в ГИНе

Генератор с инерционной нелинейностью (ГИН) может проявлять различные типы бифуркаций, которые являются качественными изменениями динамического поведения системы при изменении параметров или внешних условий. Вот некоторые из возможных бифуркаций, которые могут возникать в ГИН:

- Бифуркация Хопфа (Bifurcation of Hopf)
- Бифуркация границы устойчивости (Bifurcation of Stability Boundary)
- Бифуркация пути к хаосу (Bifurcation to Chaos)
- Суперкритическая бифуркация (Supercritical Bifurcation)

### 1.3 Сечения в генераторе с инерционной нелинейностью

В генераторе с инерционной нелинейностью (ГИН) сечения представляют собой метод анализа динамики системы путем изучения ее поведения на определенных плоскостях или в пространстве состояний. Сечения позволяют визуализировать и исследовать особенности колебательных или периодических режимов работы системы. Вот некоторые из наиболее распространенных типов сечений, которые могут использоваться в ГИН:

- Фазовое сечение (Phase Plane)
- Портрет Пуанкаре (Poincaré Map)
- Бифуркационные сечения (Bifurcation Surfaces)
- Аттракторы и фазовые портреты (Attractors and Phase Portraits):

Исследование сечений в генераторе с инерционной нелинейностью (ГИН) является важным инструментом для анализа динамического поведения системы и выявления связей с бифуркациями. Сечения позволяют визуализировать и изучать особенности колебательных режимов и изменения динамики при изменении параметров системы

В целом, исследование сечений в ГИН позволяет визуализировать и анализировать динамическое поведение системы, обнаруживать бифуркации и определять связи между параметрами и изменениями в динамике. Это важный инструмент для понимания и контроля сложных нелинейных систем.

## 2. Программа в среде LabVIEW для лабораторной работы

### 2.1.1 Устройство программы

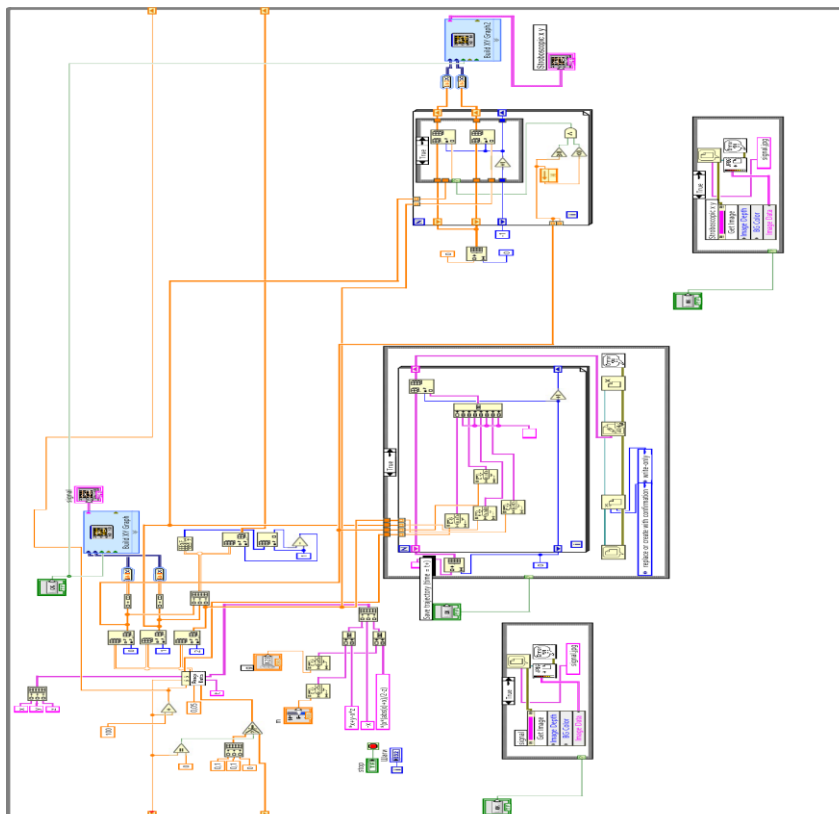


Рисунок 2.1 — Панель блок-диаграммы.

Программа включает в себя фронтальную панель и панель блок-схемы (рис. 2.1), где происходит программирование в LabVIEW. Она включает цикл While, в котором находится элемент блока Рунге-Кутта, где мы подключаем уравнения системы через текстовые переменные.

Мы передаем начальные условия программы

- Шаг
- Начальное и конечное время счета
- Переменные пространственные
- Время

Программа автоматически определяет количество переменных, которые необходимо задействовать, количество итераций для цикла for и выполняет вычисление коэффициентов  $k$  на основе метода Рунге-Кутта 4 порядка.

Внутреннее устройство программы автоматически обрабатывает переданные данные.

После вычисления ГИН программой, массив временных данных (times) содержит информацию о значениях переменных  $x$ ,  $y$  и  $z$  в определенные моменты времени, каждый из которых делен на шаг  $h$ . Эти значения передаются в отдельные массивы и передаются на блок XY Graf для отображения фазового портрета системы. Кроме того, эти значения передаются в соответствующий блок, где последние значения из массива извлекаются и передаются в начало цикла while. Если стартовое время равно 0, то используются начальные условия системы, а при времени, превышающем 0, используются начальные условия из предыдущего расчета. Это обеспечивает стабильность и избавляет от переходного процесса. Для полной очистки экрана от старых данных используется кнопка "СБРОС (F4)", которая расположена на фронтальной панели.

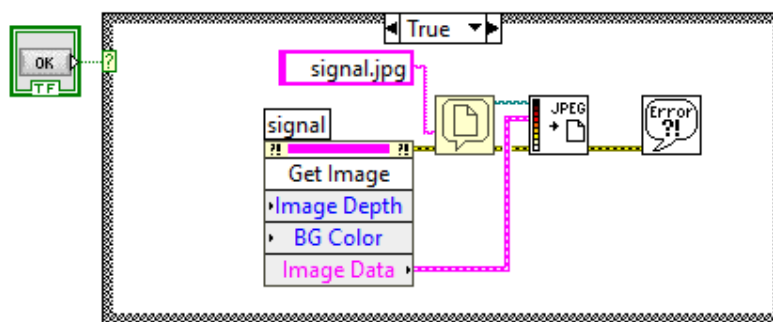


Рисунок 2.3 – Блок сохранения фазового портрета

Для сохранения картинки фазового сечения наш блок (рис. 2.3) содержит функционал, позволяющий активировать кнопку сохранения фазового портрета на фронтальной панели. Пример сохранения фазового портрета (рис 2.5)

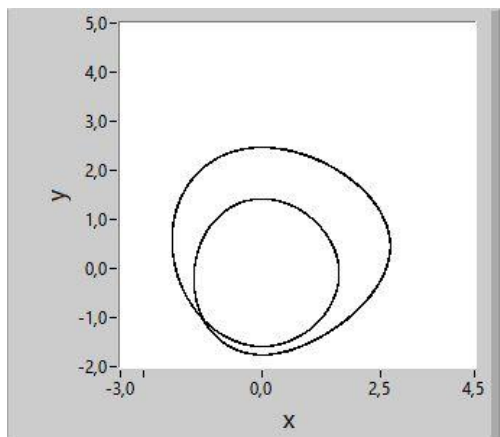


Рисунок 2.5 – Фазовый портрет

Блок на рисунке 2.6 предназначен для записи данных в файл.

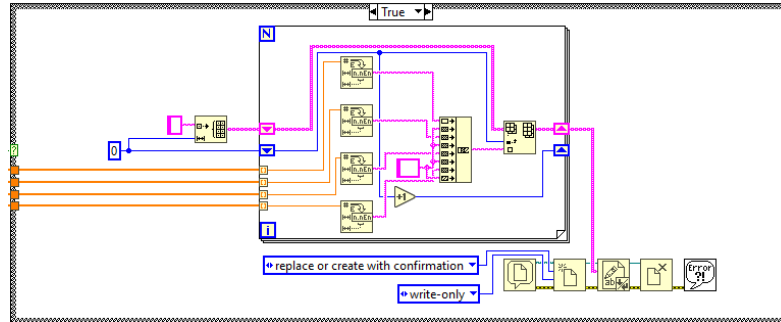


Рисунок 2.6 – Блок сохранения файла данных

Данные сохраняются в виде таблицы (см. рисунок 2.6), где первый столбец отведен для времени (t), второй столбец для переменной (x), третий столбец для переменной (y), а четвертый столбец для переменной (z).

Файл	Правка	Формат	Вид	Справка
6,600000E+3	-1,333405E+0	-8,307679E-1	1,262503E+0	
6,600050E+3	-1,356737E+0	-7,635027E-1	1,249941E+0	
6,600100E+3	-1,377263E+0	-6,951410E-1	1,237504E+0	
6,600150E+3	-1,394981E+0	-6,258232E-1	1,225190E+0	
6,600200E+3	-1,409891E+0	-5,556897E-1	1,212999E+0	
6,600250E+3	-1,421995E+0	-4,848809E-1	1,200930E+0	
6,600300E+3	-1,431296E+0	-4,135369E-1	1,188980E+0	
6,600350E+3	-1,437799E+0	-3,417979E-1	1,177150E+0	
6,600400E+3	-1,441512E+0	-2,698036E-1	1,165437E+0	
6,600450E+3	-1,442443E+0	-1,976931E-1	1,153841E+0	
6,600500E+3	-1,440603E+0	-1,256055E-1	1,142360E+0	
6,600550E+3	-1,436006E+0	-5,367877E-2	1,130993E+0	
6,600600E+3	-1,428668E+0	1,794947E-2	1,119740E+0	
6,600650E+3	-1,418605E+0	8,914262E-2	1,108598E+0	
6,600700E+3	-1,405839E+0	1,597649E-1	1,097567E+0	
6,600750E+3	-1,390391E+0	2,296818E-1	1,086646E+0	
6,600800E+3	-1,372287E+0	2,987598E-1	1,075834E+0	

Рисунок 2.7 – Сохранённые данные

Данные, записанные в файл, могут быть использованы для построения графиков, например, в программе gnuplot или дальнейшей обработки и анализа.

Сечение, представленное на рисунке 2.8, работает следующим образом: если  $x_i > 0$  и  $x_{i-1} < 0$ , то значения переменных y и z записываются и у нас получаются точки.

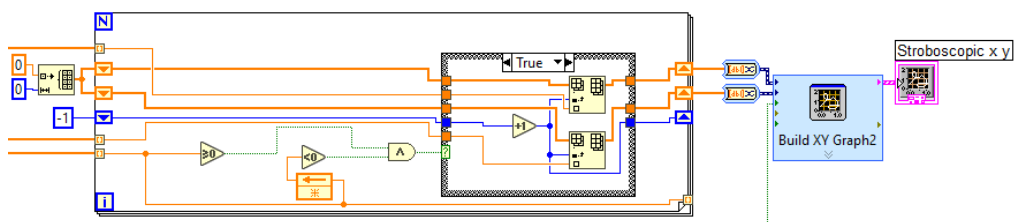


Рисунок 2.8 – Блок вывода сечения



Блок (рисунок 2.9) выполняет сохранение картинки сечения, чтобы его активировать фронтальной панели нажимаем кнопку сохранения сечения

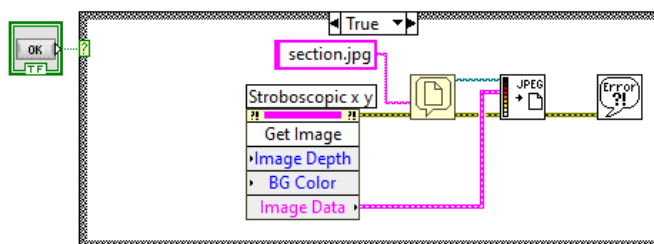


Рисунок 2.9 – Блок сохранения сечения

Пример сохранения сечения представлен на (рис 2.11)

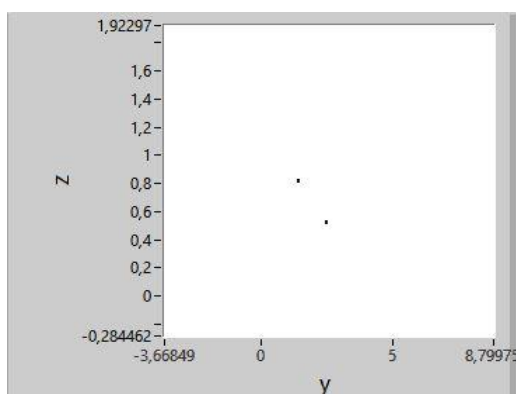


Рисунок 2.11 – Пример сохранение сечение

### 2.2.1 Лицевая часть

Нажимая кнопку СТОП наведя мышкой либо воспользоваться кнопкой на клавиатуре F4, программа заканчивает свою работу, на графике остается последний результат сечения и фазового портрета

При нажатии кнопки Сброс график сечения и фазового портрета избавляется от цикла и показывает корректное сечения

g- Параметр который будет фиксированный в течение всей работы, студент получает от преподавателя значения параметра

m- Изменяемый параметр при выполнении лаб.работы

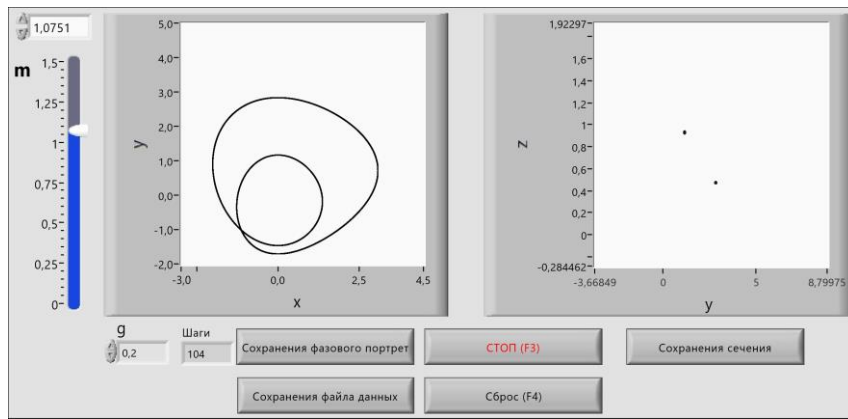


Рисунок 2.2.1 — Лицевая часть

### 3. Порядок выполнения лабораторной работы

Программа предназначена для выполнения заданий лабораторной работы на тему «Генератор с инерционной нелинейностью» в рамках предмета «специализированный практикум» по направлениям 03.03.03 «Радиофизика» и 11.03.02 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи». Разработанная программа GIN.vi позволяет выполнить следующие задания лабораторной работы:

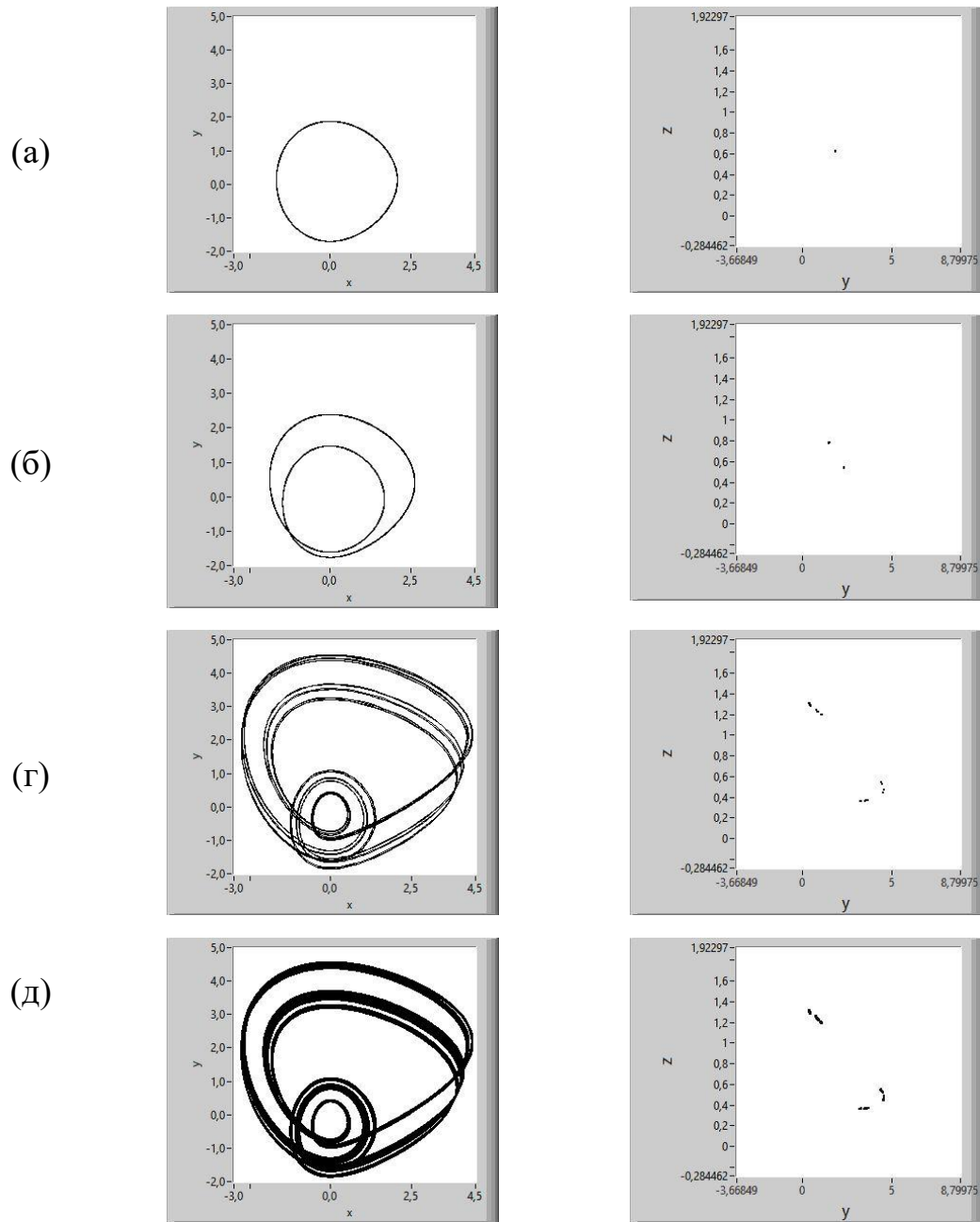
(1) Изучить экспериментально последовательность бифуркаций удвоения периода при вариации параметра  $m$  для фиксированных значений параметра  $g$ .

(2) Рассчитать численно значения параметра  $m_k$  в точках бифуркаций удвоения периода для циклов периода 1, 2, 4, 8 и 16, рождение хаоса. Значения параметра, близкие к бифуркационным, следует искать с помощью программы LabVIEW по фазовым портретам, более точные бифуркационные значения далее определяются по выходным данным программы численного интегрирования.

(3) Оценить значение постоянной Фейгенбаума  $\delta = \frac{m_{k+1} - m_k}{m_{k+2} - m_{k+1}}$  для значений  $k = 4$  и  $8$  в натурном и численном экспериментах. Сравнить полученные результаты с теоретическим значением  $\delta = 4.6692$ .

**Задание 1.** При установке значения фиксированного шага равного 0.2, мы имеем возможность выявить точки бифуркации (1, 2, 4, 8 и 16) и хаос.

Рисунок 3.1- Пример результатов для задания 1



**Задание 2.** Для нахождения бифуркаций удвоения периода для циклов периода 1, 2, 4, 8 и 16 и занесение их в таблицу

k	$m_k$
1	0.96492
2	1.28941

3	1.35981
4	1.38052

Таблица 1 - Бифуркационные значения параметра  $m_k$ , которые соответствуют удвоению периода

3 задание нам так же понадобится таблица, в которую мы будем сравнивать данные значения постоянной Фейгенбаума для значений  $k = 4$  и  $8$  в натурном и численном экспериментах. Сравнить полученные результаты с теоретическим значением  $\delta = 4.6692$ .

$$\delta_k = \frac{m_{k+1} - m_k}{m_{k+2} - m_{k+1}} \quad (3.1)$$

k	$m_k$	$\delta_k$	$\delta_k$
1	0.96492	4.60913	-
2	1.28941	3.39932	-
3	1.35981	-	4.60913
4	1.38052	-	3.39932

Таблица 2 - Бифуркационные значения параметра  $m_k$ , которым соответствуют удвоению периода, постоянная Фейгенбаума  $\delta_k$

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработана программа на основе среды LabVIEW для проведения лабораторной работы по теме "Генератор с инерционной нелинейностью". Программа позволяет избежать повторения результатов исследования, сохранять графики и данные, обеспечивая удобство для студентов. Полученные результаты подтверждают свойства генератора как неравновесной динамической системы. Программа успешно прошла тестирование и подтвердила ее пригодность для направлений 03.03.03 "Радиофизика" и 11.03.02 "Инфокоммуникационные технологии и системы связи".

## Список использованных источников

1. Анищенко В.С., Сложные колебания в простых системах. – М.: Наука, 1990 (2-е изд. М.: УРСС, 2009)
2. Теодорчик К.Ф., Автоколебательные системы с инерционной нелинейностью. ЖТФ, 1946. – Т. 16, вып. 7. – С. 845–854.
3. Van der Pol, B. (1926). "The nonlinear theory of electrical oscillations". Proceedings of the Institute of Radio Engineers, 14(6): 1055-1086.
4. Анищенко В.С., Астахов В.В., Экспериментальное исследование механизма возникновения и структуры странного аттрактора в генераторе с инерционной нелинейностью. Радиотехника и электроника, 1983. – Т. 28, N 6. – С. 1109–1115.
5. Анищенко В.С., Астахов В.В., Вадивасова Т.Е., Генератор Анищенко–Астахова как одна из базовых моделей детерминированного хаоса. Известия СГУ. Сер. "Физика", 2005. – Т. 5, N 1. – С. 54-67.
6. Афраимович В.С., Выхужанин В.Н., Романовский Ю.М. Странные аттракторы в динамических системах с отображениями плоскости. М.: Физматлит, 2000.
7. Глызин С.Д., Ижболдин П.А. Структуры динамических систем. М.: МЦНМО, 2019.
8. Мэй Э.К. Элементы хаоса. М.: Мир, 2008.
9. Отто С. Введение в динамику хаоса. М.: МЦНМО, 2018.
10. Скаков В.Ю. Бифуркационные диаграммы. Краснодар: Кубанский государственный университет, 2005.
11. Стрельников Г.В. Хаос и устойчивость в нелинейной динамике. М.: Изд-во МГУ, 1996.
12. Johnson, Gary. LabVIEW Graphical Programming. Publisher: Mcgraw-Hill Education, 1997.
13. Bright, Douglas. LabVIEW for Engineers. Publisher: Prentice Hall, 2016.
14. Gendersen, Richard. LabVIEW: Advanced Programming Techniques. Publisher: CRC Press, 2000.
15. Gross, Brian. Data Acquisition Using LabVIEW. Publisher: Prentice Hall, 2003.