**МИНОБРНАУКИ РОССИИ**

**Санкт-Петербургский государственный**

**электротехнический университет**

**«ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)**

**Кафедра САПР**

Курсовая РАБОТА

**по дисциплине «Моделирование нелинейных динамических систем»**

**Тема**: **Синхронизация** **нелинейных динамических систем**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Студентка гр. 1302 |  | Марзаева В.И. |
| Студент гр. 1302 |  | Новиков Г.В. |
| Студентка гр. 1302 |  | Романова О.В. |
| Преподаватель |  | Бабкин И.А. |

Санкт-Петербург

2024

**ЗАДАНИЕ**

**на курсовую работу**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Студенты Марзаева В.И., Новиков Г.В., Романова О.В. | | |
| Группа 1302 | | |
| Тема работы: Синхронизация нелинейных динамических систем | | |
| Исходные данные:  Система Рёсслера с начальными условиями a = 0.2, b = 0.2, c = 5.7 | | |
| Содержание пояснительной записки:  «Содержание», «Введение», «Заключение», «Список использованных источников» | | |
| Предполагаемый объем пояснительной записки:  Не менее 15 страниц. | | |
| Дата выдачи задания: 01.12.2024 | | |
| Дата сдачи реферата: 25.12.2024 | | |
| Дата защиты реферата: 25.12.2024 | | |
| Студентка гр. 1302 |  | Марзаева В.И. |
| Студент гр. 1302 |  | Новиков Г.В. |
| Студентка гр. 1302 |  | Романова О.В. |
| Преподаватель |  | Бабкин И.А. |

**Аннотация**

Работа посвящена изучению способов синхронизации хаотических систем на примере системы Рёсслера. Система моделируется двумя методами численного моделирования: КД и неявная средняя точка (IMP). При моделировании строится фазовое пространство системы, и её особые точки. Однонаправленная синхронизация реализована методом Пекоры-Кэролла. При реализации симметричной синхронизации определяются параметры, начальные условия, интервал обратимости и число итераций. В конце работы определяется разница симметричной синхронизации моделей, полученных двумя методами. Результаты могут быть полезны в таких областях, как обработка сигналов, передача данных и моделирование сложных систем.

**Summary**

The work is devoted to the study of synchronization methods for chaotic systems using the Rössler system as an example. The system is modeled by two numerical simulation methods: CD and implicit midpoint (IMP). During the simulation, the phase space of the system and its singular points are constructed. Unidirectional synchronization is implemented by the Pecora-Carroll method. When implementing symmetric synchronization, the parameters, initial conditions, reversibility interval, and number of iterations are determined. At the end of the work, the difference in symmetric synchronization of the models obtained by the two methods is determined. The results can be useful in such areas as signal processing, data transmission, and modeling of complex systems.

СОДЕРЖАНИЕ

[Введение 5](file:///C:\Users\novik\Downloads\Telegram%20Desktop\МНДС_Курсовая_Новиков_Романова_Марзаева_2.docx#_Toc185904152)

[1. Моделирование системы 6](file:///C:\Users\novik\Downloads\Telegram%20Desktop\МНДС_Курсовая_Новиков_Романова_Марзаева_2.docx#_Toc185904153)

[1.1. Описание системы 6](file:///C:\Users\novik\Downloads\Telegram%20Desktop\МНДС_Курсовая_Новиков_Романова_Марзаева_2.docx#_Toc185904154)

[1.2. Метод КД 7](file:///C:\Users\novik\Downloads\Telegram%20Desktop\МНДС_Курсовая_Новиков_Романова_Марзаева_2.docx#_Toc185904155)

[1.3. Метод неявной средней точки 7](file:///C:\Users\novik\Downloads\Telegram%20Desktop\МНДС_Курсовая_Новиков_Романова_Марзаева_2.docx#_Toc185904156)

[2. Однонаправленная синхронизацию двух систем методом Пекоры-Кэролла 8](file:///C:\Users\novik\Downloads\Telegram%20Desktop\МНДС_Курсовая_Новиков_Романова_Марзаева_2.docx#_Toc185904157)

[2.1. Синхронизация систем 8](file:///C:\Users\novik\Downloads\Telegram%20Desktop\МНДС_Курсовая_Новиков_Романова_Марзаева_2.docx#_Toc185904158)

[2.2. Определение оптимального коэффициента синхронизации 11](file:///C:\Users\novik\Downloads\Telegram%20Desktop\МНДС_Курсовая_Новиков_Романова_Марзаева_2.docx#_Toc185904159)

[3. Симметричная (прямо-возвратная) синхронизация 15](file:///C:\Users\novik\Downloads\Telegram%20Desktop\МНДС_Курсовая_Новиков_Романова_Марзаева_2.docx#_Toc185904160)

[4. Разница симметричной синхронизации моделей 16](file:///C:\Users\novik\Downloads\Telegram%20Desktop\МНДС_Курсовая_Новиков_Романова_Марзаева_2.docx#_Toc185904161)

[Заключение 17](file:///C:\Users\novik\Downloads\Telegram%20Desktop\МНДС_Курсовая_Новиков_Романова_Марзаева_2.docx#_Toc185904162)

[Список использованных источников 18](file:///C:\Users\novik\Downloads\Telegram%20Desktop\МНДС_Курсовая_Новиков_Романова_Марзаева_2.docx#_Toc185904163)

Введение

Хаотические системы играют важную роль в нелинейной динамике благодаря их высокой чувствительности к начальным условиям и широкому спектру применений. Одной из таких систем является аттрактор Рёсслера, который демонстрирует сложное и непредсказуемое поведение. Изучение таких систем позволяет разрабатывать эффективные методы синхронизации, что особенно важно для задач связи, обработки сигналов и прогнозирования.

В данной работе мы исследуем систему Рёсслера, применяя методы численного моделирования и синхронизации. Полученные результаты могут быть полезны для приложений, связанных с хаотической передачей данных и моделированием сложных динамических процессов.

Актуальность темы обусловлена тем, что понимание хаотических систем открывает возможности для их использования в таких областях, как связь, нейроморфные системы и исследования сложных нелинейных взаимодействий.

**1. Моделирование системы**

**1.1. Метод КД**

Начальные условия – (0, 0, 0)

Шаг –

Время моделирования – 100 с

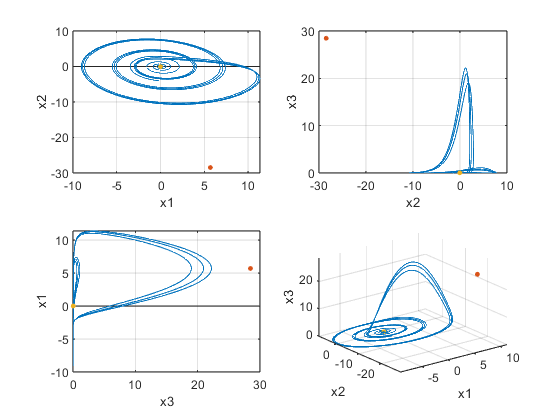


Рис. 1. CD

**1.2. Метод неявной средней точки**

Начальные условия – (0, 0, 0)

Шаг –

Время моделирования – 100 с

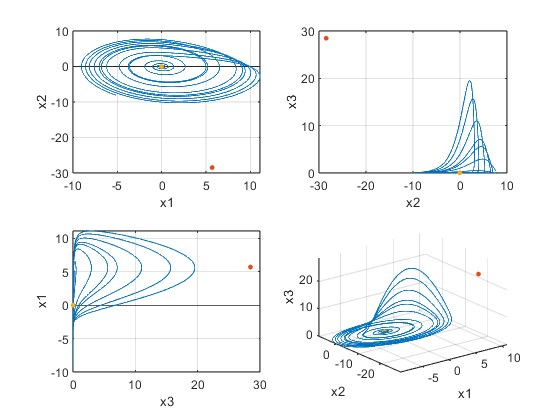


Рис. 2. IMP

**2. однонаправленная синхронизация двух систем методом Пекоры-Кэролла**

**2.1. Синхронизация систем**

Зададим 2 системы Рёсслера с разными начальными условиями – система master и система slave и реализуем однонаправленную синхронизацию.

Начальные условия:

Master – (0, 0, 0)

Slave – (1, 2, 3)

Шаг –

Вектор коэффициентов K для системы slave – (0, 0.5, 0).

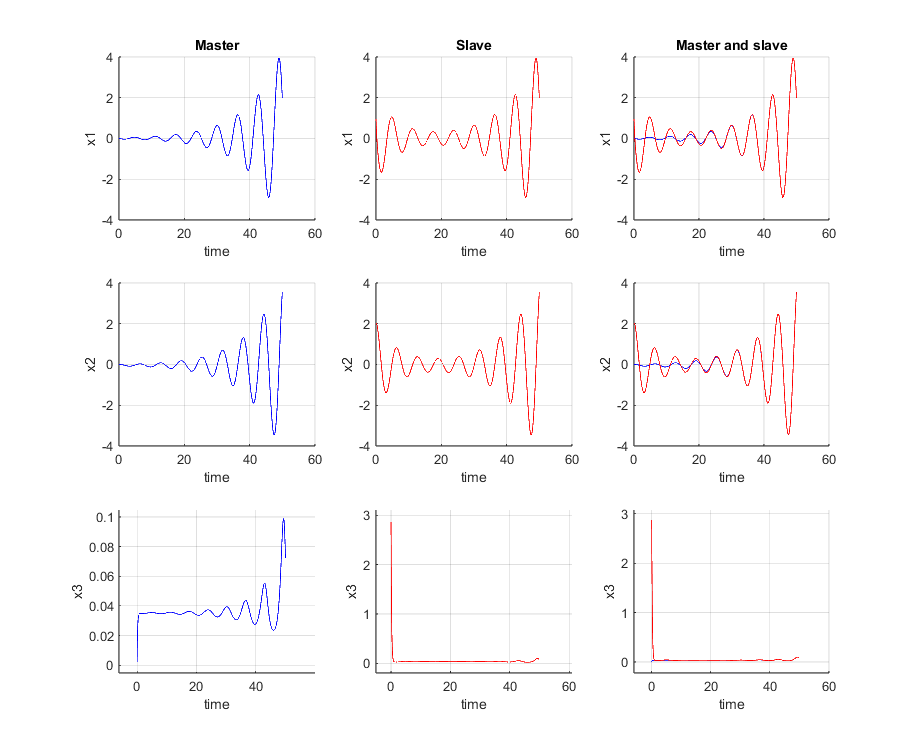


Рис. 3. CD. Временная область

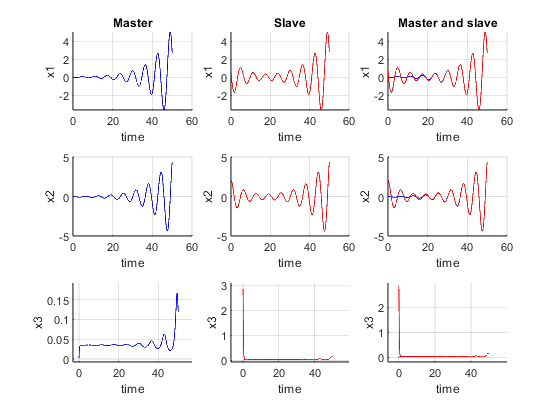


Рис. 4. IMP. Временная область

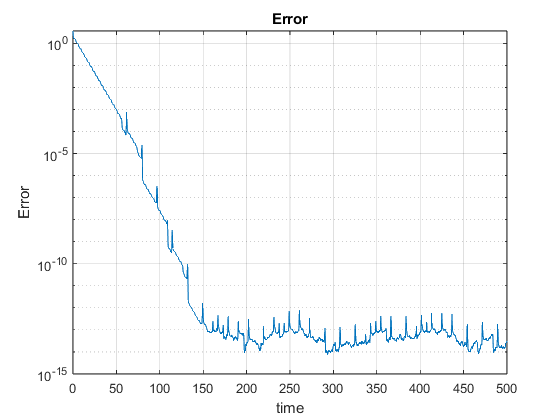


Рис. 3. CD, погрешность

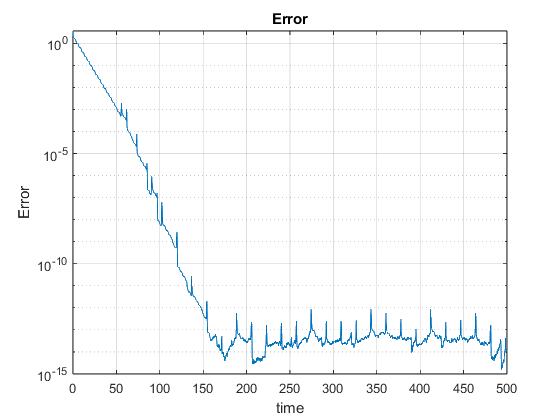


Рис. 4. IMP, погрешность

Погрешность уменьшается до примерно за 130 – 150 секунд.

**2.2. Определение оптимального коэффициента синхронизации**

Массив коэффициентов синхронизации может принимать один из следующих видов:

*.*

Построим графики зависимости времени, за которое ошибка становится меньше заданного значения , от параметра k для каждого из вариантов. Время моделирования – 100, шаг – , , шаг изменения k – . На графиках значения, при которых ошибка синхронизации не достигла значения err, не выводятся.

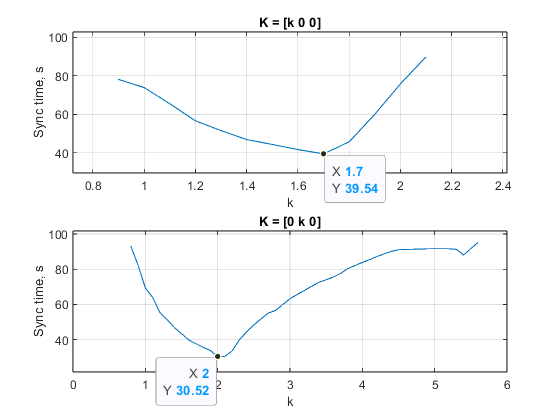


Рис. 5. Зависимость времени синхронизации от параметра синхронизации, метод CD

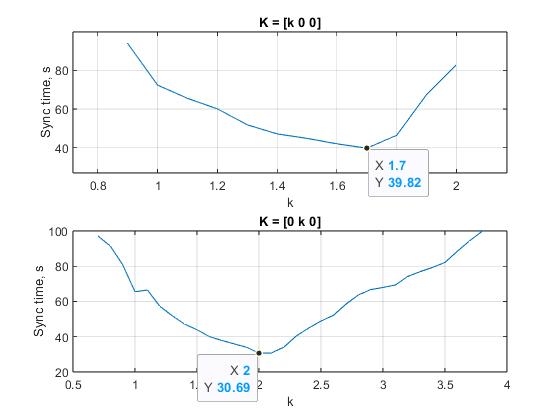


Рис. 6. Зависимость времени синхронизации от параметра синхронизации, метод IMP

Для варианта ошибка не достигает заданного значения err в течение 100 секунд.

Примерные значения оптимальных коэффициентов для обоих методов:

,

.

Ошибка меньше при . Для нахождения оптимального вектора коэффициентов K воспользуемся программными средствами для поиска минимума.

Оптимальный коэффициент для обоих методов с точностью до сотых:

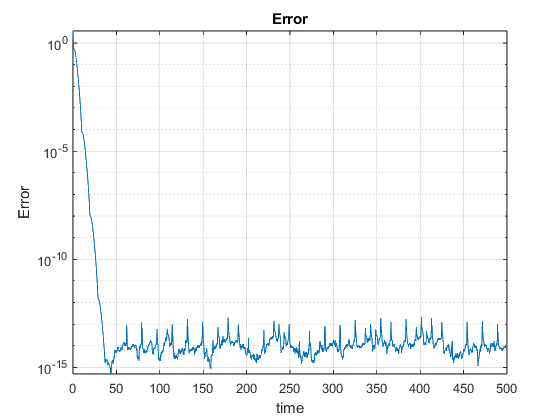


Рис. 7. CD, погрешность с оптимальным коэффициентом

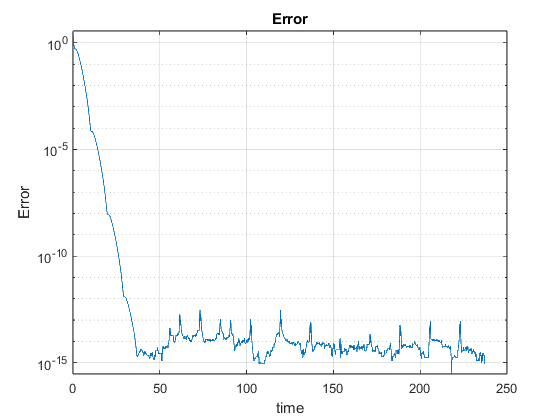


Рис. 8. IMP, погрешность с оптимальным коэффициентом

Погрешность уменьшается до примерно за 30 – 40 секунд, что в 4 – 5 раза лучше предыдущего результата.

**3. симметричная (прямо-возвратная) синхронизация**

**3.1. Метод CD**

Начальные условия:

Master – (0, 0, 0)

Slave – (3, -3, 0)

Шаг –

Вектор коэффициентов Kforward – (0, 2, 0)

Вектор коэффициентов Kbackward – (0, 10, 0)

Число итераций – 100

Время моделирования – 1000 с

Размер окна синхронизации – 1 с.

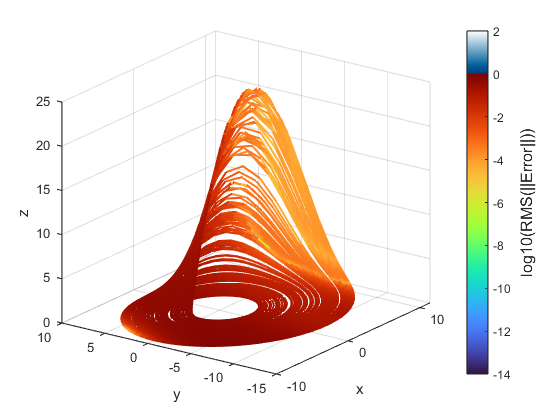
****

Рис. 9. Фазовое пространство и изменение ошибки (показано цветом)

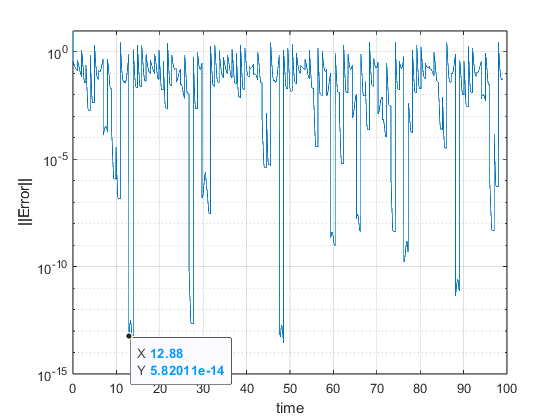
****

Рис. 10. Ошибка синхронизации

На графике можно наблюдать резкие скачки ошибки. Если остановить синхронизацию, когда ошибка станет небольшой, и дальше моделировать систему без синхронизации, можно получить следующий результат:

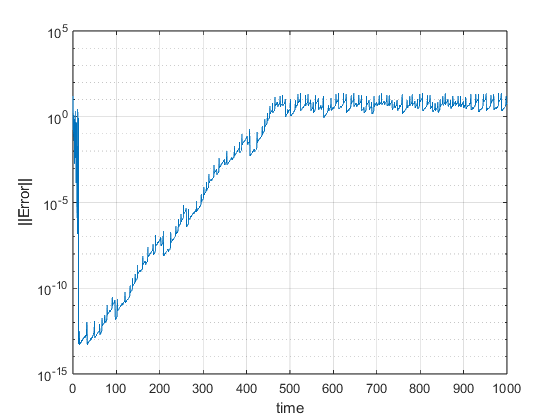


Рис. 11. До 12 секунд – симметричная синхронизация, далее – моделирование методом КД

**заключение**

Кратко подвести итоги, проанализировать соответствие поставленной цели и полученного результата.

Список использованных источников

1. Бутусов Д.Н., Рыбин В.Г., Каримов А.И. СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2024. 10 с. «Fast Time-Reversible Synchronization of Chaotic Systems».