МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

«ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра «Электрические станции»

**ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА**

к курсовой работе по дисциплине:

«МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ И МОДЕЛИ»

студента II курса группы ЭС-23

направления подготовки 13.03.02 «Электрические станции»

Колотко И.А.

Руководитель: старший преподаватель Сергиенко А. С.

Донецк - 2025

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

«ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Факультет Электротехнический Кафедра «Электрические станции»

Специальность: Электрические станции

**Задание**

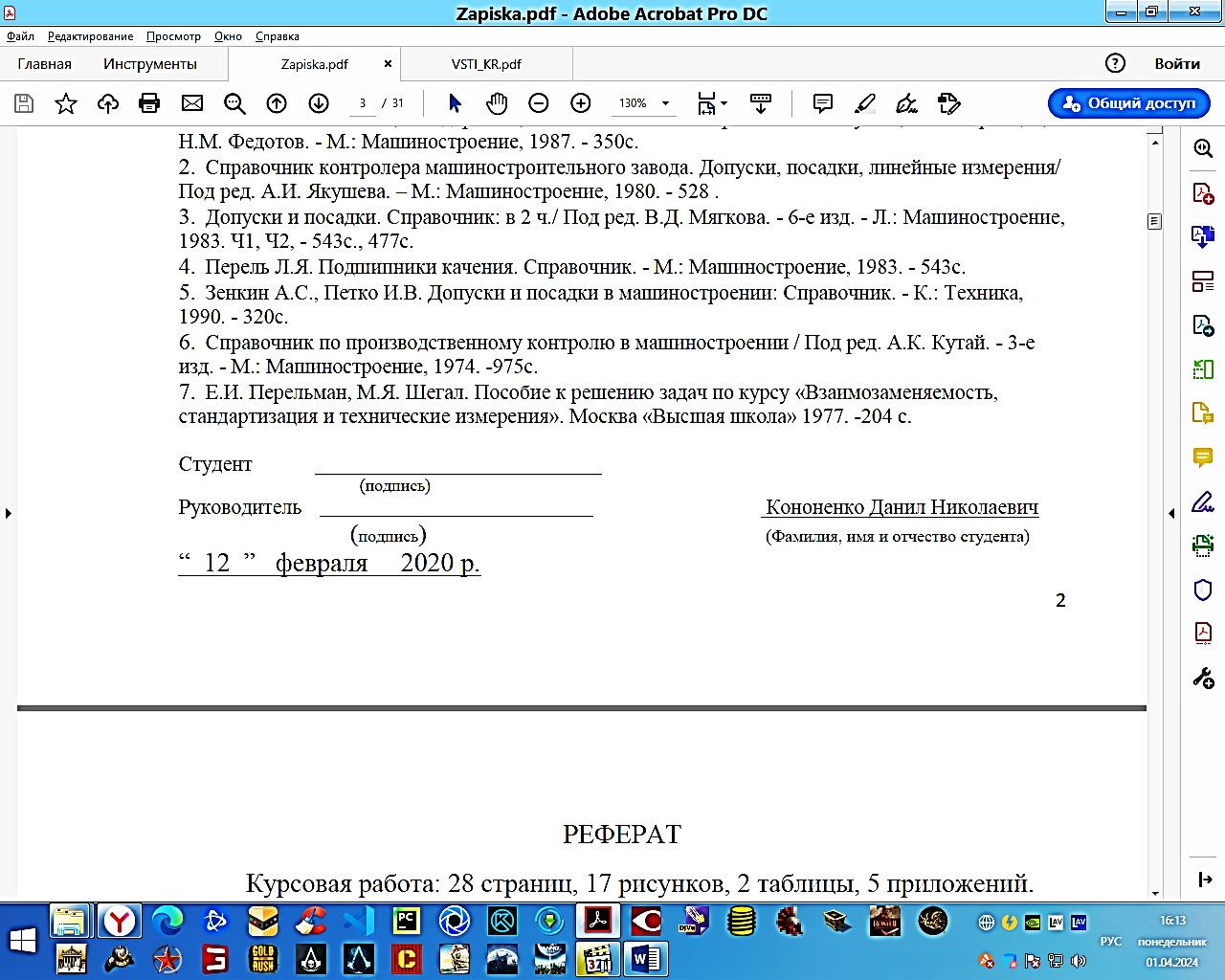
на курсовую работу студента

**Колотко Игоря Александровича**

**Тема**: «Моделирование электротехнических схем» (вариант №3)

**Календарный план**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| № п/п | Этапы курсовой работы | Сроки выполнения | Примечания |
| 1 | Выдача задания | 16.02-20.02 |  |
| 2 | Теоретические основы моделирования элементов электротехнических схем | 21.02-28.03 |  |
| 3 | Реализация методов решения дифференциальных уравнений на основе современных программных пакетов | 29.03-25.04 |  |
| 4 | Использование приложения SimScape программного пакета MATLAB для моделирования работы электрических схем | 25.04-1.05 |  |
| 5 | Анализ результатов | 2.05-15.05 |  |
| 6 | Оформление КР | 16.05-22.05 |  |
| 7 | Защита КР | 23.05-29.05 |  |

Колотко И.А.

(фамилия, имя и отчество студента)

Сергиенко А. С.

(фамилия, имя и отчество руководителя)

«02» июнь 2025 г.

**РЕФЕРАТ**

Пояснительная записка содержит 28 страниц, 29 рисунков, 5 ссылок.

Объект работы: математическая модель электротехнической схемы.

Цель работы: исследование переходных и установившихся процессов заданной схемы на основе полных дифференциальных уравнений её элементов.

В результате работы была составлена система дифференциальных уравнений заданной схемы, разработан алгоритм и программа их решения. Исследованы переходные процессы заданной схемы при её постоянных параметрах для режима включения на постоянном и переменном токах.

Выполненные расчёты подтвердили правильность теоретических знаний, полученных на курсе ТОЭ.

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ, МОДЕЛИРОВАНИЕ, МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ, ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЕ УРАВНЕНИЕ, ЧИСЛЕННЫЙ МЕТОД, ПЕРЕХОДНЫЙ ПРОЦЕСС, MATLAB, ОДУ, MATHCAD, SIMPOWERSYSTEM

Содержание

[Введение 5](#_Toc199801704)

[1 Теоретические основы моделирования элементов электротехнических схем 6](#_Toc199801705)

[1.1 Включение RL-цепи на постоянное и переменное напряжение 6](#_Toc199801706)

[1.2 Включение RС-цепи на постоянное и переменное напряжение 10](#_Toc199801707)

[1.3 Составление системы дифференциальных уравнений для описания электротехнической схемы 13](#_Toc199801708)

[2 Реализация методов решения дифференциальных уравнений на основе современных программных пакетов 15](#_Toc199801709)

[2.1 Теоретические основы численных методов решения дифференциальных уравнений 15](#_Toc199801710)

[2.1.1 Метод Эйлера 15](#_Toc199801711)

[2.1.2 Метод Рунге-Кутта 17](#_Toc199801712)

[2.2 Реализация методов решения дифференциальных уравнений в программном пакете MATLAB для описания переходных процессов в электрических схемах 17](#_Toc199801713)

[2.2.1 Основные решатели MATLAB 18](#_Toc199801714)

[2.2.2 Пример решения ОДУ в MATLAB 19](#_Toc199801715)

[2.2.3 Пример моделирования электрической цепи в Simulink 20](#_Toc199801716)

[2.3 Реализация методов решения дифференциальных уравнений в программном пакете MATHCAD для описания переходных процессов в электрических схемах 22](#_Toc199801717)

[3 Использование приложения SimPowerSystem программного пакета MATLAB для моделирования работы электрических схем 26](#_Toc199801718)

[3.1 Описание возможностей приложения SimPowerSystem 26](#_Toc199801719)

[3.2 Моделирование процессов в электрических схемах с использованием возможностей SimPowerSystem 27](#_Toc199801720)

[Вывод 33](#_Toc199801721)

[Список использованных источников 35](#_Toc199801722)

# **Введение**

Моделирование переходных процессов в электротехнических системах основано на построении математических моделей, описывающих динамику токов и напряжений при внешних воздействиях. Такой анализ позволяет определить ключевые временные параметры: длительность нарастания сигнала, время стабилизации и уровень перерегулирования. Для реализации этих задач применяются специализированные программные комплексы (MATLAB, Simulink, MicroCap), обеспечивающие визуализацию результатов через графики и таблицы. Данное исследование направлено на изучение методов математического моделирования электроцепей и их практического внедрения с использованием современных вычислительных инструментов, включая MATLAB и Mathcad.

Теоретический раздел посвящён основам анализа RL- и RC-цепей при постоянном и переменном токе, а также разработке систем дифференциальных уравнений для описания электродинамики схем. Эти модели служат для прогнозирования поведения систем в различных режимах и оценки влияния параметров на характеристики цепей.

Численные методы включают практическую реализацию алгоритмов Эйлера и Рунге-Кутта для решения дифференциальных уравнений. Подробно разбираются их теоретические принципы и применение в MATLAB/Mathcad для симуляции переходных процессов, что обеспечивает высокую точность при моделировании сложных динамических систем.

Прикладной аспект охватывает использование модуля SimPowerSystem в MATLAB для имитации работы электроцепей. Этот интегрированный инструмент позволяет проводить комплексный анализ стационарных и переходных режимов, моделировать реальные сети и исследовать их устойчивость.

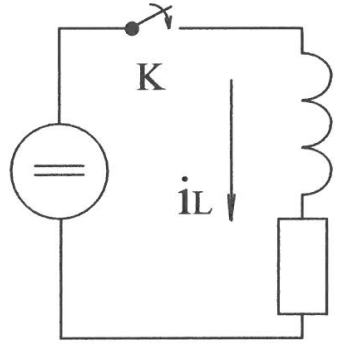
Итогом работы становится систематизация знаний в области математического моделирования электротехнических систем, предоставляющая базу для проектирования и оптимизации энергетических комплексов с применением автоматизированных расчётов.

# **1 Теоретические основы моделирования элементов электротехнических схем**

## **1.1 Включение RL-цепи на постоянное и переменное напряжение**

Пример подключения RL-цепи в цепь к источнику постоянного напряжения:

Исходные параметры: E = 10 В, R = 1 Ом, L = 0,001 Гн



R = 1 Ом

L = 0,001 Гн

Е = 10 В

Рисунок 1 –RL – цепь

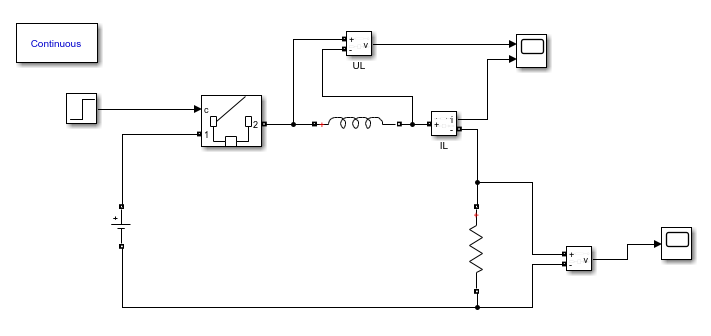


Рисунок 2 – Схема рисунка 1 в SPS на постоянном напряжении

Любое изменение в электрической цепи приводит к изменению магнитного поля и потока самоиндукции, что в свою очередь вызывает электродвижущую силу, известную как ЭДС самоиндукции. Ориентация этой ЭДС определяется согласно правилу Ленца. Когда сила тока увеличивается, т.е. при di / dt > 0, она положительна и направлена в том же направлении, что и ток.

Электрическая сила самоиндукции определяется по формуле:

, (1.1)

Вследствие эффекта самоиндукции, связь между током и напряжением в цепи с изменяющимся током не определяется законом Ома (I = E / R), а регулируется вторым законом Кирхгофа.

В соответствии со схемой на рисунке 1, возникновение электрического тока в цепи сопровождается возникновением ЭДС самоиндукции. Следовательно, необходимо писать:

, (1.2)

или с учетом (1.1):

, (1.3)

В момент включения тока в катушке индуктивности () он не может изменяться скачком в соответствии с первым законом коммутации.

Согласно с (1.2), , ЭДС должна принимать наибольшее значение равное Е, и быть направленна в противоположную сторону (di / dt > 0). Очевидно, что скорость роста тока в этот момент будет наибольшей ().

Появление в цепи тока означает появление напряжения i, согласно (1.2) уменьшение , что возможно только при уменьшении скорости роста тока. Таким образом скорость роста тока постепенно уменьшается и . Когда ток достигает конечного значения , рост силы тока уменьшится и ЭДС индексироваться не будет.

Скорость выравнивая тока в цепи прямо пропорционально соотношению . Величина называется постоянной времени цепи.

Выделим его производную в левой части уравнения (1.3):

, (1.4)

Таким образом для вычисления тока как функции от времени по сути необходимо решить дифференциальное уравнение (1.4).

Точный аналитическое решение этого уравнения имеет вид:

, (1.5)

График функции построенное по формуле 1.5 представлен на рисунке 3.

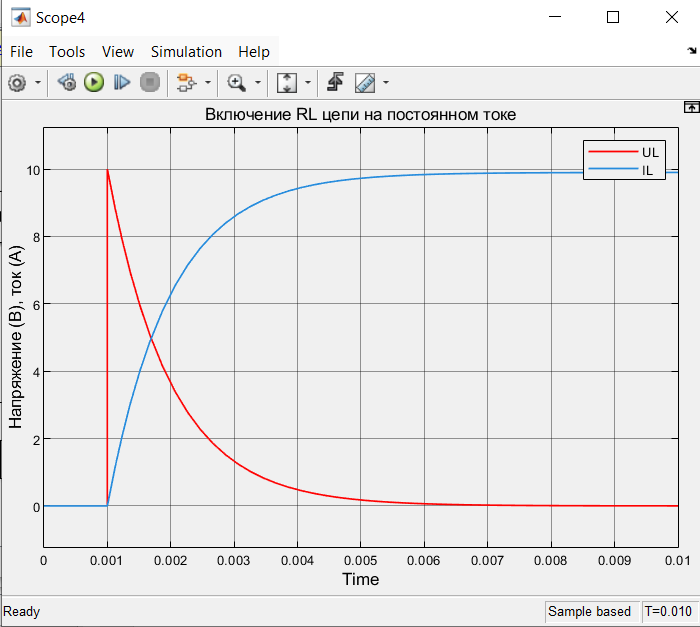


Рисунок 3 – Результат моделирования схемы на постоянном напряжении в осциллографе

При включении RL-цепи (рис. 1) на переменное напряжение:

, (1.6)

Начинается переходный процесс. Переходный ток можно представить из 2x составляющих: принудительного и свободного тока. Принудительный ток будет синусоидальным:

, (1.7)

Закон изменения свободного тока зависит только от параметров цепи:

, (1.8)

Свободный ток в начальный момент согласно первому закону коммутации равен:

, (1.9)

Принуждений ток в этот же момент времени равен:

, (1.10)

Можно вывести и значение свободного тока в начальный момент:

, (1.11)

Из этой формулы можно вывести:

, (1.12)

, (1.13)

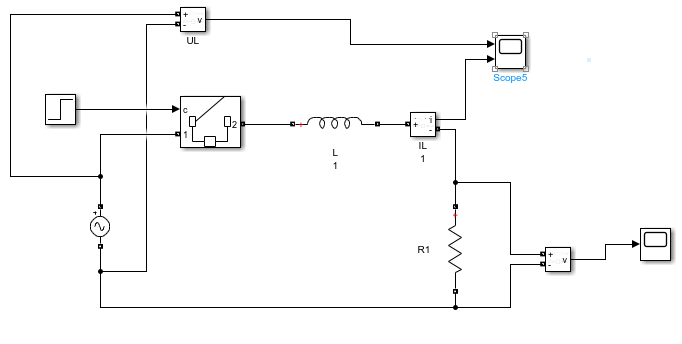


Рисунок 4 - Схема рисунка 1 в SPS на переменном напряжении

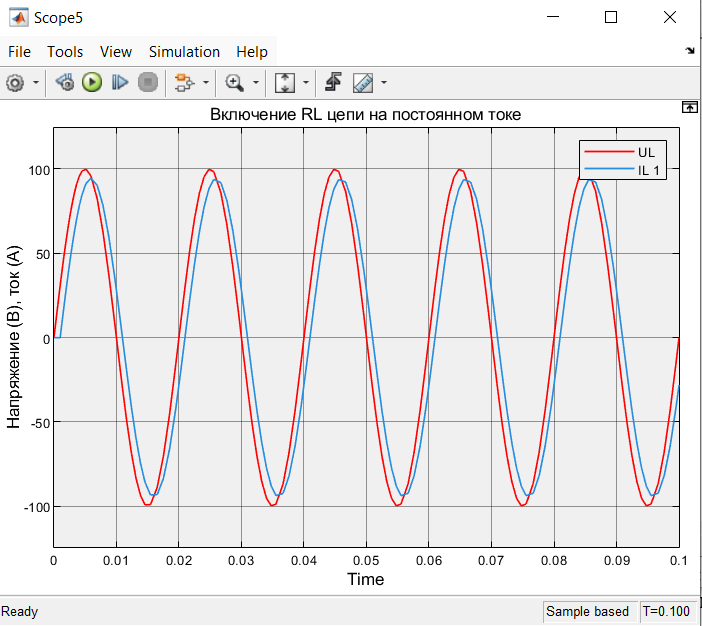
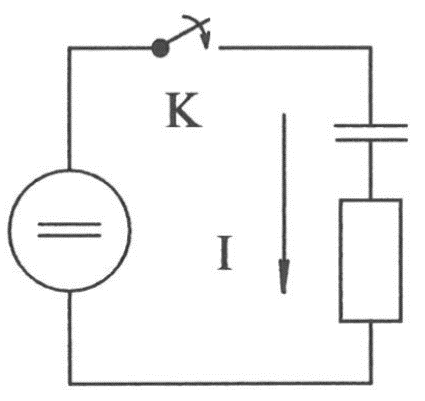


Рисунок 5 - Результат моделирования схемы RL на переменном напряжении в осциллографе

Форма графика осциллографа указывает на синусоидальный ток со сдвигом фаз. Это указывает на что напряжение опережает по фазе ток на угол по времени t.

## **1.2 Включение RС-цепи на постоянное и переменное напряжение**

Рассмотрим пример включение RС-цепи в цепочку с постоянным напряжением:



R = 1 Ом

С = 0,001 Ф

Е = 10 В

Рисунок 6 – RC цепь

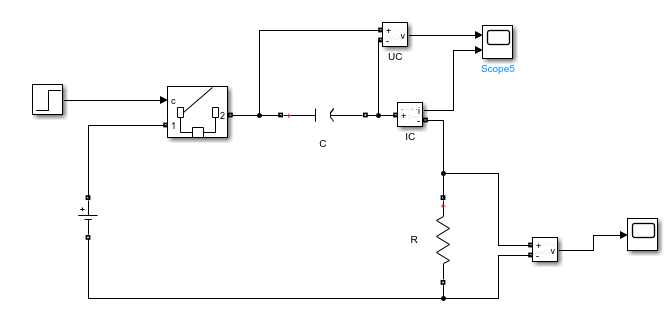


Рисунок 7 - Схема рисунка 6 в SPS на постоянном напряжении

В момент включения конденсатор еще не заряжен, напряжение на нём равно нулю, оно не может изменяться скачком согласно 2 закону коммутации. Падение напряжение на R равняется Е, начальное значение тока определяется по формуле .

Ход тока сопровождается постепенным накоплением заряда Q, на конденсаторе, появляется напряжение , падение напряжения на сопротивлении уменьшается по второму закону Кирхгофа . Таким образом ток будет уменьшатся, также будет уменьшатся и скорость накопления заряда Q, поскольку . Скорость протекания процесса характеризуется постоянной времени цепи .

По второму закону Кирхгофа (указан выше), и согласно при замкнутом ключе:

, (1.14)

Выделим левую часть уравнения (1.6):

, (1.15)

Приведем уравнение (1.7) к точному наличному виду:

где - постоянная времени.

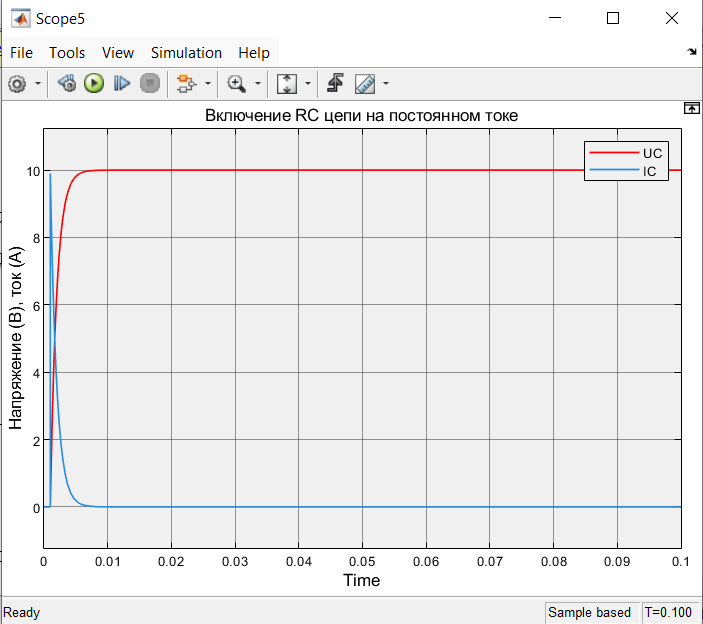


Рисунок 8 - Результат моделирования схемы RC на постоянном напряжении в осциллографе

При включении RС-цепи на переменное напряжение происходит возникновение переходных процессов.

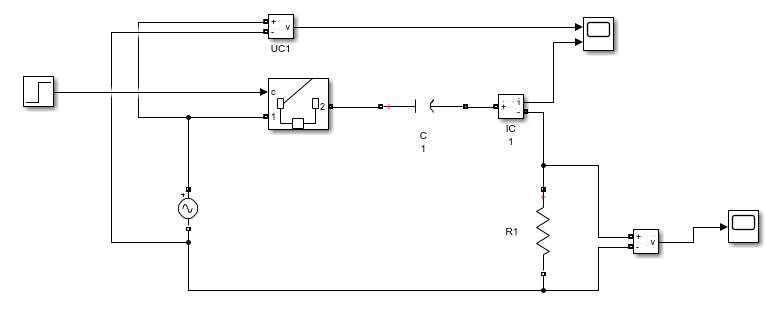


Рисунок 9 - Схема рисунка 6 в SPS на переменном напряжении

В этом случае, уравнение колебаний в контуре без активного сопротивления имеет вид:

q = C ∙ U0 ∙ sin(ωt), (1.16)

где q - заряд на обкладке конденсатора;

C - ёмкость конденсатора;

U0 - амплитуда переменного напряжения;

ω - угловая частота.

Дифференциальное уравнение, описывающее заряд и разряд конденсатора под воздействием переменного напряжения в RC-цепи, имеет вид:

CR ​+ U = δ, (1.17)

где CR — постоянная времени RC-цепи;

U — напряжение на конденсаторе;

δ — изменение напряжения источника.

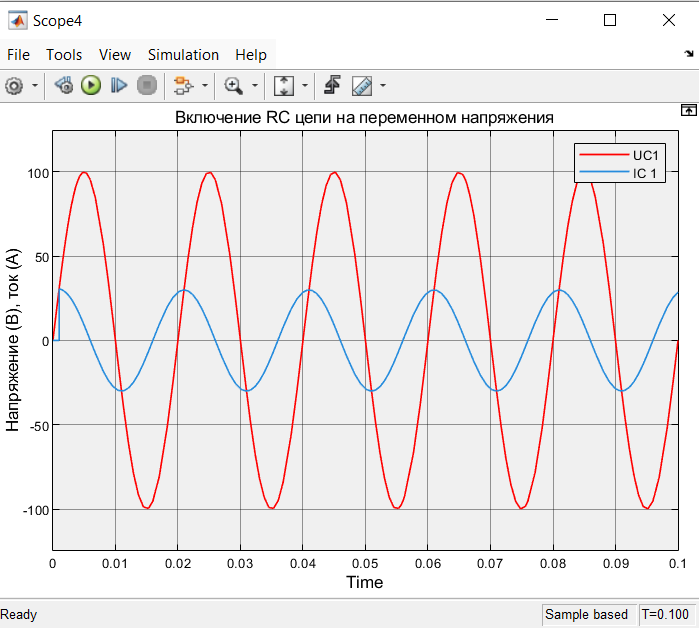


Рисунок 10 - Результат моделирования схемы RC на переменном напряжении в осциллографе

Данный график отражает изменение заряда на конденсаторе во времени.

## **1.3 Составление системы дифференциальных уравнений для описания электротехнической схемы**

В качестве примера для составления дифференциальных уравнений для описания электротехнических схем, рассмотрим схему на рисунке 11.

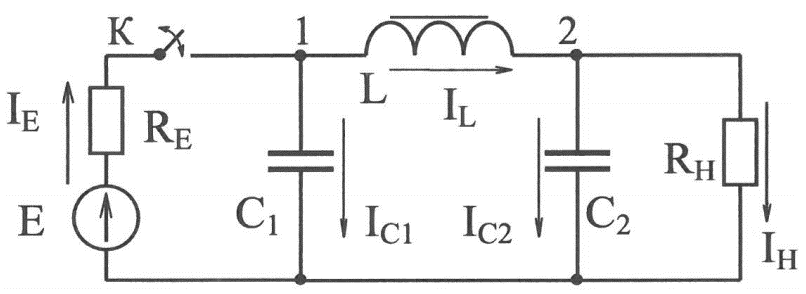


Рисунок 11 - Изначальная схема

Составим уравнение по второму закону Кирхгофа для контура :

, (1.18)

Напряжение на обмотке конденсатора (в узле 1) определяется уравнением:

, (1.19)

Напряжение на обмотке конденсатора определяется аналогично:

, (1.10)

Для решения уравнений необходимо выразить токи через интегральные переменные .

Для контура :

Е = RE IE + UC1 → , (1.20)

Для контура:

, (1.21)

Для первого и второго узла по первому закону Кирхгофа:

, (1.22)

, (1.23)

Подставим все формулы выше в систему:

(1.24)

Выделим в левой части производные и преобразуем систему:

, (1.25)

# **2 Реализация методов решения дифференциальных уравнений на основе современных программных пакетов**

Дифференциальные уравнения и их системы являются фундаментальным инструментом математического моделирования и широко применяются для описания различных динамических процессов в многочисленных научных областях. В физике они используются для моделирования движения тел, термодинамических явлений и распространения волн. В электротехнике дифференциальные уравнения применяются для анализа цепей переменного тока, электромагнитных полей и систем автоматического управления. В химии они необходимы для изучения скоростей химических реакций и процессов диффузии. Кроме того, такие уравнения находят применение в биологии при моделировании динамики популяций, в экологии для анализа изменений в экосистемах, а также в экономике и социальных науках для исследования трансформаций в экономических системах и общественных структурах. Благодаря этому дифференциальные уравнения и системы представляют собой важный инструмент для исследователей и специалистов, стремящихся глубже понять и оптимизировать разнообразные процессы и явления.

Далее рассмотрим теоретические основы решения дифференциальных уравнений с помощью методов Эйлера и Рунге-Кутта.

## **2.1 Теоретические основы численных методов решения дифференциальных уравнений**

### **2.1.1 Метод Эйлера**

Одним из простейших разностных методов решения обыкновенного дифференциального уравнения является метод Эйлера.

Решим задачу Коши на интервале [t0, tn], выбрав достаточный малый шаг h, построив систему равностоящих точек:

, (2.1)

Для вычисления значения функции в точке следует функцию x = x(t) в окрестности точки разложить в ряд Тейлора:

, (2.2)

Задав малое значение h мы можем пренебречь членами выше второго порядка и с учётом того что можем получить следующую формулу для вычисления приблизительно во значения функции x(t) в точке

, (2.3)

Рассмотрев найденную точку как начальное условия задачи коши, можно написать аналогичную формулу для нахождения функции в точке :

Далее формируем последователь значений в точках по формуле:

, (2.4)

В нахождении по формуле (2.4) и заключается метод Эйлера. Геометрическая интерпретация метода Эйлера состоит в замене интегральной кривой х(t) ломаной М0, М1, М2, ..., Мn, с вершинами Мi(хi; уi,). Звенья ломаной Эйлера Мi,Мi+1, в каждой вершине Мi, имеют направление уi = f(1; х), совпадающее с направлением интегральной кривой х(t) уравнения , проходящей через точку М, (рис. 13). Последовательность ломаных Эйлера при h → 0 на достаточно малом отрезке [хi; хi, + h] стремится к искомой интегральной кривой.

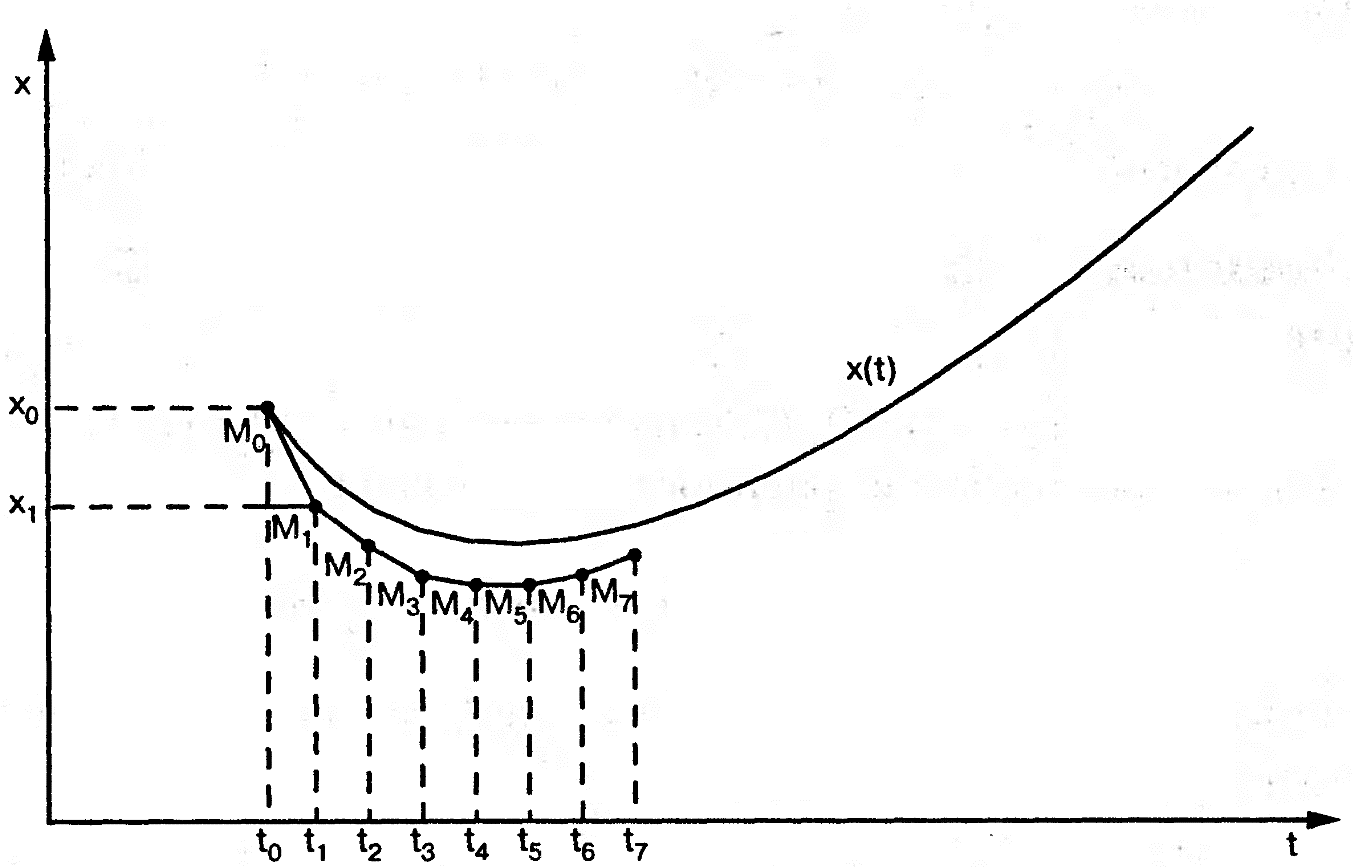


Рисунок 12 - Геометрическая интерпретация метода Эйлера

На каждом шаге решение x(t) определяется с ошибкой из-за отбрасывания членов ряда Тейлора выше первой степени, что в случае быстроменяющейся функции может привести к быстрому накоплению ошибки. В методе Эйлера следует выбирать достаточно малый шаг h.

### **2.1.2 Метод** **Рунге-Кутта**

Для построения вычислительных схем методов Рунге-Кутты четвертого порядка в тейлоровском разложении искомого решения у(х) учитываются члены, содержащие степени шага h до четвертой включительно.

После аппроксимации производных правой части ОДУ f(x, y) получено семейство схем Рунге-Кутты четвертого порядка, из которых наиболее используемой в вычислительной практике является следующая:

где k1 = h f(x0, y0);

k2 = h f(x0 + h / 2, y0 + k1 / 2);

k3 = h f(x0 + h / 2, y0 + k2 / 2);

k4 = h f(x0 + h, y0 + k3).

Данная схема на каждом шаге h требует вычисления правой части ОДУ в четырех точках. Локальная погрешность схемы имеет 5-ый порядок, глобальная - 4-ый. Схема обобщается для систем ОДУ, записанных в форме Коши.

## **2.2 Реализация методов решения дифференциальных уравнений в программном пакете MATLAB для описания переходных процессов в электрических схемах**

Для решения дифференциальных уравнений в MATLAB, особенно для моделирования переходных процессов в электрических схемах, можно использовать различные численные методы, реализованные в виде встроенных решателей. Основные решатели MATLAB для обыкновенных дифференциальных уравнений (ОДУ) включают в себя ode45, ode23, ode113, ode15s, ode23s, ode23t, ode23tb, bvp4c и pdepe.

### **2.2.1 Основные решатели MATLAB**

1. **ode45** — функция MATLAB для решения обыкновенных дифференциальных уравнений (ОДУ) с помощью явного метода Рунге — Кутты четвёртого порядка с адаптивным шагом по времени. Она принимает функцию, задающую ОДУ, и возвращает вектор времени и соответствующие решения.
2. **ode23** — команда MATLAB, решающая ОДУ методом Рунге — Кутты второго и третьего порядков в модификации Богацки и Шампина. Этот метод предназначен для решения нежёстких уравнений и подходит при невысоких требованиях к точности.
3. **ode113** — функция MATLAB для решения ОДУ методом Адамса. Этот неявный метод имеет второй порядок точности. Функция принимает описание ОДУ и возвращает массивы времени и решений.
4. **ode15s** — функция MATLAB для решения ОДУ методом переменного порядка, использующая численное дифференцирование формул (NDF) от 1 до 5 порядка. Этот метод может уступать по эффективности методам Рунге — Кутты. Принимает функцию ОДУ и возвращает время и решения.
5. **ode23s** — функция MATLAB для решения ОДУ методом Рунге — Кутты второго порядка с фиксированным шагом. Подходит для нежёстких задач с невысокой точностью. Возвращает векторы времени и решений.
6. **ode23tb** — функция MATLAB для решения жёстких ОДУ методом Рунге — Кутты второго порядка с переменным шагом, использующая формулу трапеций. Объединяет достоинства методов Рунге — Кутты и Адамса, эффективна при жёстких задачах. Принимает функцию ОДУ и возвращает время и решения.
7. **bvp4c** — функция MATLAB для решения двухточечных краевых задач для ОДУ. Применяет трёхстадийный метод Лобатто с четвёртым порядком точности. Принимает функции, описывающие ОДУ и граничные условия, и возвращает решение.
8. **pdepe** — функция MATLAB для решения задач с частными производными (PDE) методом конечных элементов. Решает начально-граничные задачи для систем параболических и эллиптических PDE в одной пространственной переменной и времени. Принимает функции PDE, начальные и граничные условия, а также сетку точек для вычисления решения.

### **2.2.2 Пример решения ОДУ в MATLAB**

Для решения ОДУ в MATLAB используется следующая базовая структура:

Пример решения обыкновенного дифференциального уравнения (ОДУ) в MATLAB.

1. Создадим функцию, которая описывает ОДУ:

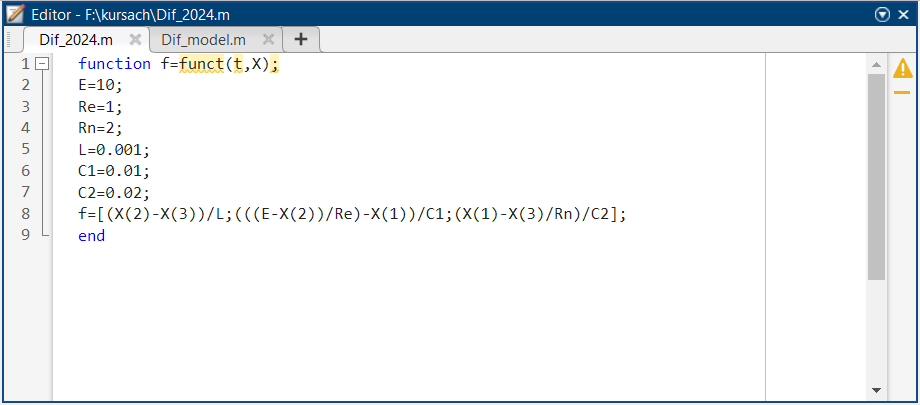


Рисунок 13 – функция описывающая ОДУ

3. Решаем ОДУ с помощью функции ode45 и рисуем график:

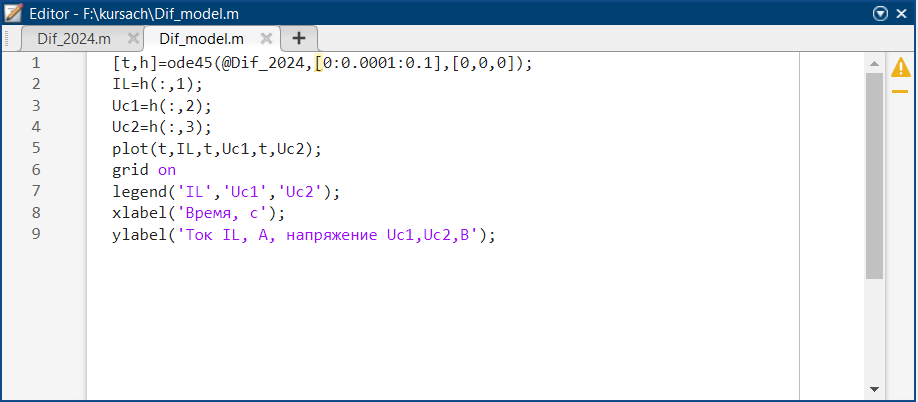


Рисунок 14 – решение ОДУ

В результате выполнения кода будет получено решение ОДУ и построен график зависимости численности от времени.

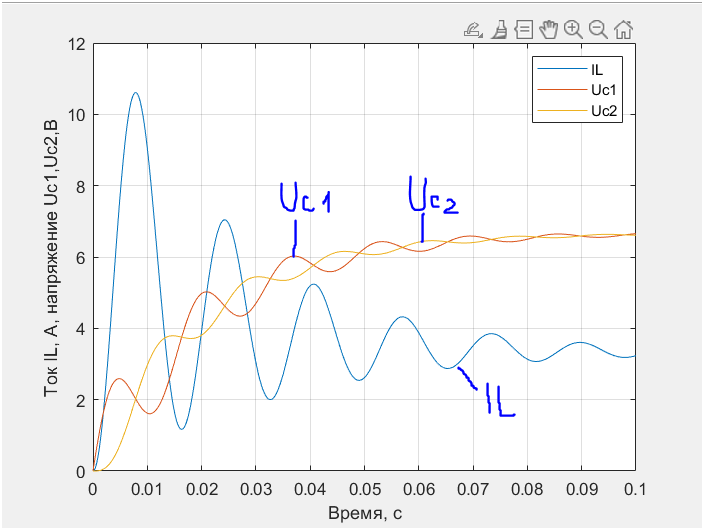


Рисунок 15 – График зависимости

**Переходные процессы в электрических схемах.** Для моделирования переходных процессов в электрических схемах можно использовать пакет расширения SimScape в Simulink, который предлагает библиотеку компонентов для моделирования электрических цепей и устройств управления.

### **2.2.3 Пример моделирования электрической цепи в Simulink**

1. Создание модели: в Simulink создается новая модель, и добавляются необходимые блоки из библиотеки SimPower Systems, такие как источники напряжения, резисторы, индуктивности и емкости.
2. Сборка схемы: соединяются блоки в соответствии с электрической схемой.
3. Настройка параметров: устанавливаются параметры компонентов (номиналы резисторов, индуктивностей, емкостей и т.д.).
4. Запуск моделирования: моделирование запускается, и результаты отображаются на осциллографах и других виртуальных приборах.

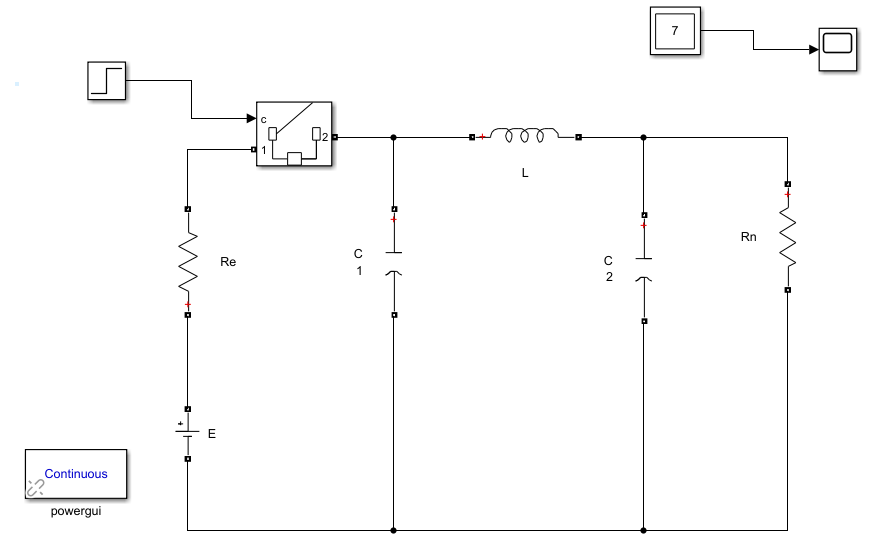


Рисунок 16 – схема собранная в Simulink

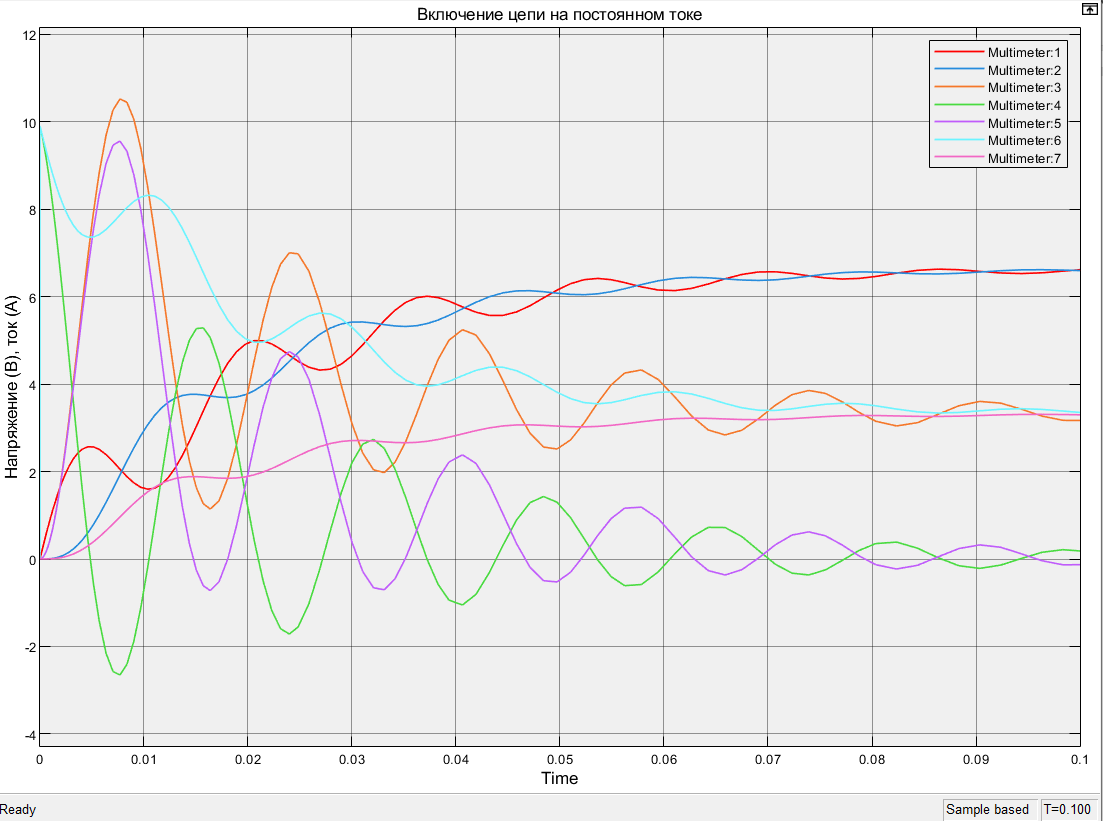


Рисунок 17 – Включение схемы на постоянное напряжение

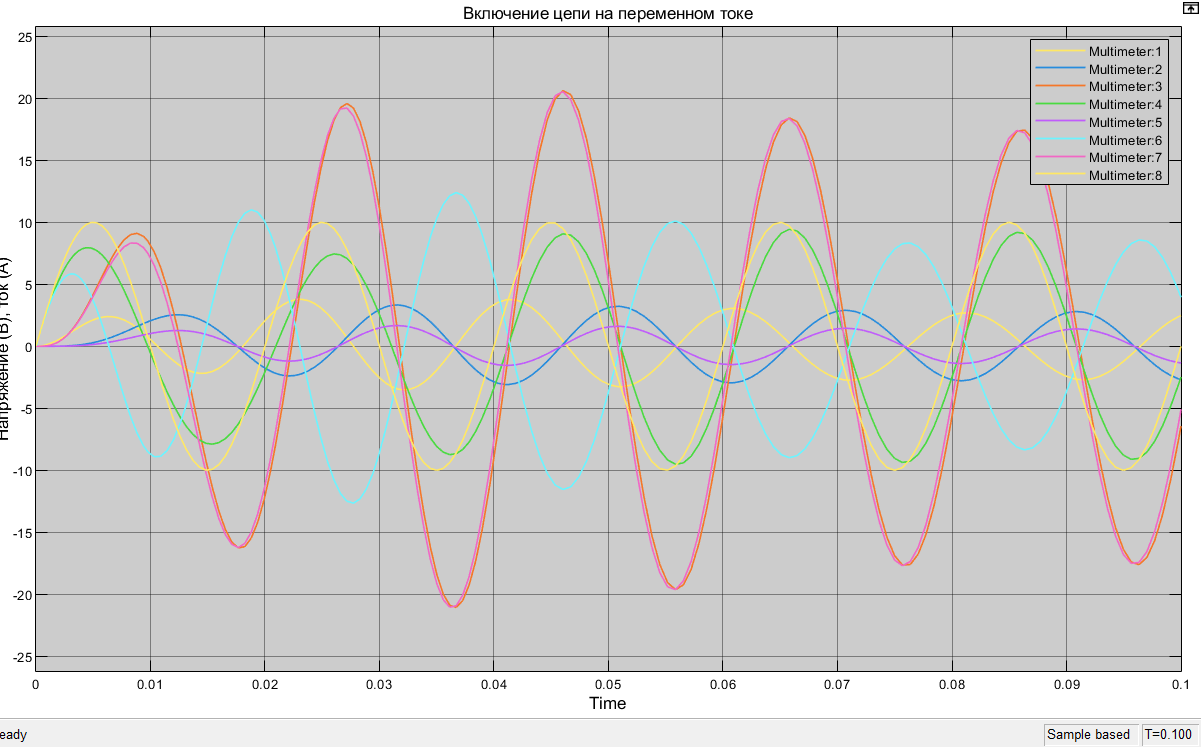


Рисунок 18 – Включение схемы на переменное напряжение при

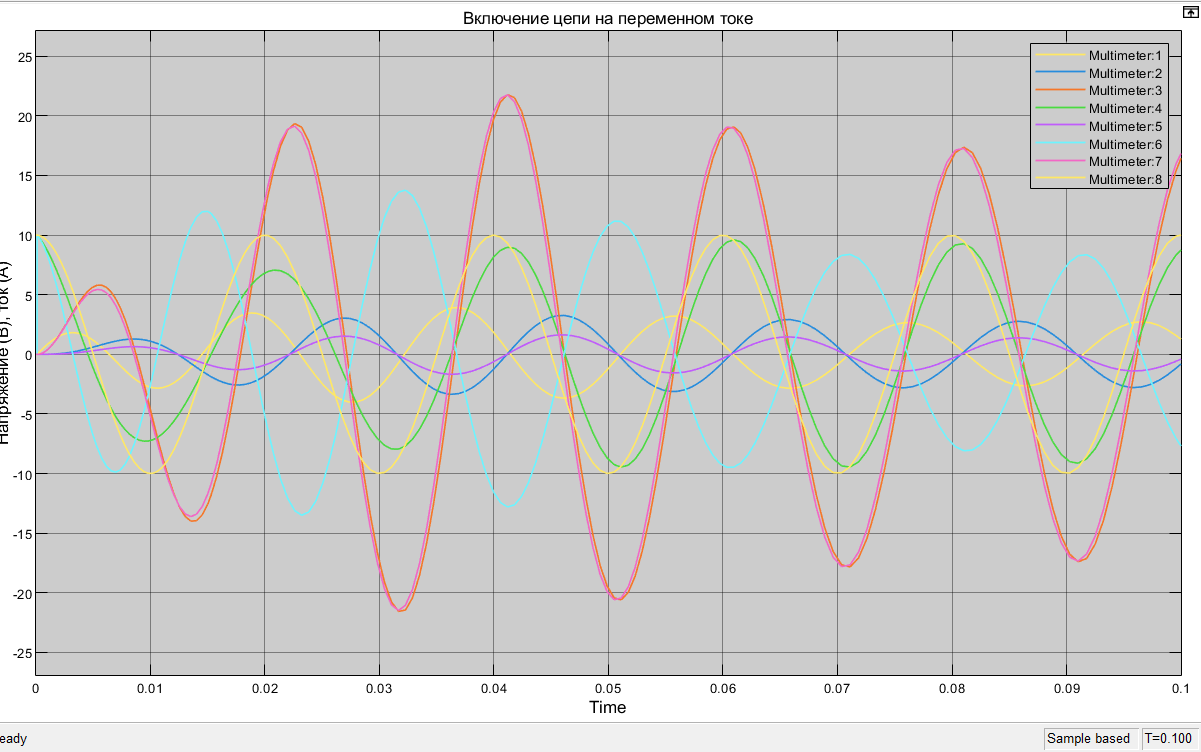


Рисунок 19 – Включение схемы на переменное напряжение при

## **2.3 Реализация методов решения дифференциальных уравнений в программном пакете MATHCAD для описания переходных процессов в электрических схемах**

Для решения задач, связанных с переходными процессами в электрических схемах, можно использовать программный пакет Mathcad, который предоставляет несколько методов для решения систем обыкновенных дифференциальных уравнений (ОДУ). В данном контексте могут быть полезны следующие функции Mathcad:

1. rkfixed(y, x1, x2, n, F) - функция в Mathcad для решения обыкновенных дифференциальных уравнений методом Рунге - Кутта четвёртого порядка с фиксированным шагом. Она принимает следующие аргументы:

- y - вектор начальных условий;

- x1 и x2 - границы интервала интегрирования;

- n - количество точек разбиения интервала;

- F - вектор правых частей системы дифференциальных уравнений.

Функция возвращает матрицу размером n + 1 на количество уравнений в системе, содержащей найденные значения функций в узловых точках.

1. rkadapt(y, x1, x2, n, F) - метод Рунге-Кутта с переменным шагом интегрирования. Величина шага адаптируется к скорости изменения функции решения. Данный метод позволяет эффективно находить решения уравнений, в случае если оно содержит как плавные, так и быстро меняющиеся участки.
2. bulstoer(y, x1, x2, acc, n, F, k, s) - функция bulstoer в Mathcad используется для решения систем обыкновенных дифференциальных уравнений методом Булирша - Штёра с переменным шагом. Она принимает следующие аргументы:

- y - вектор начальных условий;

- x1 и x2 - границы интервала интегрирования;

- acc - погрешность решения (рекомендуется порядка 0.001);

- n - количество шагов;

- F - вектор правых частей системы дифференциальных уравнений;

- k - максимальное число промежуточных точек решения;

- s - минимально допустимый интервал между точками.

Функция возвращает матрицу, содержащую таблицу значений решения задачи Коши на интервале от x1 до x2.

1. stiffb(y, x1, x2, n, F, J) - функция stiffb в Mathcad используется для решения жёстких систем обыкновенных дифференциальных уравнений методом Булирша — Штёра. Она принимает следующие аргументы:

- y — вектор начальных условий;

- x1 и x2 — границы интервала интегрирования;

- n — количество точек разбиения интервала;

- F — вектор правых частей системы дифференциальных уравнений;

- J — матрица Якоби системы дифференциальных уравнений.

Функция возвращает таблицу значений решения задачи Коши на интервале от x1 до x2.

**Применение методов к моделированию переходных процессов.** Для описания переходных процессов в электрических схемах требуется учитывать особенности таких процессов, как быстрые изменения напряжения и тока, которые могут возникать при коммутации, переключении или подаче/снятии питания. Вышеупомянутые методы помогают решать системы уравнений, описывающие такие процессы:

- rkfixed - помогает решать задачи Коши и краевые задачи.

- rkadapt - подходит для сложных схем с нелинейными элементами, где важна точность в критические моменты переходного процесса.

- bulstoer и stiffb - помогают решать системы уравнений, описывающие гладкие и жёсткие системы соответственно.

**Практическое использование.** Для моделирования конкретной электрической схемы в Mathcad необходимо:

1. Записать систему ОДУ, описывающую схему. Например, для RC-цепи это могут быть уравнения на основе законов Кирхгофа.

2. Выбрать подходящий метод решения, основываясь на характере системы (например, жесткость, необходимость высокой точности).

3. Задать начальные условия и параметры интегрирования (шаг, интервал интегрирования).

4. Выполнить расчет и проанализировать полученные результаты для выявления переходных процессов.

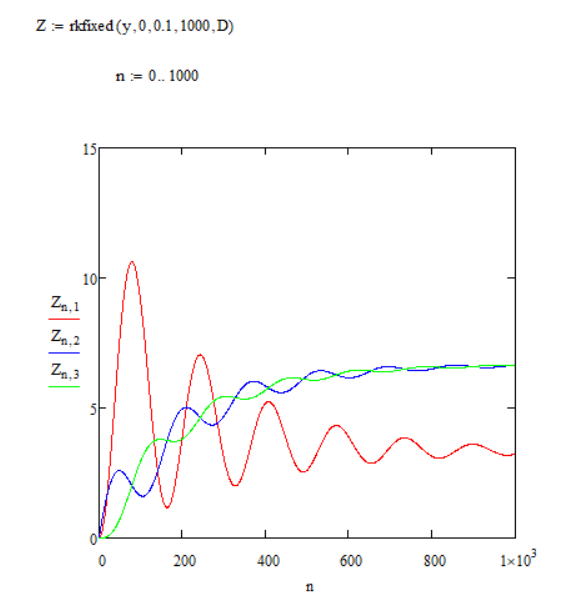
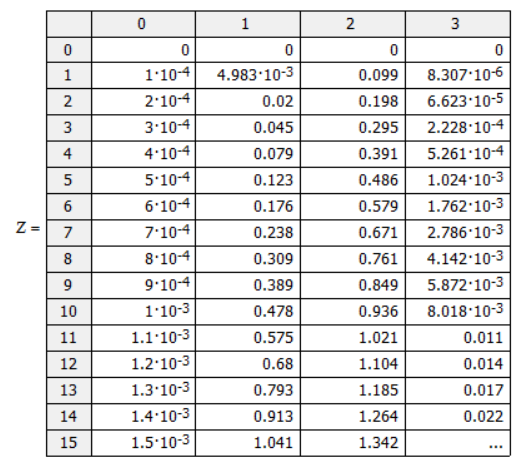
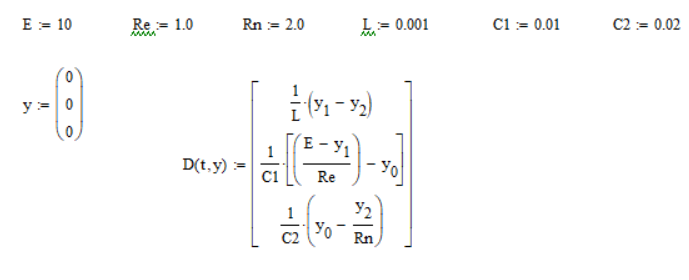
Рассмотрим пример применения Mathcad для вычисления дифференциальных уравнений, описывающие схему, приведенную в пункте 1.4:

Рисунок 20 - Вычисление дифференциальных уравнений, описывающие схему в программе Mathcad:

Zn,1 – iL, Zn,2 – Uc1, Zn,3 – Uc2

# **3 Использование приложения SimScape программного пакета MATLAB для моделирования работы электрических схем**

## **3.1 Описание возможностей приложения SimScape**

SimScape — это комплекс программных средств, предназначенный для моделирования электромеханических переходных процессов в электроэнергетических системах, широко используемый как в учебных целях, так и в инженерной практике. Он включает разнообразные возможности, среди которых моделирование ключевых элементов систем: задачников интенсивности, регуляторов скорости, фильтров, регуляторов тока, а также двухэтапных преобразователей координат главного канала системы управления. Кроме того, Simscape позволяет создавать модели систем автоматического управления скоростью, например, автономного инвертора напряжения с широтно-импульсной модуляцией, связанного с асинхронным двигателем.

Данный комплекс предоставляет мощные инструменты для разработки, реализации и численного исследования математических моделей и алгоритмов расчёта электромеханических переходных процессов. Пользователь может проводить временной анализ и симуляции в реальном времени, что помогает выявлять потенциальные проблемы, оценивать эффективность различных стратегий управления и анализировать устойчивость энергосистем при аварийных ситуациях, таких как короткие замыкания или переключения.

Simscape интегрируется с другими инструментами MATLAB, включая Optimization Toolbox и Control System Toolbox, что расширяет возможности анализа и оптимизации моделей. Важным преимуществом является обширная библиотека блоков, включающая модели пассивных и активных элементов, источников энергии, электродвигателей, трансформаторов, линий электропередачи и устройств силовой электроники. Пользователь может комбинировать блоки SimScape с другими библиотеками Simulink и использовать функции MATLAB, что обеспечивает практически неограниченные возможности для построения сложных и точных моделей электротехнических систем.

Кроме того, SimScape поддерживает различные типы моделирования — функциональное, виртуальное и структурное. Например, силовая часть полупроводникового преобразователя строится на основе виртуальных блоков SimPowerSystem, а система управления реализуется с помощью функциональных блоков Simulink, отражающих алгоритмы работы без необходимости моделирования электрической схемы. Такой подход существенно упрощает структуру модели, повышает её устойчивость и скорость вычислений.

Современные версии SimScape включают более 150 блоков, сгруппированных по категориям, что позволяет моделировать как простые компоненты (резисторы, конденсаторы, индукторы), так и сложные устройства (электроприводы постоянного и переменного тока). В сочетании с дополнительными пакетами, такими как SimMechanics и SimDriveline, SimPowerSystem формирует единую универсальную среду для физического моделирования, превосходящую по функционалу многие сторонние решения.

Таким образом, SimScape является мощным и гибким инструментом для комплексного моделирования, анализа и оптимизации электроэнергетических систем и устройств, значительно упрощающим процесс проектирования и позволяющим проводить глубокий анализ динамики и устойчивости сложных электромеханических процессов.

# **3.2 Моделирование процессов в электрических схемах с использованием возможностей SimScape**

Приведем примеры использование SimScape для моделирование переходных процессов. Соберем схему согласно своему варианту и выведем параметры данной цепи на осциллограф.

Исходные параметры: E = 10 В, R = 1 Ом, L = 0,001 Гн, С = 0,001 Ф.

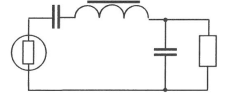


Рисунок 21 – Схема индивидуального задания

Составив все необходимые уравнения и выведя все необходимые интегральные переменные получим следующую систему ОДУ:

Решаем при помощи MATLAB:

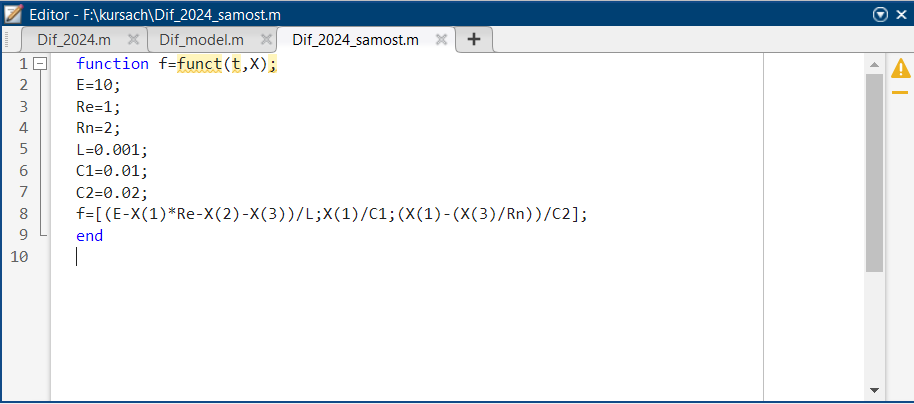


Рисунок 22 – функция описывающая ОДУ

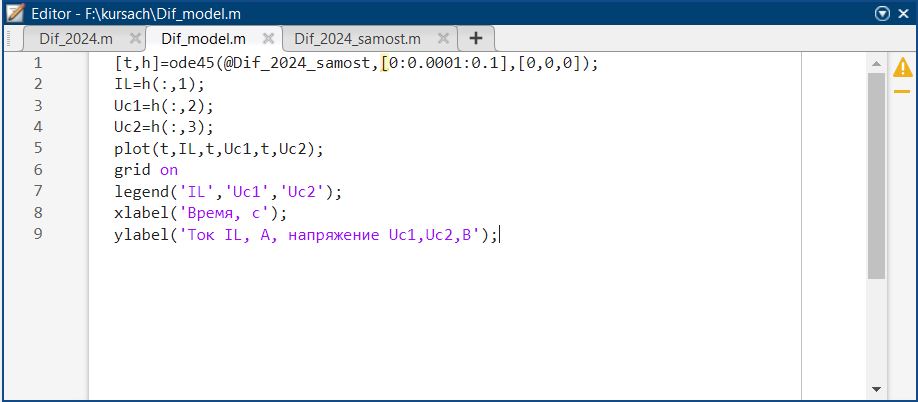


Рисунок 23 – Решение ОДУ

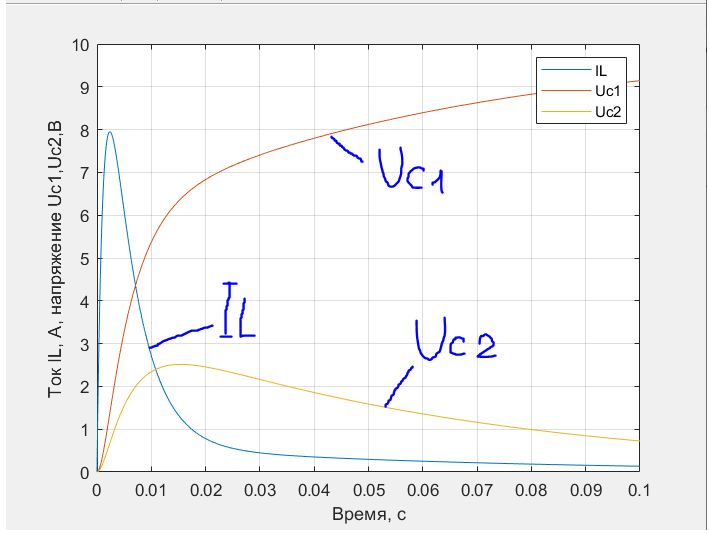


Рисунок 24 – график зависимости

Теперь смоделируем данную схему в Simulink

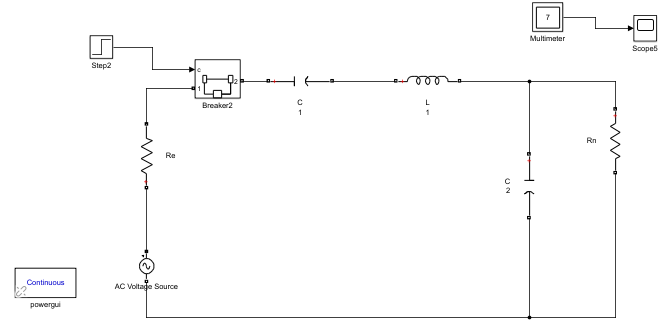


Рисунок 25 – Схема в Simulink

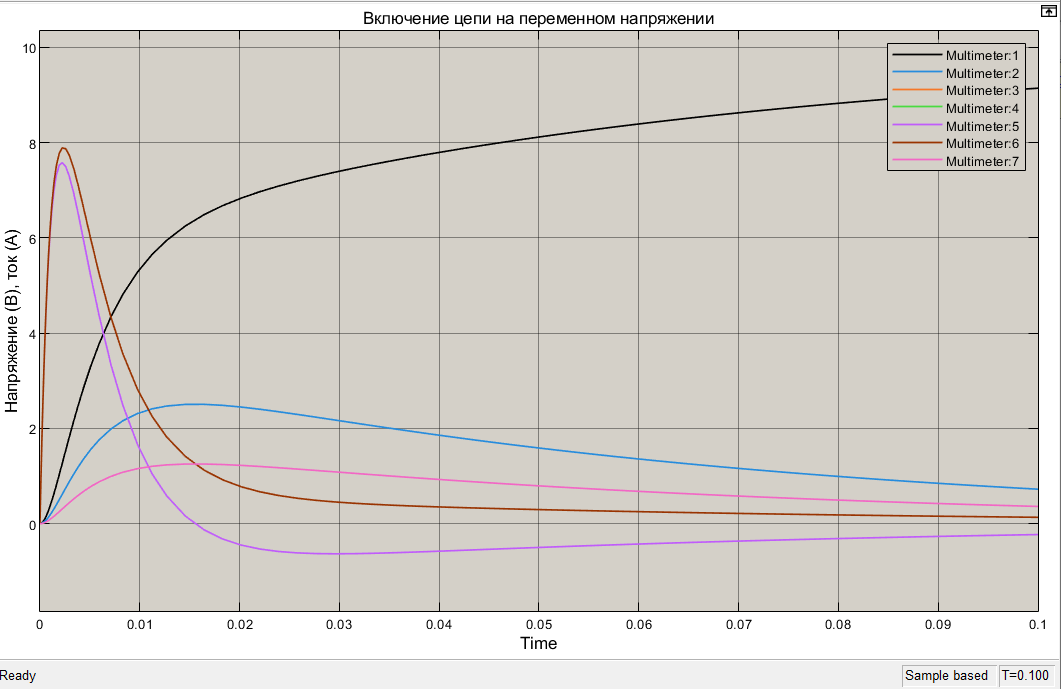


Рисунок 26 – Включение схемы на постоянное напряжение

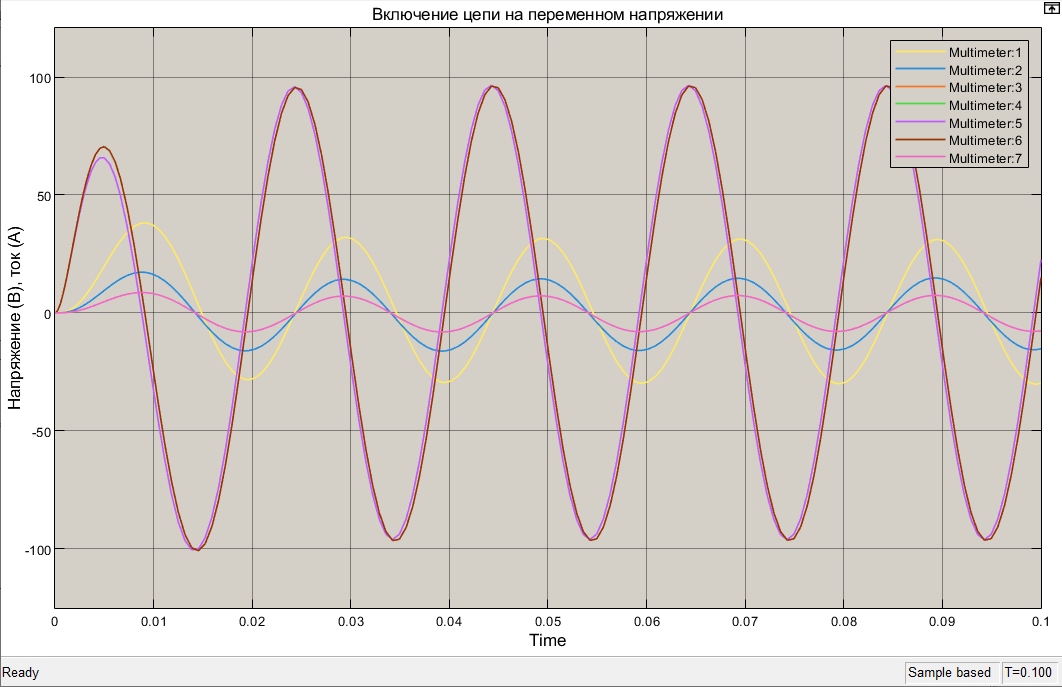


Рисунок 27 – Включение схемы на переменное напряжение при

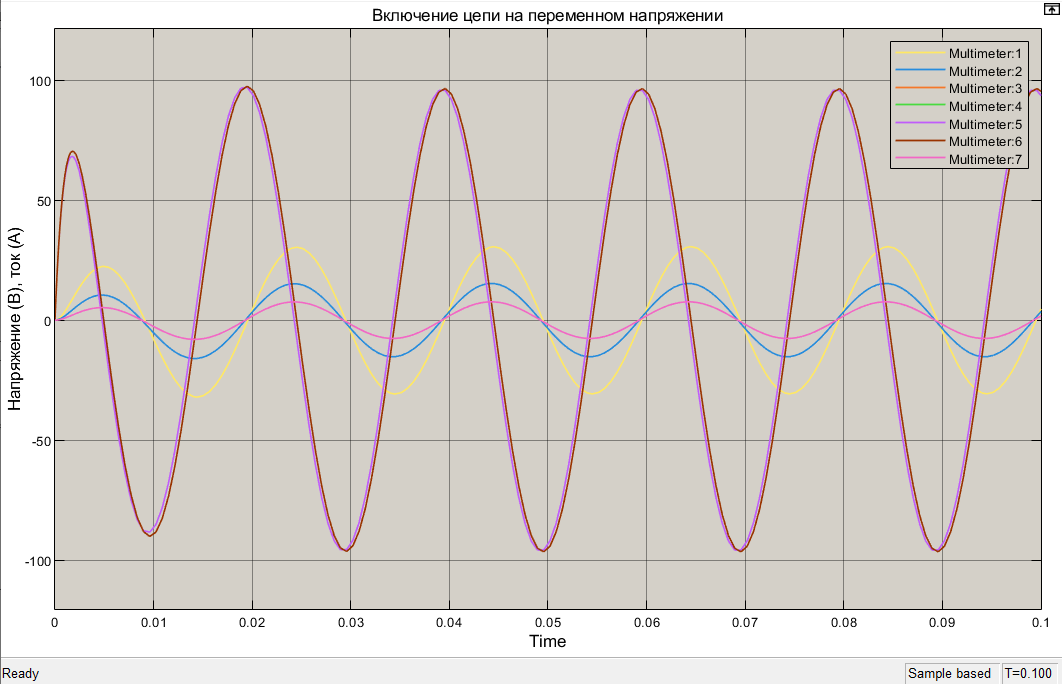
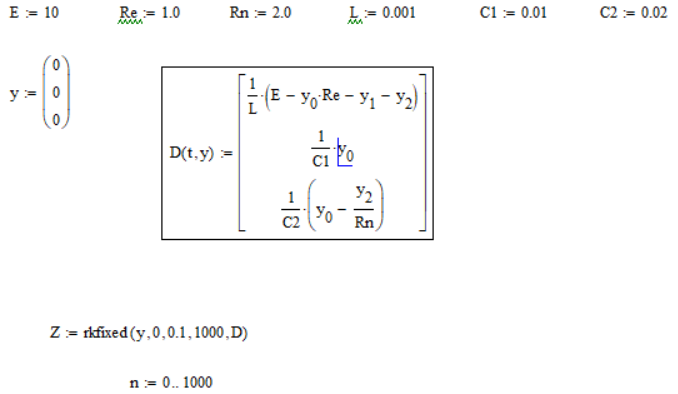
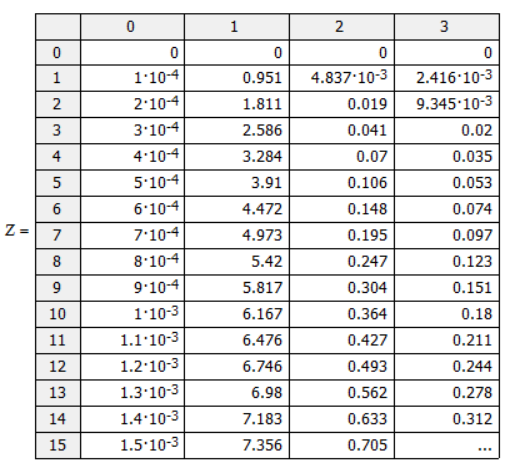


Рисунок 28 – Включение схемы на переменное напряжение при

Рассмотрим данную схему в MATHCAD:





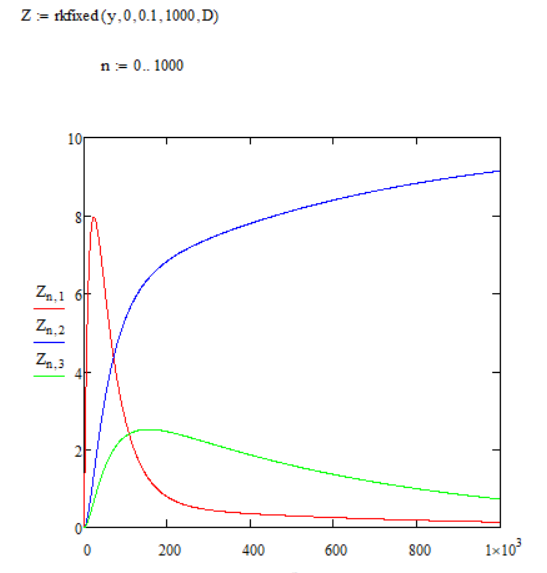


Рисунок 29 - Вычисление дифференциальных уравнений

# **Вывод**

В данной курсовой работе проведён комплексный анализ методов математического моделирования и численного анализа, применяемых для описания переходных процессов в электрических системах. Исследование охватывает как теоретическую часть, так и практическую реализацию моделирования переключения RL- и RC-цепей при воздействии постоянного и переменного напряжения.

Ключевые результаты работы включают:

Фундаментальные основы моделирования. В первой части рассмотрены базовые принципы построения моделей электрических цепей с использованием дифференциальных уравнений, что позволяет более точно описывать динамику переходных процессов в RL- и RC-цепях и прогнозировать поведение системы.

Реализация численных методов. Во второй части реализованы численные алгоритмы, такие как метод Эйлера и метод Рунге-Кутта, применённые для решения дифференциальных уравнений, описывающих переходные процессы. Результаты подтвердили высокую точность и надёжность этих методов при моделировании сложных электрических схем.

Использование современных программных средств. Работа демонстрирует эффективность применения MATLAB и Mathcad для моделирования и анализа электротехнических систем. Эти платформы обеспечивают не только точные вычисления, но и удобные средства визуализации, что облегчает интерпретацию результатов и принятие инженерных решений.

Применение SimPowerSystem. В третьей части исследован инструмент SimPowerSystem, входящий в состав MATLAB, который предоставляет расширенные возможности для создания и анализа моделей электрических сетей. Он позволяет проводить детальный анализ как стационарных, так и переходных процессов, что существенно повышает качество моделирования.

Обобщая, для решения задач, связанных с описанием и анализом электрических цепей, использовались программные пакеты MATLAB, Mathcad и SimPowerSystem. Их применение позволило:

* определить параметры элементов схем;
* выполнить анализ переходных процессов и оценить устойчивость системы;
* смоделировать различные режимы работы электрических цепей.
* Таким образом, полученные результаты способствуют более глубокому пониманию динамики электрических систем и обеспечивают надёжную основу для их проектирования и оптимизации.

# **Список использованных источников**

1. **Гармаш, В. С.** Методические указания по курсовой работе курса. Математические методы и модели / В. С. Гармаш. – Донецк: ДонНТУ, 2013. – 40 с.;

2. **Чесноков, А. Я.** Решение задач вычислительной математики в пакетах MathCAD 12, MATLAB 7, Maple 9 / А. Я. Чесноков, О. В. Чеснокова. – 2006. – 496 с.;

3. **Дьяконов, В. П.** MATLAB. Полный самоучитель / В. П. Дьяконов. – М.: ДМК Пресс, 2012. – 768 с.: ил;

4. **Зубарев, В. Г.** Численные методы. Теория и практика / В. Г. Зубарев, В. Н. Костюк. – СПб.: Питер, 2015. – 352 с.;

5. **Петров, А. И.** Моделирование электрических цепей в MATLAB и Simulink / А. И. Петров. – М.: Горячая Линия – Телеком, 2017. – 240 с.