

УДК 621.316.13

4.3.1 – Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса (технические науки)

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЦЕПИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Баракин Николай Сергеевич
к.т.н., доцент
Scopus Author ID: 57200150182
РИНЦ SPIN-код: 2129-5026

Кумейко Андрей Анатольевич
к.т.н., доцент
Scopus Author ID: 57211509352
РИНЦ SPIN-код: 7603-9895

Караджиян Андрей Михайлович
студент
Кубанский государственный аграрный университет, Краснодар, Россия

В статье рассматривается методика проведения практической работы с использованием программы SimInTech, предназначенной для моделирования и анализа технологических процессов. Приводятся этапы разработки имитационной модели RLC цепи переменного тока для проведения практического занятия дисциплины «Методика экспериментальных исследований». Студент после изучения теоретического материала и ознакомления с интерфейсом программы SimInTech создаёт проект согласно заданному варианту схемы преподавателем, пишет программу блока программирования для аналитического расчёта на основе составленных уравнений. Сравнив показания аналитического расчёта с компьютерной моделью, студент убеждается в сходимости результатов. Особое внимание уделено возможностям программы для изучения динамики процессов, оптимизации параметров и визуализации результатов. Таким образом использование прикладных программных продуктов позволяет убеждаться в правильности аналитических расчётов с наглядным выводом результатов. Статья будет полезна преподавателям и студентам технических специальностей, а также специалистам, занимающимся моделированием и анализом производственных систем

Ключевые слова: ИНДУКТИВНОСТЬ, ЕМКОСТЬ, ПЕРЕХОДНЫЙ ПРОЦЕСС, КОМПЬЮТЕРНАЯ МОДЕЛЬ, ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

<http://dx.doi.org/10.21515/1990-4665-208-034>

UDC 621.316.13

4.3.1 – Technologies, machines and equipment for the agro-industrial complex (technical sciences)

SIMULATION OF AN ALTERNATING CURRENT ELECTRICAL CIRCUIT

Barakin Nikolai Sergeevich
Cand.Tech.Sci., docent
Scopus Author ID: 557200150182
RSCI SPIN-code: 2129-5026

Kumeyko Andrey Anatolyevich
Cand.Tech.Sci., docent
Scopus Author ID: 57211509352
RSCI SPIN-code: 7603-9895

Karadzhian Andrey Mikhailovich
Student
Kuban State Agrarian University, Krasnodar, Russia

The article discusses the methodology of practical lesson using the SimInTech program, designed for modeling and analyzing technological processes. The stages of developing an RLC simulation model of an alternating current circuit for conducting a practical lesson in the discipline "Experimental research methodology" are presented. After studying the theoretical material and familiarizing himself with the interface of the SimInTech program, the student creates a project according to a given scheme option by the teacher, writes a programming block program for analytical calculation based on the compiled equations. By comparing the readings of the analytical calculation with a computer model, the student is convinced of the convergence of the results. Special attention is paid to the program's capabilities for studying process dynamics, optimizing parameters, and visualizing results. Thus, the use of applied software products makes it possible to verify the correctness of analytical calculations with visual output of the results. The article will be useful for teachers and students of technical specialties, as well as specialists involved in the modeling and analysis of production systems

Keywords: INDUCTANCE, CAPACITANCE, TRANSIENT, COMPUTER MODEL, SIMULATION MODELING

<http://ej.kubagro.ru/2025/04/pdf/34.pdf>

Введение. Использование прикладной программы SimInTech студентам на практическом занятии позволяет производить проверку результатов расчета с помощью имитационного моделирования. Ключевое достоинство этого метода заключается в наличии механизма верификации правильности моделирования через сопоставление данных аналитических вычислений в программном модуле (PL) и электрических параметров цепи переменного тока, полученных из компьютерной модели [1]. Разница между полученными значениями находится в пределах 1%, что свидетельствует о существенной точности проводимых расчетов.

Функционал программы предусматривает возможность осуществления продолжительных вычислительных экспериментов, благодаря чему можно производить имитацию переключений в схеме и определить все требуемые электрические параметры - напряжения на элементах цепи и токи в ветвях.

Цель исследований. Разработка компьютерной модели RLC-цепи переменного тока в программе SimInTech для исследования переходных процессов на практических занятиях.

Материалы и методы исследований. Основные блоки для создания модели электрической схемы, расположенные в вкладке «ЭЦ-Динамика». Для удобства чтения модели электрической схемы располагаем её элементы так, чтобы сама модель повторяла чертёж этой схемы, как на рисунке 1. Студентам при проведении практического занятия необходимо настроить блоки согласно исходным данным напряжения, сопротивлений, индуктивностей и емкости.

Блок «Язык программирования» PL выбирается во вкладке блоков «Динамические» и предназначен для создания блоков, выполняющих сложные операции, включая операции над матрицами, векторами, комплексными числами. Блок позволяет реализовать произвольный алгоритм, написанный на встроенном языке программирования комплекса

или на языке СИ. В блоке PL прописать программу расчета и задать свойства объекта, указав нужное количество портов.

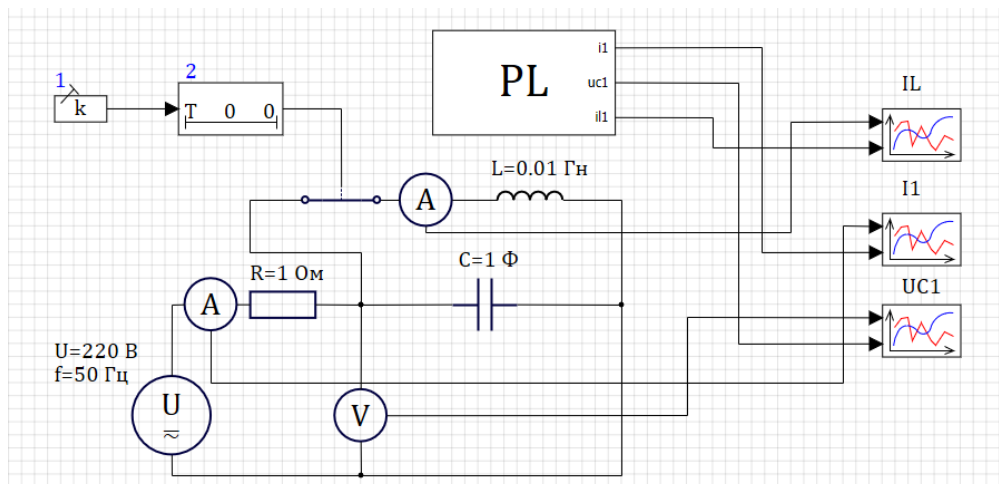


Рисунок 1 – Компьютерная модель RLC-цепи переменного тока.

Блок «Временной график» выбирается из вкладки «Вывод данных». В блоке прописать в свойствах объекта количество портов и после входа в блок вызвать правой кнопкой вызвать свойства и настроить оси графиков.

Управление ключом постоянного тока осуществляется блоком «задержка по включению» (библиотека – Задержки и импульсы) и «константа» (библиотека – источники). В параметрах расчета необходимо ввести параметры расчета

Результаты исследований. Уравнения составляются студентами на основе законов Кирхгофа и теории электрических цепей [2,3]. Они решаются численно с учетом начальных условий и логического включения индуктивности через 2 секунды. Программа моделирует переходный процесс и выводит графики тока и напряжения. Источника напряжения $U_1(t) = 220\sin(\omega t - 0^0)$ В, сопротивление резистора $R_1=1$ Ом, емкость конденсатора $C_1=1$ Ф, индуктивность катушки $L_1=0,01$ Гн, которая включается через $t = 2$ с. До $t = 2$ с. цепь работает как RC-цепь (индуктивность "отключена"), после $t = 2$ с. цепь становится RLC-цепью.

Пока индуктивность отключена, цепь состоит только из резистора и конденсатора.

Ток через резистор (по закону Ома):

$$i_{R1}(t) = \frac{(U_1(t) - U_{C1}(t))}{R_1(t)}.$$

Ток через конденсатор:

$$i_{C1}(t) = C_1 \frac{dU_{C1}(t)}{dt}.$$

Ток протекающий через резистор R_1 :

$$i_1(t) = i_{R1}(t) = i_{C1}(t).$$

Из этих уравнений получаем дифференциальное уравнение для напряжения на конденсаторе C_1 :

$$\frac{dU_{C1}(t)}{dt} = \frac{U_1(t) - U_{C1}(t)}{R_1 \cdot C_1}.$$

После включения индуктивности цепь становится RLC-цепью. Тогда ток через резистор:

$$i_{R1}(t) = \frac{(U_1(t) - U_{C1}(t))}{R_1}.$$

Ток через конденсатор:

$$i_{C1}(t) = C_1 \frac{dU_{C1}(t)}{dt}.$$

Ток через индуктивность:

$$i_{L1}(t) = \frac{1}{L} \int U_L(t) dt.$$

Общий ток:

$$i_1(t) = i_{R1}(t) = i_{C1}(t) + i_{L1}(t).$$

Для напряжения на конденсаторе:

$$\frac{dU_{C1}(t)}{dt} = \frac{i_1(t) - i_{L1}(t)}{C_1}.$$

Для тока через индуктивность:

$$\frac{di_{L1}(t)}{dt} = \frac{U_{C1}(t)}{L_1}.$$

Уравнения решаются численно с использованием метода Рунге-Кутты или другого метода интегрирования, поддерживаемого средой моделирования SimInTech. До $t = 2$ с. индуктивность "отключена", и цепь работает как RC-цепь. Напряжение на конденсаторе $U_{C1}(t)$ и ток через резистор $i_1(t)$ рассчитываются по формулам:

$$U_{C1}(t) = U_1(t) \cdot (1 - e^{-t/(R_1 C_1)}), \quad i_1(t) = U_1(t) / R_1 \cdot e^{-t/(R_1 C_1)}.$$

После $t = 2$ с. индуктивность "включается", и цепь становится RLC-цепью. Напряжение на конденсаторе $U_{C1}(t)$ и ток через индуктивность $I_{L1}(t)$ рассчитываются численно:

$$\frac{dU_{C1}(t)}{dt} = \frac{i_1(t) - i_{L1}(t)}{C_1}, \quad \frac{di_{L1}(t)}{dt} = \frac{U_{C1}(t)}{L_1}.$$

В блок PL студенту необходимо ввести программу аналитического расчета для подтверждения результатов выданных (рисунок 2).

```

- // Параметры
- const R1 = 1; // Сопротивление, Ом
- const C1 = 1; // Емкость, Ф
- const L1 = 0.01; // Индуктивность, Гн
- const U1 = 220; // Напряжение источника, В
- const t_switch = 2; // Время включения индуктивности, с
10 const f = 50;
- // Начальные условия
12 init UC1 = 0; // Начальное напряжение на конденсаторе, В
- init IL1 = 0; // Начальный ток через индуктивность, А
-
- // Входное напряжение
- U = U1 * sin(2 * pi * f * time);
-
- // Логическое условие для включения индуктивности
20 if (time < t_switch) then L_effective=1e9 else L_effective=L1;
-
- // Уравнения
- iR1 = (U - UC1) / R1; // Ток через резистор
- iC1 = C1 * UC1'; // Ток через конденсатор
- iL1 = IL1; // Ток через индуктивность
- i1 = iR1; // Ток через резистор равен току от источника
-
- // Дифференциальные уравнения
- UC1' = (i1 - iL1) / C1; // Изменение напряжения на конденсаторе
- IL1' = UC1 / L_effective; // Изменение тока через индуктивность
30
- // Выходные данные
- Output i1, UC1, IL1;
```

Рисунок 2 – Скриншот программы блока PL.

Результатом расчета является осциллограммы переходных процессов изменения токов в ветвях и напряжения на конденсаторе. На рисунке 3 представлена осциллограмма переходного режима тока в катушке индуктивности при её включении через 2 с. с начала моделирования. На рисунке 4 представлена осциллограмма напряжения на конденсаторе.

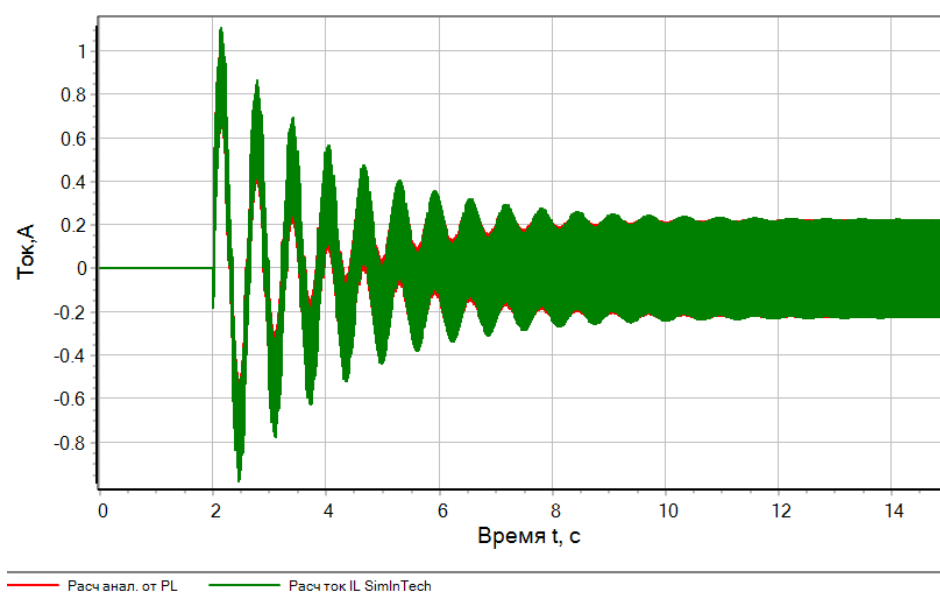


Рисунок 3– Результаты расчета переходного режим тока в катушке индуктивности

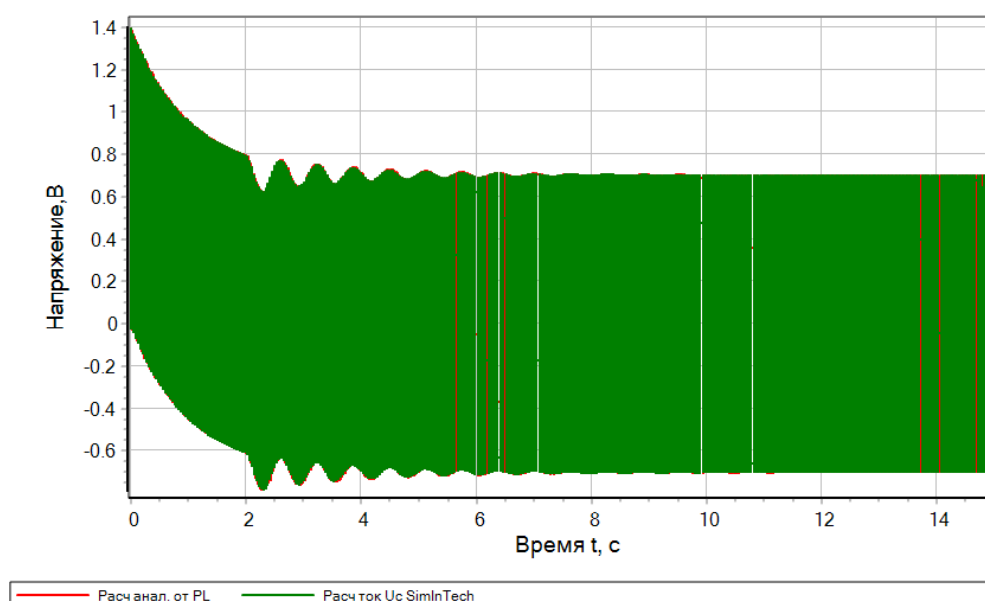


Рисунок 4 – Результаты расчета переходного режим напряжения на конденсаторе

Осциллограмма тока в катушке индуктивности полученная аналитическим путем от блока программирования PL наложена на осциллограмму тока полученную от разработанной компьютерной модели. Разница между полученными значениями находится в пределах 1%, что связано с погрешностью и точностью выбранных методов расчета.

Выводы. В итоге, программа SimInTech выступает как интегрированная система для анализа электрических цепей, где студент данные визуального моделирования подтверждает численными расчетами, гарантируя надежность и достоверность итоговых результатов. Так в приведенной схеме RLC – цепи переменного тока с параметрами: напряжение источника $U_1(t) = 220\sin(\omega t - 0^0)$ В, сопротивление резистора $R_1=1$ Ом, емкость конденсатора $C_1=1$ Ф, индуктивность катушки $L_1=0,01$ Гн, которая включается через $t = 2$ с.; наблюдается после $t = 2$ с. — плавное с периодической составляющей изменение тока в цепи с катушкой индуктивности (в переходном режиме амплитуда тока не превышает 1,1 А, в установившемся режиме составляет 0,22 А).

Библиографический список

1. Баракин, Н. С. Моделирование ситуаций попадания человека в электрическую сеть в программе SIMINTECH / Н. С. Баракин, А. А. Кумейко // Малая энергетика: проблемы, задачи и перспективы : Материалы Международной научно-практической конференции, Краснодар, 15–16 июня 2023 года. – Краснодар: ФГБУ "Российское энергетическое агентство" Минэнерго России Краснодарский ЦНТИ- филиал ФГБУ "РЭА" Минэнерго России, 2023. – С. 28-31.
2. Бессонов, Л.А. Теоретические основы электротехники. Электрические цепи: учебник / Л.А Бессонов. – М.: Гардарики, 2006.
3. Киреев К.В. Теоретическая электротехника: Виртуальная лаборатория в Multisim 10 / К.В. Киреев. – М.: Энергоатомиздат, 2008.

References

1. Barakin, N. S. Modelirovanie situacij popadanija cheloveka v jelektricheskuju set' v programme SIMINTECH / N. S. Barakin, A. A. Kumejko // Malaja jenergetika: problemy, zadachi i perspektivy : Materialy Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii, Krasnodar, 15–16 ijunja 2023 goda. – Krasnodar: FGBU "Rossijskoe jenergeticheskoe

agentstvo" Minjenergo Rossii Krasnodarskij CNTI- filial FGBU "RJeA" Minjenergo Rossii, 2023. – S. 28-31.

2. Bessonov, L.A. Teoreticheskie osnovy jelectrotehniki. Jelektricheskie cepi: uchebnik / L.A Bessonov. – M.: Gardariki, 2006.

3. Kireev K.V. Teoreticheskaja jelectrotehnika: Virtual'naja laboratorija v Multisim 10 / K.V. Kireev. – M.: Jenergoatomizdat, 2008.