МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Пензенский государственный университет» (ПГУ)

В. В. Регеда, О. Н. Регеда

Моделирование электрических цепей в среде SimInTech

Методические указания
к лабораторным работам

Пенза
Издательство ПГУ
2022

УДК 001.8 (083.95)
Р32

Р е ц е н з е н т
доктор технических наук, профессор,
академик Российской метрологической академии,
директор Государственного регионального центра
стандартизации, метрологии и испытаний в Пензенской области
А. А. Данилов

Регеда, Ольга Николаевна.

Р32 Моделирование электрических цепей в среде SimInTech : метод указания к лаб. работам / В. В. Регеда, О. Н. Регеда. – Пенза : Изд-во ПГУ, 2022. – 96 с.

Рассмотрены основные приемы работы с российской системой модельно-ориентированного проектирования SimInTech. Основное внимание уделено изучению специализированных библиотек, обеспечивающих моделирование электрических схем. Представлены описания лабораторных работ по моделированию цепей постоянного и переменного тока, трехфазных цепей, переходных процессов в линейных электрических цепях, а также по моделированию частотных характеристик. Все описания снабжены методическими указаниями, содержащими необходимый теоретический материал по соответствующей тематике и списком контрольных вопросов.

Издание подготовлено на кафедрах «Электроэнергетика и электротехника» и «Информационно-измерительная техника и метрология» ПГУ и предназначено для лабораторных и индивидуальных занятий по курсам «Компьютерные технологии» и «Компьютерное моделирование» для обучающихся по направлениям подготовки 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника», 12.03.01 «Приборостроение», 27.03.01 «Стандартизация и метрология» и специальности 27.05.02 «Метрологическое обеспечение вооружения и военной техники».

УДК 001.8 (083.95)

© Пензенский государственный
университет, 2022

СОДЕРЖАНИЕ

Введение 4

Лабораторная работа № 1. ОСНОВЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ В СИСТЕМЕ SimInTech 7

Лабораторная работа № 2. МОДЕЛИРОВАНИЕ ЦЕПЕЙ ПОСТОЯННОГО ТОКА В СИСТЕМЕ SimInTech 20

Лабораторная работа № 3. МОДЕЛИРОВАНИЕ ЦЕПЕЙ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА В СИСТЕМЕ SimInTech.....38

Лабораторная работа № 4. МОДЕЛИРОВАНИЕ ТРЕХФАЗНЫХ ЦЕПЕЙ ПРИ СОЕДИНЕНИИ ФАЗ ГЕНЕРАТОРА И ПРИЕМНИКА ПО СХЕМЕ ЗВЕЗДА В СИСТЕМЕ SimInTech.....49

Лабораторная работа № 5. МОДЕЛИРОВАНИЕ ТРЕХФАЗНЫХ ЦЕПЕЙ ПРИ СОЕДИНЕНИИ ФАЗ ГЕНЕРАТОРА ПО СХЕМЕ ЗВЕЗДА, А ПРИЕМНИКА ПО СХЕМЕ ТРЕУГОЛЬНИК В СИСТЕМЕ SimInTech 60

Лабораторная работа № 6. МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ В СИСТЕМЕ SimInTech 69

Лабораторная работа № 7. ВОЗМОЖНОСТИ СИСТЕМЫ SimInTech ПО МОДЕЛИРОВАНИЮ ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК.....84

Список литературы 92

Приложение 93

ВВЕДЕНИЕ

Цель данных методических указаний – научить студентов использовать современную российскую систему модельно-ориентированного проектирования SimInTech для моделирования электрических цепей при выполнении лабораторных работ, курсовых работ, курсовых проектов, выпускных квалификационных работ и при проведении научных исследований.

Решение задачи анализа и моделирования произвольной электрической цепи в курсе ТЭЦ включает в себя следующие основные этапы:

1) переход от принципиальной электрической схемы цепи к ее схеме замещения, состоящей только из идеализированных пассивных и активных элементов;

2) выбор системы независимых переменных, характеризующей процессы в рассматриваемой цепи, и составление уравнений электрического равновесия;

3) решение уравнений электрического равновесия и представление полученных результатов.

В течение длительного времени ЭВМ применялись неэффективно – только для выполнения третьего из перечисленных этапов, что требовало большого объема подготовительных работ, выполняемых вручную.

Современные методы машинного (автоматизированного) анализа цепей предполагают широкое применение ЭВМ не только для решения уравнений электрического равновесия, но и для формирования этих уравнений по заданной схеме замещения цепи, или для составления схемы замещения цепи и соответствующих уравнений электрического равновесия по заданной принципиальной электрической схеме цени. Это позволяет не только значительно сократить время анализа, но и существенно повысить его точность.

Современные программы машинного анализа цепей являются частью современных САПР и условно подразделяют на две большие группы:

– программы общего назначения, предназначенные для решения широкого круга задач анализа цепей различного типа;

– специализированные программы, ориентированные на решение отдельных частных задач анализа, таких как исследование временных или частотных характеристик линейных цепей, нахождение рабочих точек нелинейных элементов, определение чувствительности цепи к изменению параметров элементов и т.п.

Независимо от назначения они состоят из нескольких основных блоков, соответствующих основным этапам анализа цепей:

– блок подготовки исходных данных,

– блок формирования уравнений электрического равновесия,

– блок решения уравнений электрического равновесия,

– блок представления результатов анализа.

Среди современных программных продуктов для моделирования электрических цепей можно назвать такие, как Micro-Cap, OrCAD, NI Multisim, LabVIEW, Simulink, а также отечественные системы Delta Design, Symica и SimInTech.

Система SimInTech 15 декабря 2016 г. включена в Единый реестр российских программ для электронных вычислительных машин и баз данных. Правообладатель – ООО «3В СЕРВИС».

Система SimInTech может использоваться для функционального и динамического моделирования различных систем: объектов ВПК/ОПК, энергетических объектов, атомных объектов, нефтегазовых объектов, аэрокосмических объектов, транспортных объектов и др. Кроме того, система SimInTech позволяет разрабатывать алгоритмы и интерфейсы управления, а также автоматически генерировать код для программируемых контроллеров и графических дисплеев [1].

Модели в системе SimInTech создаются из стандартных блоков, помещенных в различных библиотеках. Для моделирования электрических цепей в настоящее время в SimInTech включены следующие библиотеки:

– электротехнического оборудования для анализа электрических цепей в действующих значениях;

– электротехнического оборудования для анализа электрических цепей в мгновенных значениях;

– электрических приводов.

SimInTech обладает открытым интерфейсом для разработки собственных библиотек и для подключения сторонних программных модулей на различных языках программирования (Си, Паскаль, Фортран и др.).

В SimInTech возможна разработка как простых моделей, подробно описывающих поведение какой-либо системы (например, *RLC*-контур с источником питания), так и сложных моделей, которые подробно описывают не только саму систему, но и алгоритмы управления, защиты, интерфейс управления и пр. Для организации синхронного обмена данными между расчетными схемами используется база данных сигналов – структурированное хранилище переменных,

используемых в одном или нескольких проектах, входящих в состав сложной модели [1].

Программу SimInTech можно бесплатно скачать по адресу https://simintech.ru.

В данных методических указаниях описывается применение системы SimInTech для моделирования электрических цепей постоянного и переменного тока в установившихся и переходных режимах.

Лабораторная работа № 1

ОСНОВЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ В СИСТЕМЕ SimInTech

Цель работы: знакомство с основными правилами системы SimInTech по созданию электрических цепей.

Рабочее задание

1. Запустить программу SimInTech.

В результате на экране появляется главное окно с интерфейсом SimInTech, представленное на рис. 1.1 [2].

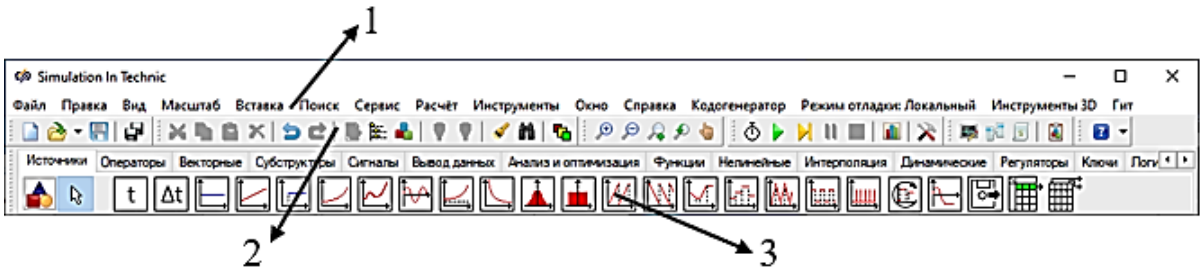


Рис. 1.1

В первой строке окна располагается область **Меню главного окна** (1), из которого, в частности, можно управлять созданием, редактированием и режимами моделирования созданных моделей, которые называются в SimInTech расчетными схемами.

В второй строке окна располагается область **Панель кнопок** (2) с разбитыми по группам наборами кнопок, вызывающих наиболее часто используемые команды.

В третьей строке окна располагается область **Палитра блоков** (3), на закладках которой появляются блоки, соответствующие выбранной расчетной схеме, а также графический редактор, при помощи которого могут создаваться различные приборы, видеокадры и т.д.

2. Для решения конкретной инженерной задачи должна выбираться соответствующая расчетная схема с решателем и своими настройками.

Для создания расчетной схемы используется команда «**Файл**» → «**Новый проект**», после выбора которой необходимо указать в выпадающем списке подходящую расчетную схему.

Выбрать расчетную схему «**Схема модели общего вида**». В результате откроется схемное окно проекта (рис. 1.2).

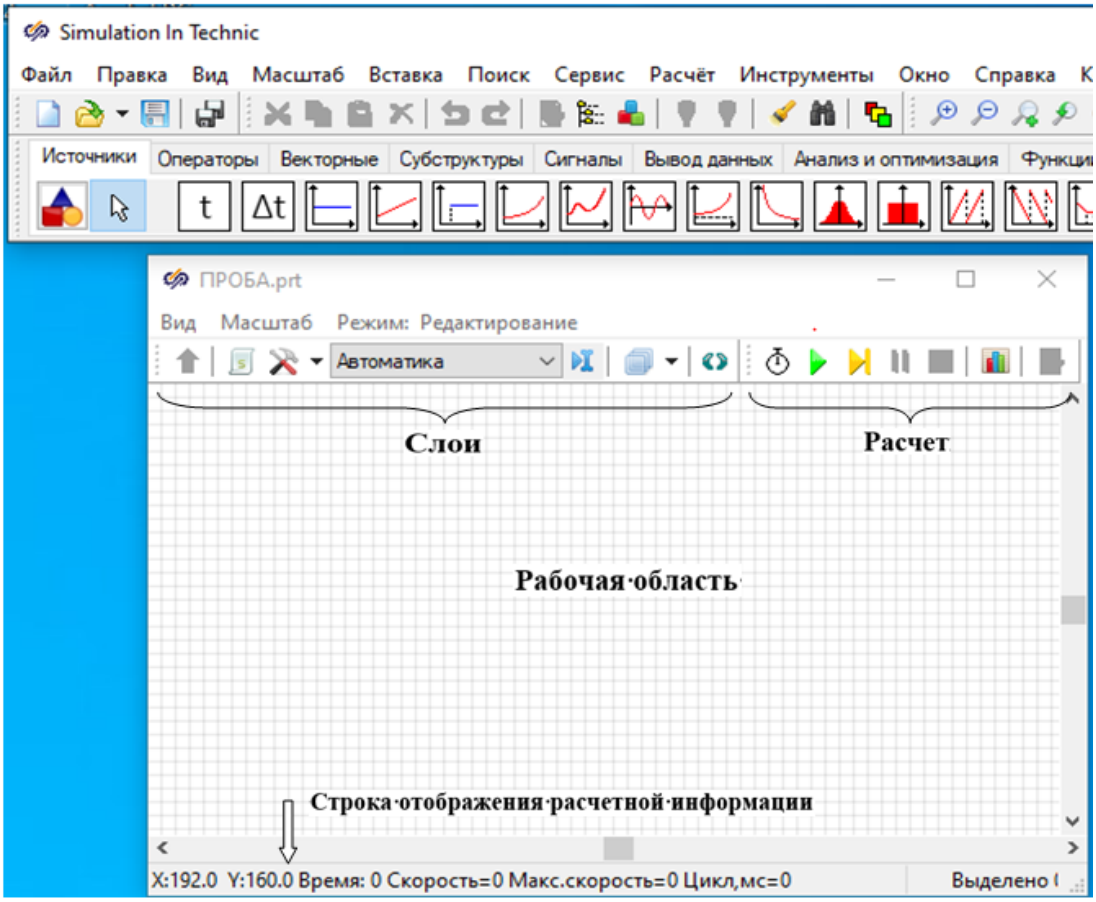


Рис. 1.2

Сохранить проект в виде файла, выбрав в меню главного окна команду «**Файл**» → «**Сохранить проект как…**» и задав путь доступа и имя файла по указанию преподавателя.

Из рис. 1.2 видно, что в заголовке окна проектов указано имя файла **ПРОБА** и расширение файла по умолчанию **prt**.

Панель кнопок вверху окна проекта содержит инструменты настройки проекта «**Слои**» и управления расчетом «**Расчет**» (см. рис. 1.2).

Внизу окна проектов расположена строка отображения расчетной информации.

В центре окна проектов располагается рабочая область, в которой с помощью блоков, выбираемых из палитры блоков, можно создавать и редактировать ранее созданные расчетные модели, собственные блоки и т.д.

В состав SimInTech входит набор специализированных библиотек, обеспечивающих моделирование электрических цепей.

Библиотека **ЭЦ – Статика** содержит модели, которые обеспечивают расчет действующих значений тока, напряжения и мощности (рис. 1.3).

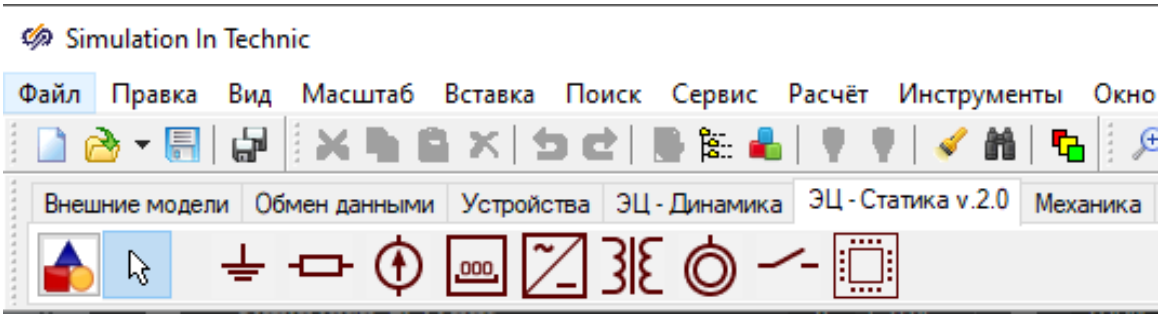


Рис. 1.3

Библиотека **ЭЦ – Динамика** содержит модели, которые обеспечивают расчет мгновенных значений параметров цепей переменного тока в установившихся и переходных режимах (рис. 1.4).

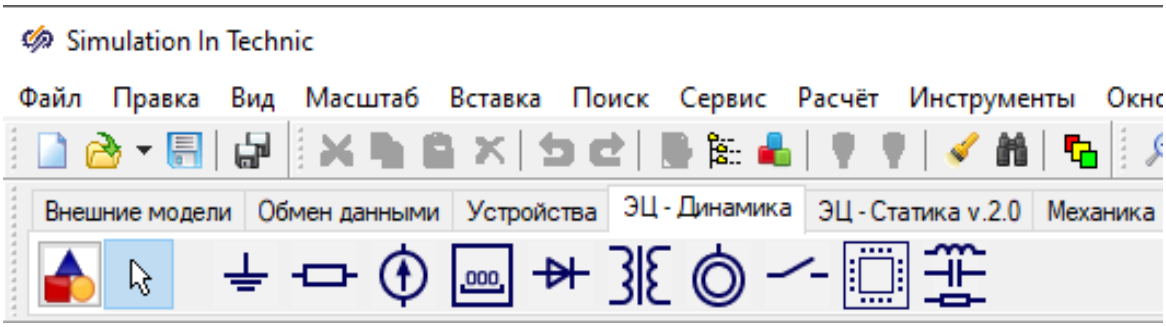


Рис. 1.4

В данной лабораторной работе будут моделироваться схемы, созданные из блоков библиотеки **ЭЦ – Динамика** из закладок, приведенных на рис. 1.5–1.8.

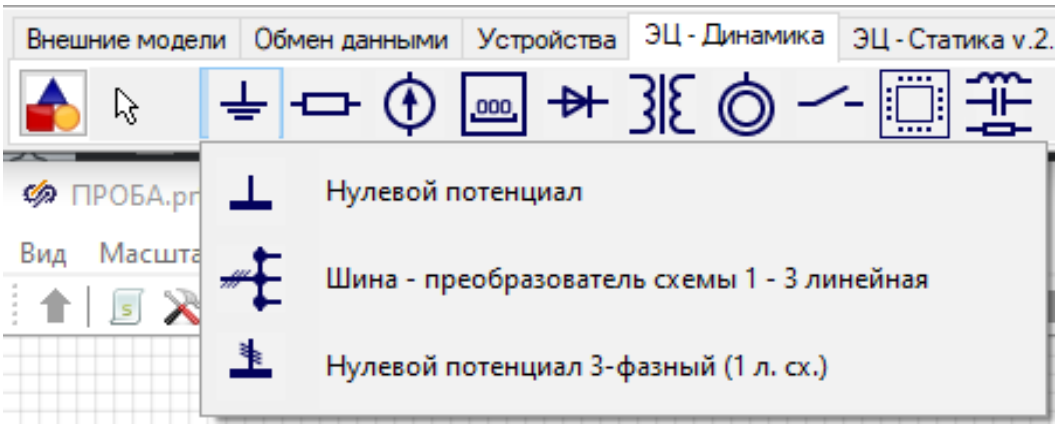


Рис. 1.5

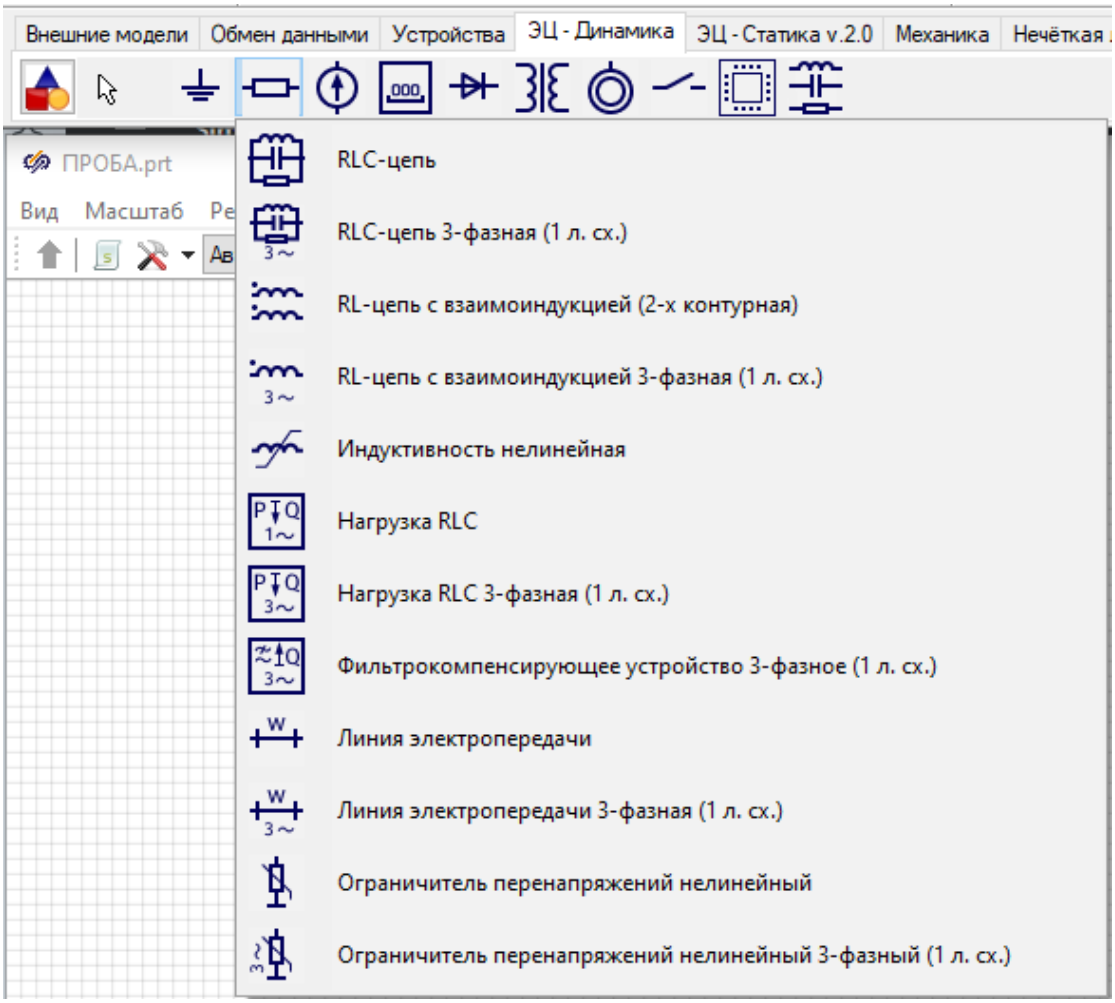

Внешние модели
Обмен данными
Устройства
ЭЦ - Динамика
ЭЦ - Статика v.2.0
Механика
ПРОБА.prt
Вид
Масштаб
RLC-цепь
RLC-цепь 3-фазная (1 л. сх.)
RL-цепь с взаимоиндукцией (2-х контурная)
RL-цепь с взаимоиндукцией 3-фазная (1 л. сх.)
Индуктивность нелинейная
Нагрузка RLC
Нагрузка RLC 3-фазная (1 л. сх.)
Фильтрокомпенсирующее устройство 3-фазное (1 л. сх.)
Линия электропередачи
Линия электропередачи 3-фазная (1 л. сх.)
Ограничитель перенапряжений нелинейный
Ограничитель перенапряжений нелинейный 3-фазный (1 л. сх.)

Рис. 1.6

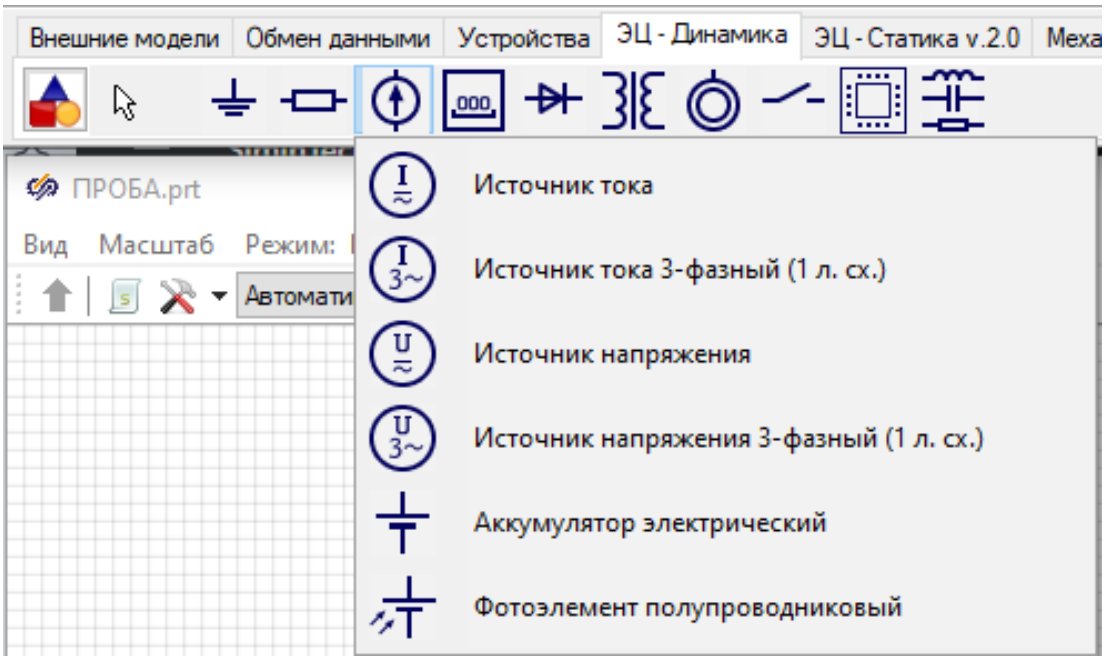

Внешние модели
Обмен данными
Устройства
ЭЦ - Динамика
ЭЦ - Статика v.2.0
ПРОБА.prt
Вид
Масштаб
Режим:
Автомати
Источник тока
Источник тока 3-фазный (1 л. сх.)
Источник напряжения
Источник напряжения 3-фазный (1 л. сх.)
Аккумулятор электрический
Фотоэлемент полупроводниковый

Рис. 1.7

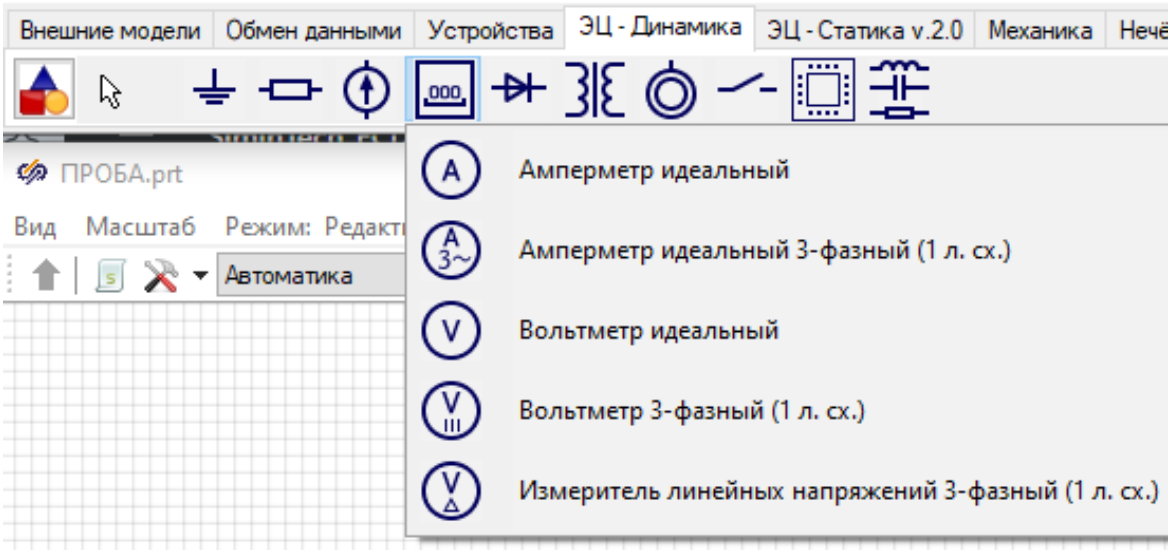


Рис. 1.8

3. Открыть палитру **ЭЦ – Динамика** и щелчком левой клавиши мыши (ЛКМ) выбрать следующие блоки:

– блок **Источник напряжения** из закладки **Источники**;

– блок **Нулевой потенциал** из закладки **Элементы топологии**;

– блок **RLC-цепь** из закладки **Электротехнические элементы**;

– блок **Вольтметр идеальный** из закладки **Измерители**.

После выбора требуемого блока переместить курсор в окно проекта и щелчком ЛКМ указать место вставки блока (рис. 1.9). При необходимости можно переместить блоки, нажав ЛКМ на его изображение и, не отрывая пальца от кнопки, перетащить его в нужное место.

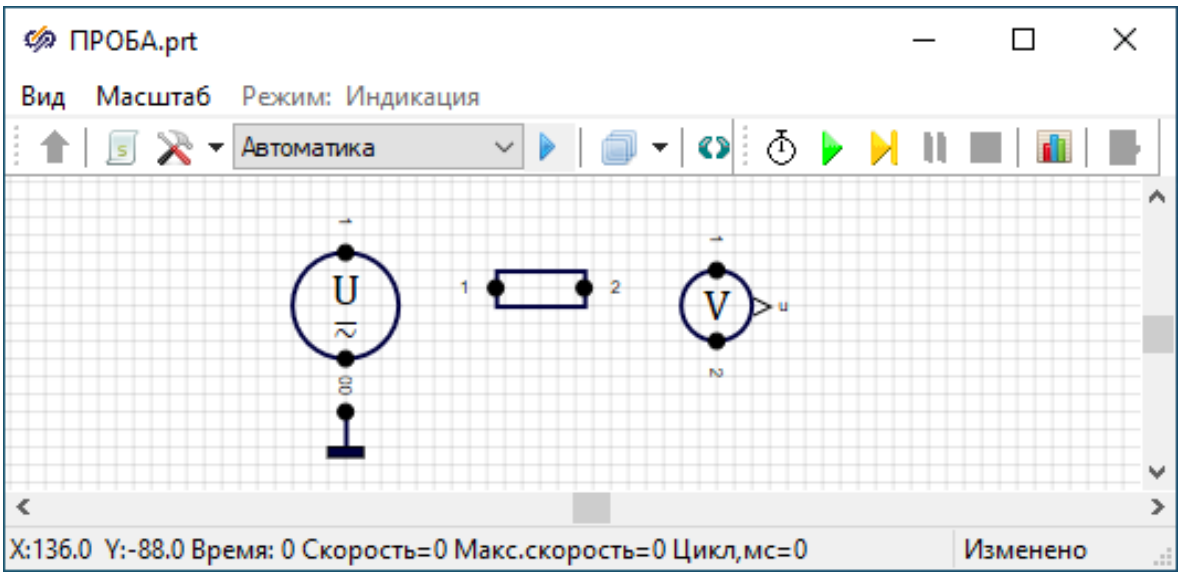


Рис. 1.9

4. Развернуть блок **RLC-цепь**, выделив его, нажать правую клавишу мыши и выбрать в появившемся контекстном меню **Повернуть → 90 градусов по часовой стрелке** (рис. 1.10).

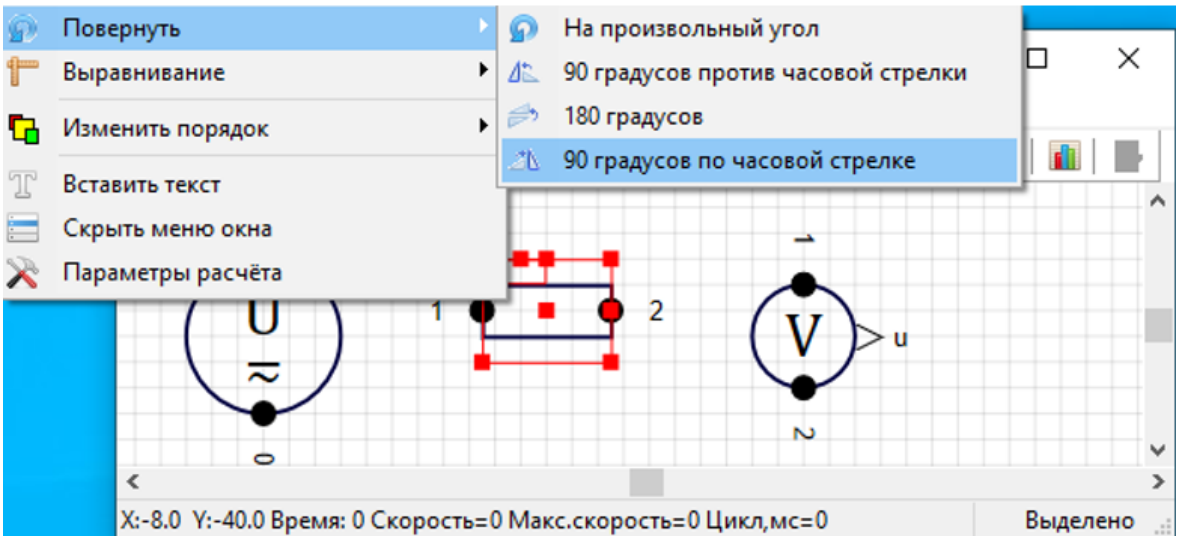


Рис. 1.10

5. Свойства блоков задаются через окно **Свойств**, которое либо выбирается в контекстном меню для выбранного блока (рис. 1.11), либо открывается двойным щелчком по выбранному блоку.

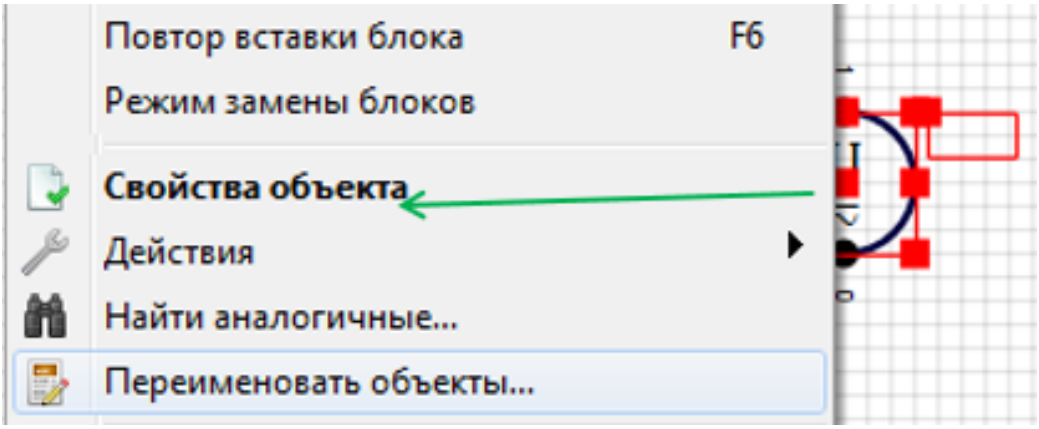


Рис. 1.11

Блоки могут иметь порты для образования как электрических связей расчетной электрической схемы, так и математических связей для передачи сигналов управления.

Открыть последовательно окно **Свойств** для блоков **Источник напряжения** и **RLC-цепь** и задать для них на закладке **Свойства** значения параметров, указанные на рис. 1.12, 1.13.

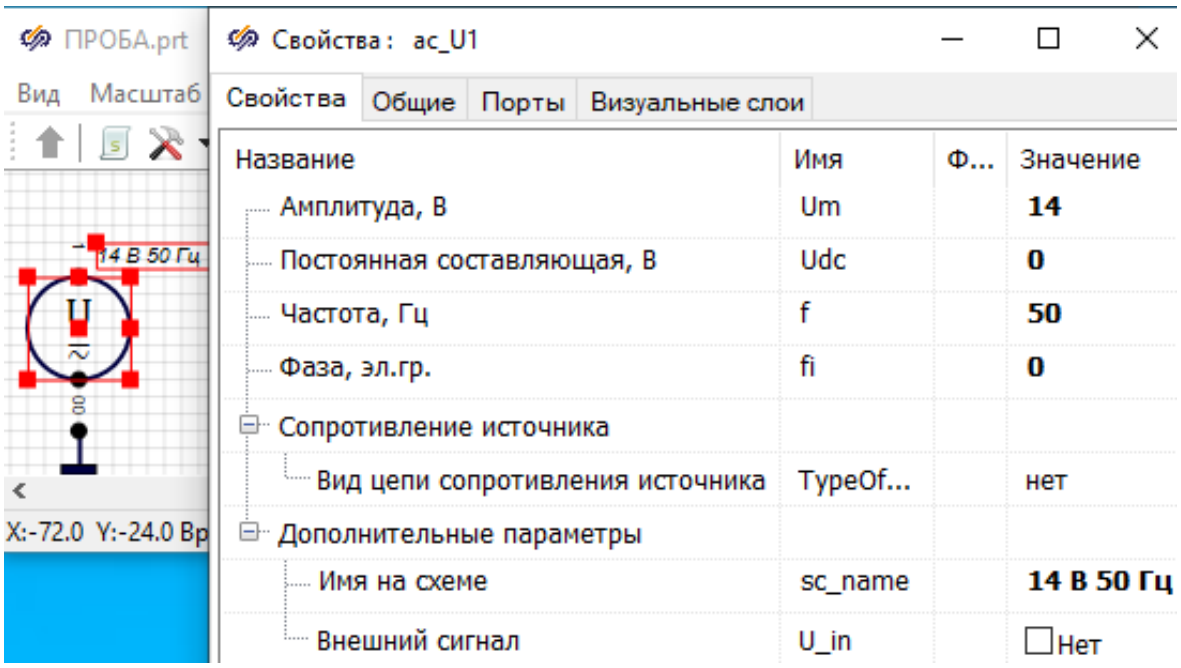


Рис. 1.12

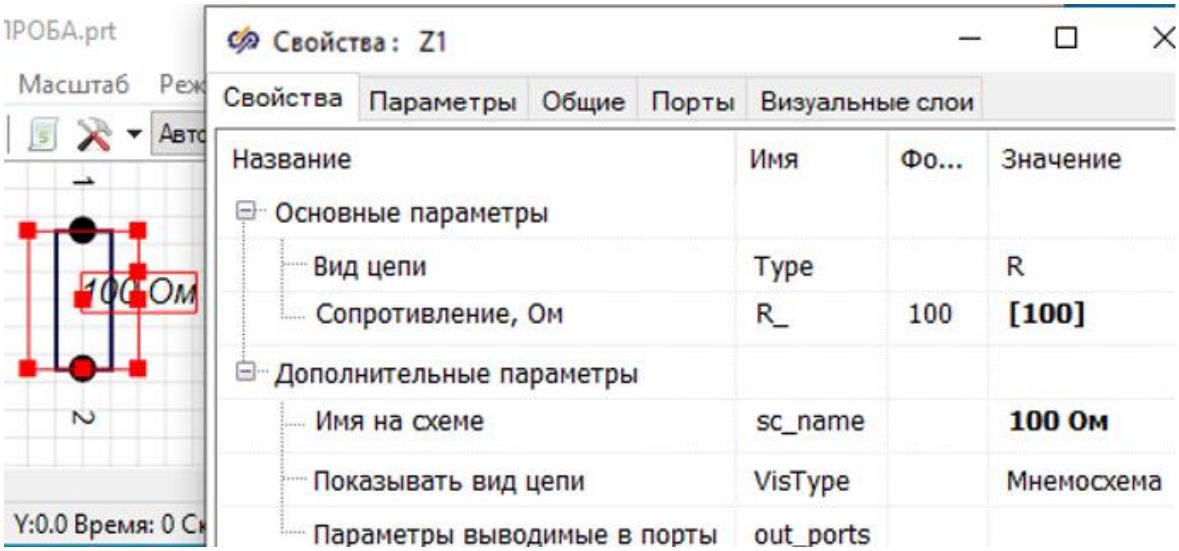


Рис. 1.13

6. Чтобы соединить два расположенных на схеме блока, необходимо подвести курсор к выходному порту одного блока, сделать щелчок ЛКМ и, отпустив кнопку (курсор превратиться в стрелку вида ↑), протянуть линию связи к входному порту другого блока, а затем снова сделать 1-кратный щелчок ЛКМ [2].

Чтобы сделать «ответвление» от линии, необходимо ее выделить ЛКМ в требуемом месте, нажать правую кнопку мыши и выбрать в появившемся контекстном меню команду «**Действия → Добавить ветвь**» (рис. 1.14).

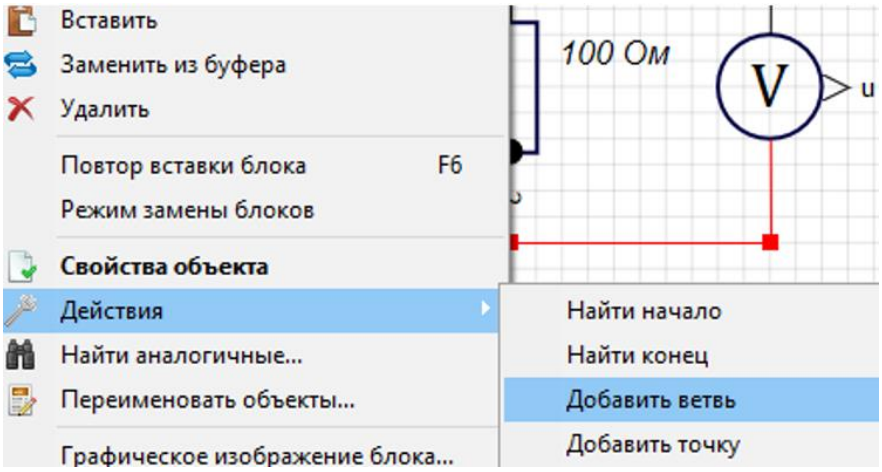


Рис. 1.14

В результате на линии появится новая точка, от которой можно провести ответвление до нужной точки.

Для удаления линии ее нужно выделить ЛКМ и нажать клавишу «**Delete**».

Добавить в схемное окно проекта:

– второй блок **RLC-цепь**;

– блок **Временной график** из палитры **Вывод данный**.

Задать в окне **Свойств** для второго блока **RLC-цепь** значения параметров, указанные на рис. 1.13.

Добавьте подпись к блоку **Временной график**, переместив курсор под него и найдя положение курсора, при котором он изменит свою форму на стрелку со знаком вопроса. После этого сделайте двойной щелчок ЛКМ. Переместите курсор в появившееся окно для ввода текста, сделайте щелчок ЛКМ и введите «**Вывод**».

Соединить между собой блоки, как показано на рис. 1.15.

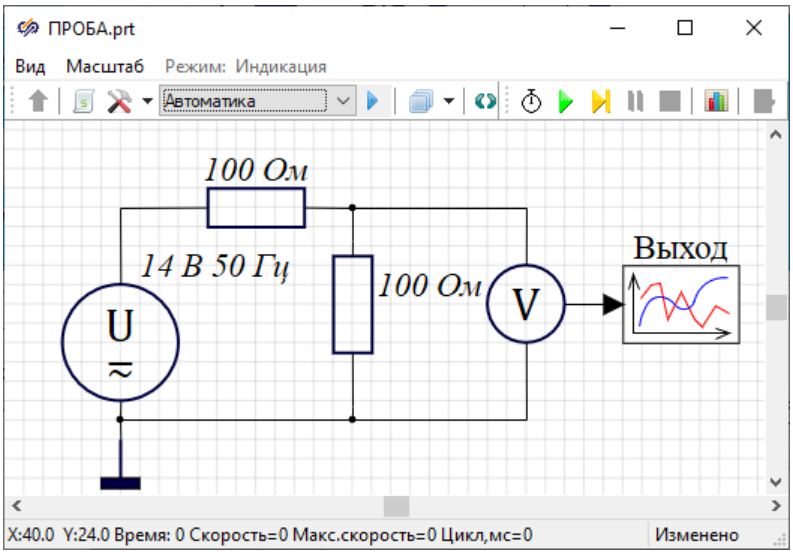


Рис. 1.15

7. Перед запуском модели электрической цепи требуется, исходя из параметров электрической цепи, задать необходимые значения параметров расчета. Для этого нужно нажать кнопку **Параметры расчета** схемного окна проектов. В результате откроется диалоговое окно **Параметры проекта**, на закладке **Параметры расчета** которого необходимо задать значения, указанные на рис. 1.16.

Параметры проекта: H:\умк\Компьютерное моделирование\SimInTech\M

Параметры расчёта | Синхронизация | Рестарт | База данных | Вид

Название	Имя	...	Значение
Основные параметры			
Абсолютная ошибка	abserr		**1E-6**
Конечное время расчёта	endtime		**0.02**
Максимальный шаг	hmax		**0.0002**
Метод интегрирования	intmet		**Эйлера**
Минимальный шаг	hmin		**0.0002**
Начальное время расчёта	starttime		**0**
Начальный шаг интегрирования ...	startstep		**0**
Относительная ошибка	relerr		**0.001**
Относительная ошибка сравнен...	time_r...		**1E-10**

Рис. 1.16

Для параметра **Метод интегрирования** оставить значение по умолчанию – метод **Эйлера**, который может использовать только фиксированный шаг, а все остальные методы могут использоваться как с фиксированным шагом, так и с автоматическим выбором шага.

Конечное время расчета *endtime* выбрать равным 0,02 с, что соответствует одному периоду гармонического напряжения **Источника напряжения** частотой 50 Гц.

Минимальный шаг интегрирования, который задает ограничение снизу на шаг интегрирования, выберем в 100 раз меньше конечного времени интегрирования. Следует иметь в виду, что в системе SimInTech целая часть числа должна отделяться от дробной части точкой, поэтому значение **Минимального шага** в окне **Параметры расчета** должно быть задано в секундах как **0.0002** (рис. 1.16).

Максимальный шаг для метода интегрирования Эйлера должен равняться минимальному шагу (см. рис. 1.16).

Относительная ошибка (точность) по умолчанию **0.001**. Не следует задавать это значение больше 0.01 или меньше 1e-10.

Дополнительно устанавливаются следующие параметры:

Абсолютная ошибка по умолчанию **1e-10**. Она оказывает существенное влияние на выбор величины шага только в тех случаях, когда значения некоторых переменных близки к нулю.

Начальный шаг интегрирования по умолчанию установлен равным **0** – это обозначает, что он устанавливается автоматически.

Приблизительное значение шага вывода результатов в графические окна можно задать в списке **Управление расчетом** с помощью параметра **Шаг синхронизации задачи**, для которого рекомендуется задавать значение равное максимальному шагу интегрирования, но не менее ***endtime/1000***.

На закладке **Синхронизация** окна **Параметры проекта** нужно выбрать пункт **Синхронизировать с реальным временем** и в поле **Коэффициент ускорения** указать значение равное **1**, что будет соответствовать расчету в реальном масштабе времени.

8. Запустить процесс моделирования, нажав на кнопку **Пуск** на Панели инструментов или на клавишу F9.

По окончании расчета в строке отображения расчетной информации Схемного окна должна появиться надпись: «**Конечное время достигнуто…**», в противном случае в схеме была допущена ошибка.

Результаты моделирования можно увидеть на экране блока **Временной график** в виде временной зависимости, выполнив по нему двойной щелчок ЛКМ (рис. 1.17).

9. Чтобы увеличить масштаб в нужной части графика, необходимо навести курсор на нее и, удерживая ЛКМ нажатой, выполнить движение мышью по направлению «вправо-вверх» или «вправо-вниз». Для восстановления исходного вида графика требуется повторить ту же процедуру, только выполнить движение нажатой ЛКМ по направлению «влево-вверх» или «влево-вниз». Перемещение видимой части графика производится перемещением мыши с нажатой правой кнопкой мыши [2].

Определить по графику амплитудное значение напряжения, увеличив нужную часть графика, и убедиться, что оно равно 7 В. Установить исходный вид графика.

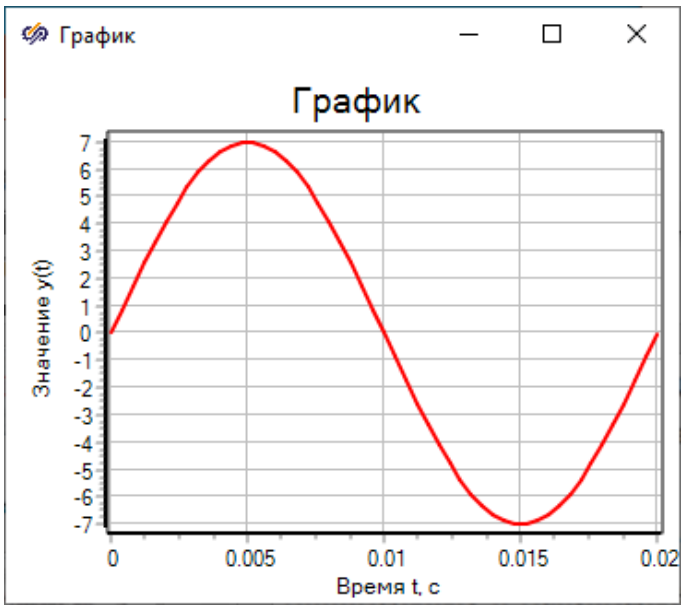


Рис. 1.17

10. Переместить курсор в центральную часть окна графика и сделать щелчок правой кнопкой мыши. В результате появится контекстное меню (рис. 1.18), в котором можно выбрать команды для копирования в буфер обмена, экспорта в файл, распечатывания и сохранения в текстовый файл изображения графика и т.д.

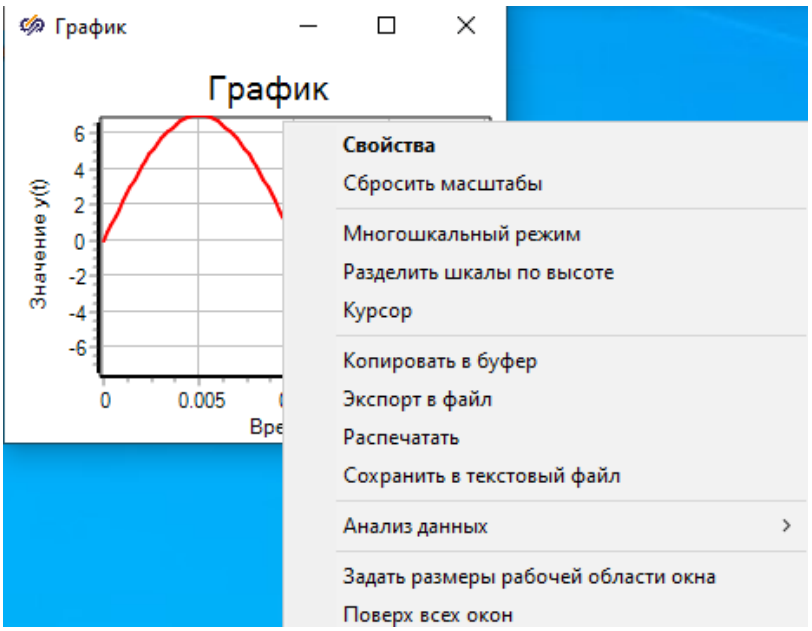


Рис. 1.18

Если выбрать в контекстном меню пункт **Курсор**, то рядом с курсором появится перекрестие, которое можно переместить на точку, для вычисления ее координат (рис. 1.19). Для отмены команды необходи-мо снова открыть контекстное меню и отключить эту команду.

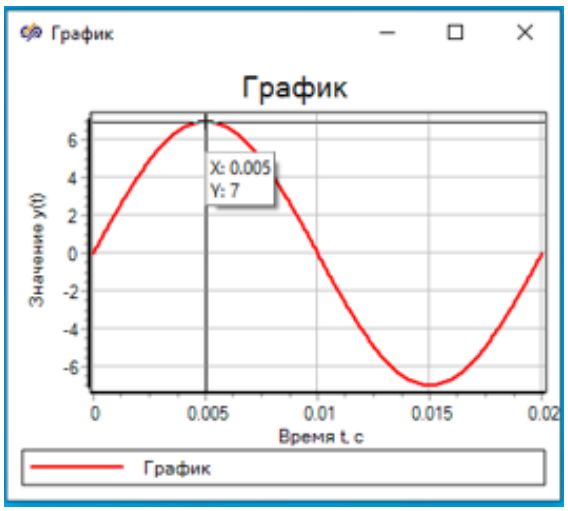


Рис. 1.19

Пункт **Свойства** в контекстном меню позволяет открыть диалоговое окно с заголовком **Свойства графика** (рис. 1.20), в котором задаются настройки таких его параметров как: название и тип графика; стиль и толщину линии; различные настройки по **Оси X** и **Оси Y**, заголовок графика и т.д.

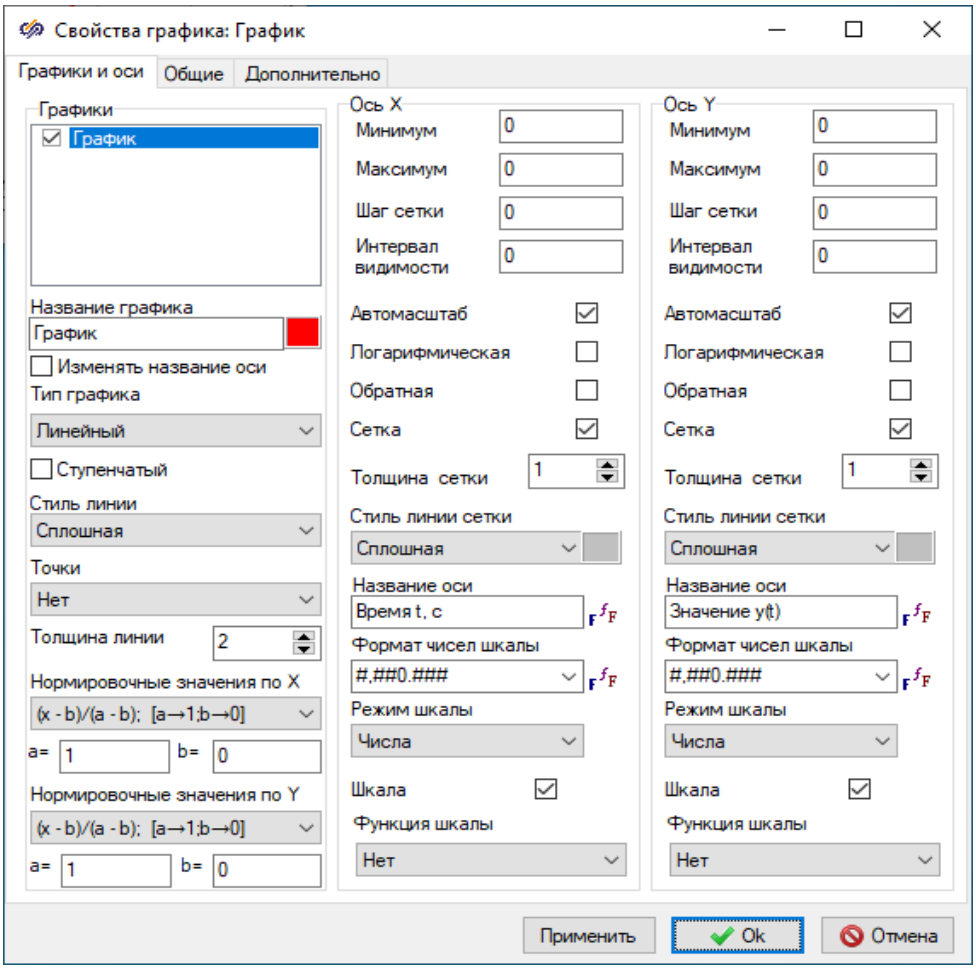


Рис. 1.20

Отчет

Задайте для модели рис. 1.15 значения амплитуды и частоты блока **Источник напряжения** и сопротивление блоков **RLC-цепь** равным номеру варианта.

Установить конечное время расчета равным одному периоду гармонического сигнала на выходе блока **Источник напряжения** и вставить в отчет по лабораторной работе полученное окно проекта с указанием значений параметров для своего варианта, а также полученный график зависимости на экране блока **Временного графика**.

Контрольные вопросы

1. Какие библиотеки в системе SimInTech используются для моделирования электрических цепей и чем они отличаются?
2. Какова последовательность построения модели в окне проектор в системе SimInTech?
3. Каким образов выполняется вставка блоков в окно проектов?
4. Каким образов выполняется поворот блоков в окне проектов?
5. Каким образов задаются свойства блоков в окне проектов?
6. Как выполняется соединение блоков в окне проектов?
7. Как сделать, чтобы один и тот же сигнал поступал на несколько блоков?
8. Как удалить блок или связь между блоками?
9. Какие расчетные параметры задаются для выполнения моделирования?
10. Из каких соображений выбирается время моделирования?
11. Как выбирается значение шага при выборе моделирования с фиксированным шагом?
12. Как осуществляется запуск на моделирование в системе SimInTech?
13. Для чего предназначен блок **Временной график**?
14. Как можно увеличить фрагмент графика?
15. Как можно копировать в буфер обмена, экспортировать в файл, распечатывать и сохранять в текстовом файле изображения блока **Временной график**?
16. Каким образом можно определить координаты заданных точек на графике?
17. Какие настройки существуют в окне **Свойств Окна графика**?

Лабораторная работа № 2

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЦЕПЕЙ ПОСТОЯННОГО ТОКА В СИСТЕМЕ SimInTech

Цель работы: знакомство с основными возможностями системы SimInTech по моделированию электрических цепей постоянного тока.

Рабочее задание

1. Собрать в окне проектов системы SimInTech цепь постоянного тока (рис. 2.1).

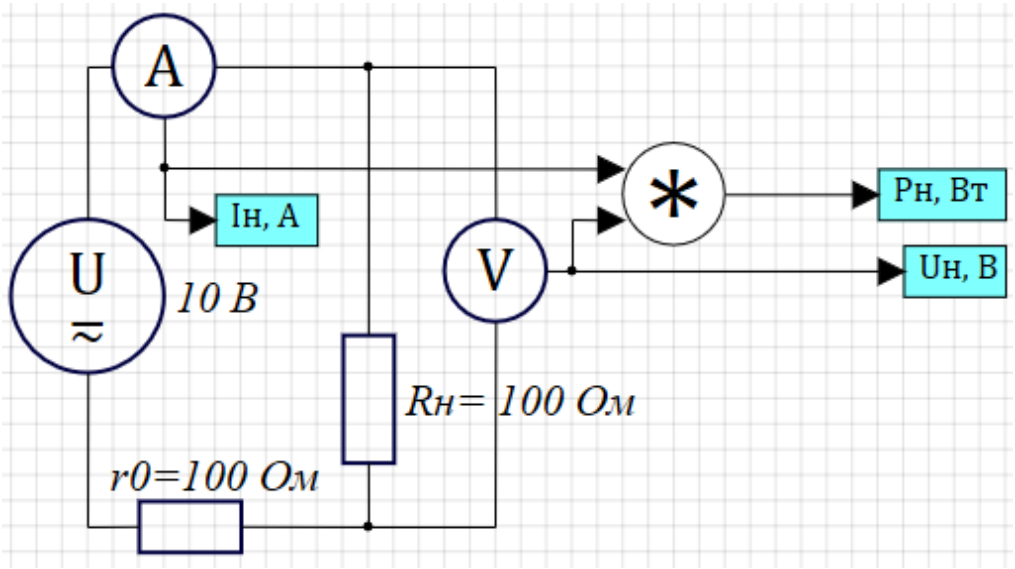


Рис. 2.1

Для этого из библиотеки **ЭЦ – Динамика** выбрать следующие блоки:

– блок **Источник напряжения** из закладки **Источники**;

– два блока **RLC-цепь** из закладки **Электротехнические элементы**;

– блоки **Вольтметр идеальный** и **Амперметр идеальный** из закладки **Измерители**.

Добавить блок **Перемножитель** из библиотеки **Операторы** и три блока **Порт выхода** из библиотеки **Субструктуры**.

2. Задать в окне свойств для блоков **Источник напряжения** и **RLC-цепь** значения параметров, приведенные на рис. 2.2–2.4.

Свойства : ac_U1

Свойства | Общие | Порты | Визуальные слои

Название	Имя	Формула	Значение
Амплитуда, В	Um		0
Постоянная составляющая, В	Udc		**10**
Частота, Гц	f		0
Фаза, эл.гр.	fi		0
Сопротивление источника			
Вид цепи сопротивления ис...	TypeOf...		R
Активное сопротивление, Ом	R		**0.01**
Дополнительные параметры			
Имя на схеме	sc_name		**10 В**
Внешний сигнал	U_in		☐Нет

Рис. 2.2

Свойства : Z1

Свойства | Параметры | Общие | Порты | Визуальные слои

Название	Имя	Фо...	Значение
Основные параметры			
Вид цепи	Type		R
Сопротивление, Ом	R_		**[100]**
Дополнительные параметры			
Имя на схеме	sc_name		**Rн=100 Ом**
Показывать вид цепи	VisType		Мнемосхема
Параметры выводимые в порты	out_ports		

Рис. 2.3

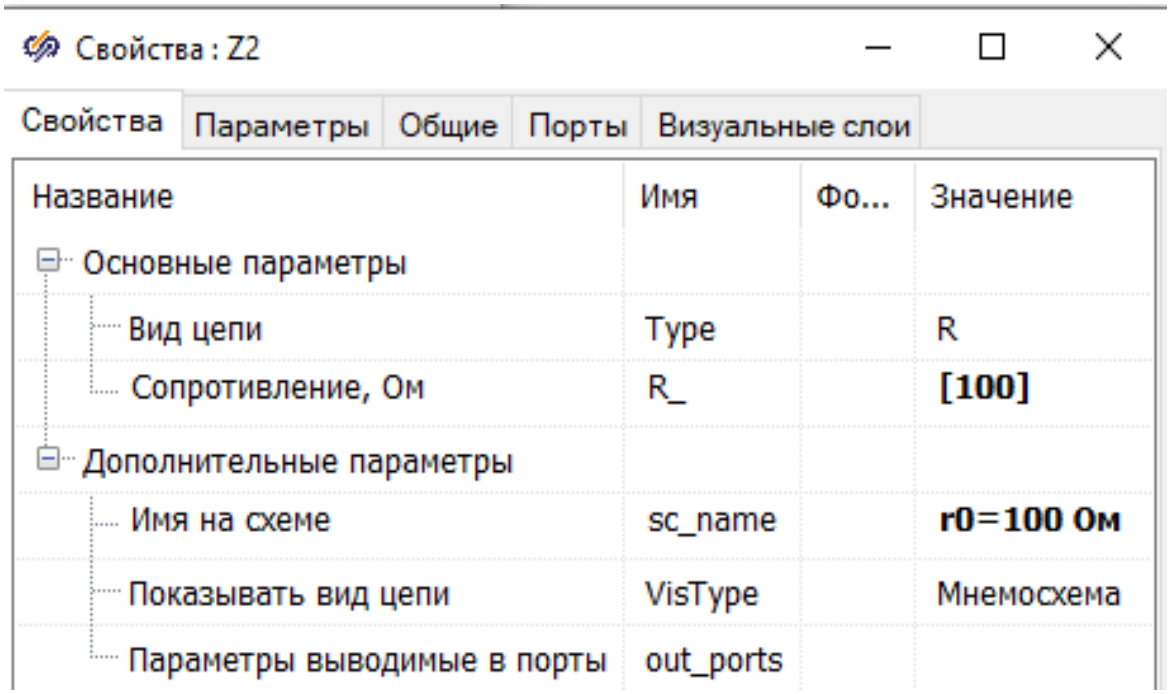


Рис. 2.4

Для блоков **Порт выхода** задать значения **Имена портов субмодели** в соответствии с рис. 2.1, выполнив по ним двойной щелчок ЛКМ.

3. Нажать кнопку **Параметры расчета** схемного окна проектов и задать **Конечное время расчета** в секундах равным **1**, а **Минимальный шаг** и **Максимальный шаг** интегрирования задать равным **0.01**.

Запустить процесс моделирования, нажав на кнопку **Пуск**.

После появления в строке отображения расчетной информации Схемного окна надписи: «**Конечное время достигнуто…**» нажать клавишу **Показать значения на линиях связи** .

На рис. 2.5 приведены результаты моделирования для значения сопротивления правого блока **RLC-цепь** – *R*н = 100 Ом.

4. Провести моделирование для схемы рис. 2.5, задав постоянную составляющую напряжения источника в вольтах равной номеру варианта, а значение внутреннего сопротивления *r*0 и сопротивления нагрузки *R*н в омах, равными номеру варианта плюс 50.

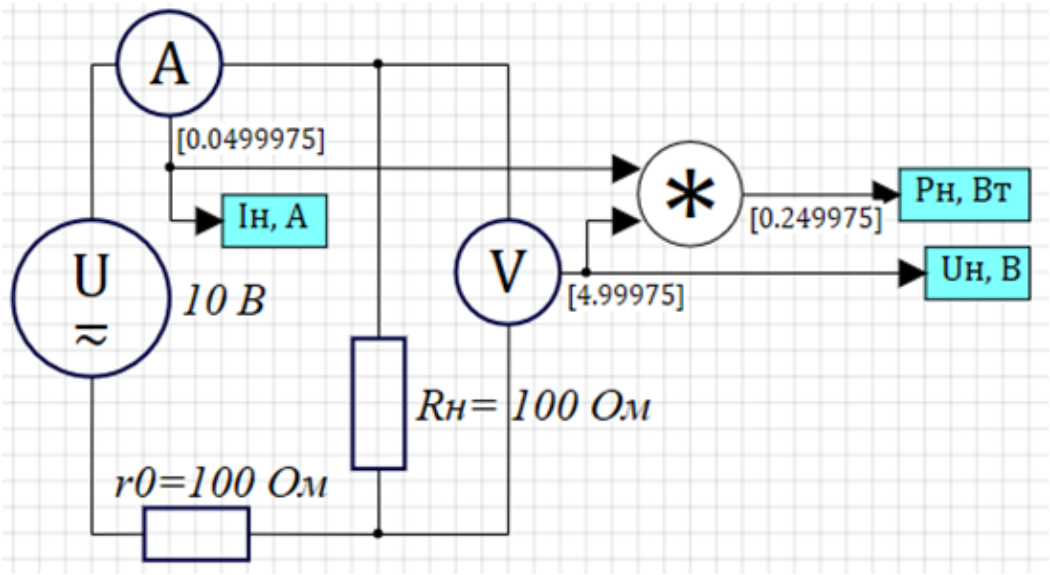


Рис. 2.5

Отчет Вставить в отчет по лабораторной работе содержимое полученного окна проекта с указанием на схеме значений всех параметров для вашего варианта.

5. Собрать в окне проектов системы SimInTech цепь постоянного тока для снятия вольт-амперной характеристики (ВАХ) (рис. 2.6).

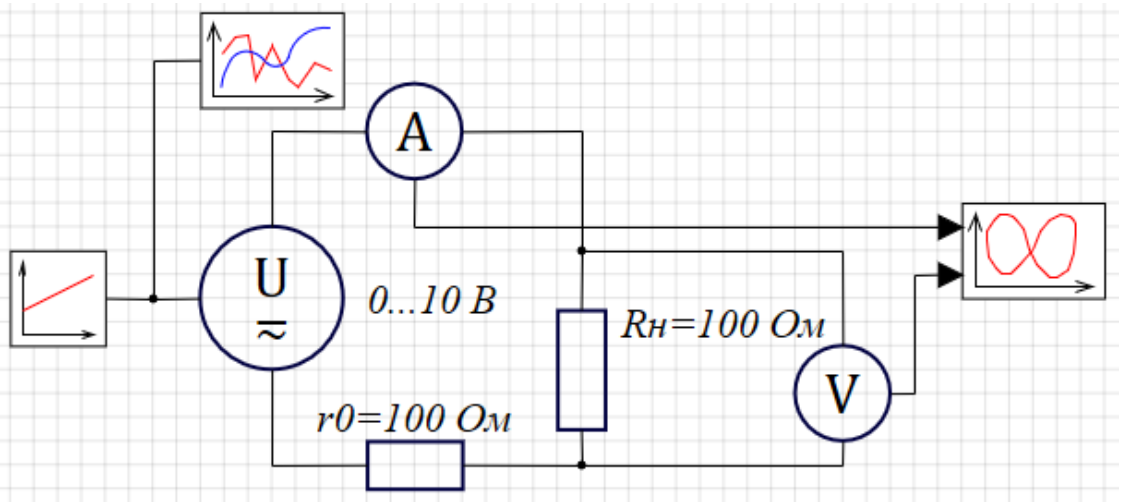


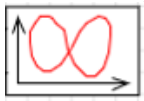
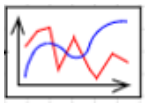
Рис. 2.6

Для этого из библиотеки **ЭЦ – Динамика** выбрать:

– блок **Источник напряжения** из закладки **Источники**;

– два блока **RLC-цепь** из закладки **Электротехнические элементы**;

– блоки **Вольтметр идеальный** и **Амперметр идеальный** из закладки **Измерители**.

Добавить в схемное окно проекта из библиотеки **Вывод данных** блок **Фазовый портрет**  и блок **Временной график**  .

Порты математической связи вывода мгновенного значения тока **i** блока **Амперметр идеальный** и напряжения **u** блока **Вольтметр идеальный** подключить к входам блока **Фазовый портрет**, как показано на рис. 2.6.

6. Задать в окне свойств на закладке **Свойства** для блоков **RLC** значения свойств в соответствии с рис. 2.3–2.4.

7. Задать в окне свойств на закладке **Свойства** для блока **Источник напряжения** значение свойств в соответствии с рис. 2.7.

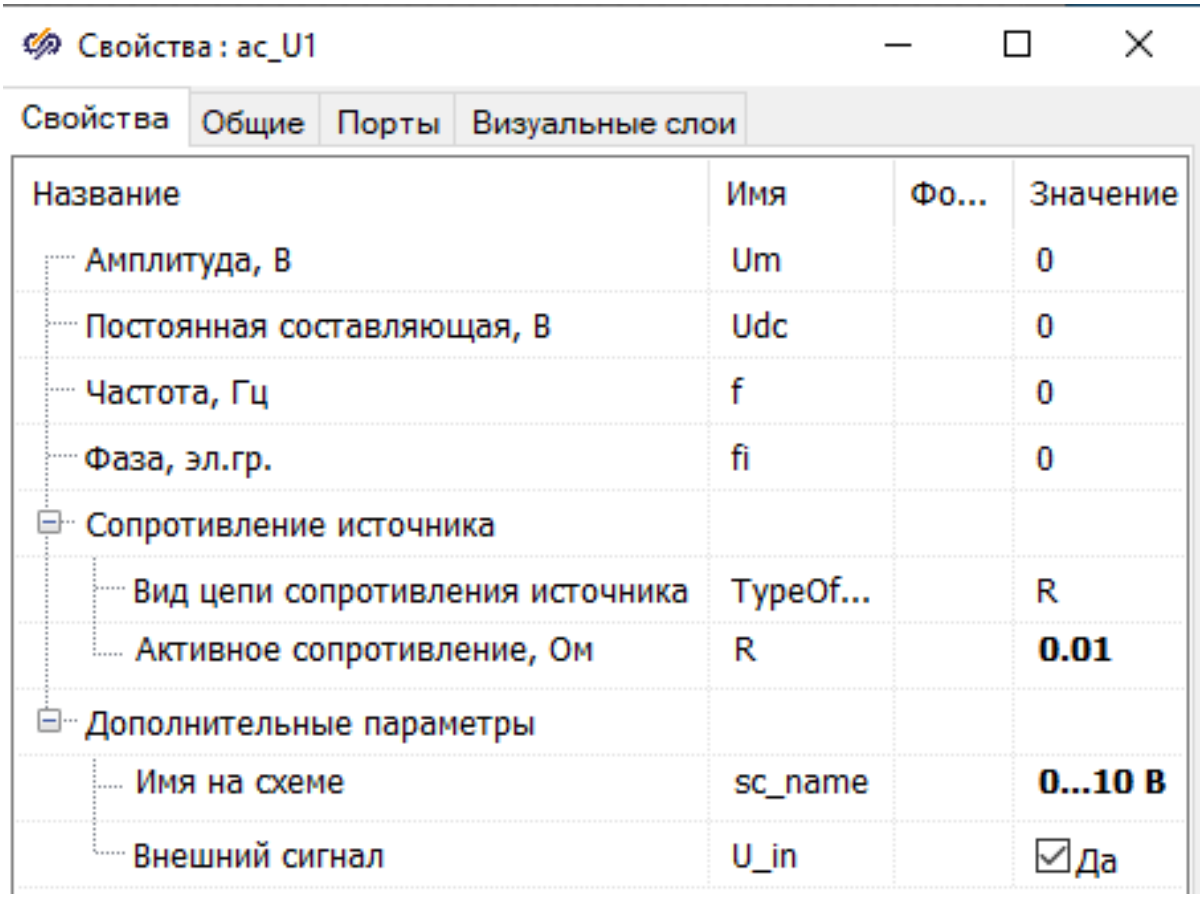


Рис. 2.7

В результате установки значения параметра **Дополнительные параметры → Внешний сигнал → Да** слева у блока **Источник напряжения** появится порт математической связи **us**, предназначенный для управления значением напряжения источника.

В качестве внешнего сигнала для блока **Источник напряжения** использовать блок **Линейный источник** из библиотеки **Источники**, выходной сигнал которого подает также на блок **Временной график**.

Блок **Линейный источник** формирует значение выходного сигнала в функции времени как $y(t) = a + b \cdot t$. Задать для него на закладке **Свойства** следующие значения свойств:

– свободный член – **a = 0**;

– коэффициент при t – **b = 10**.

8. Задать в окне **Параметры проекта**:

– значение параметра **Конечное время расчета**: равным **1** с;

– значение параметров **Минимальный шаг** (**Максимальный шаг**) равным **0.2**, чтобы количество точек для моделирования было равно пяти, не считая начальной точки;

– значение параметра **Управление расчетом → Шаги, на которых данные выводятся на график → Все шаги**.

Запустить на моделирование полученную модель, нажать клавишу **Показать значения на линиях связи**. В результате на портах математической связи амперметра и вольтметра выведутся значения тока и напряжения на сопротивлении нагрузки *R*н (рис. 2.8).

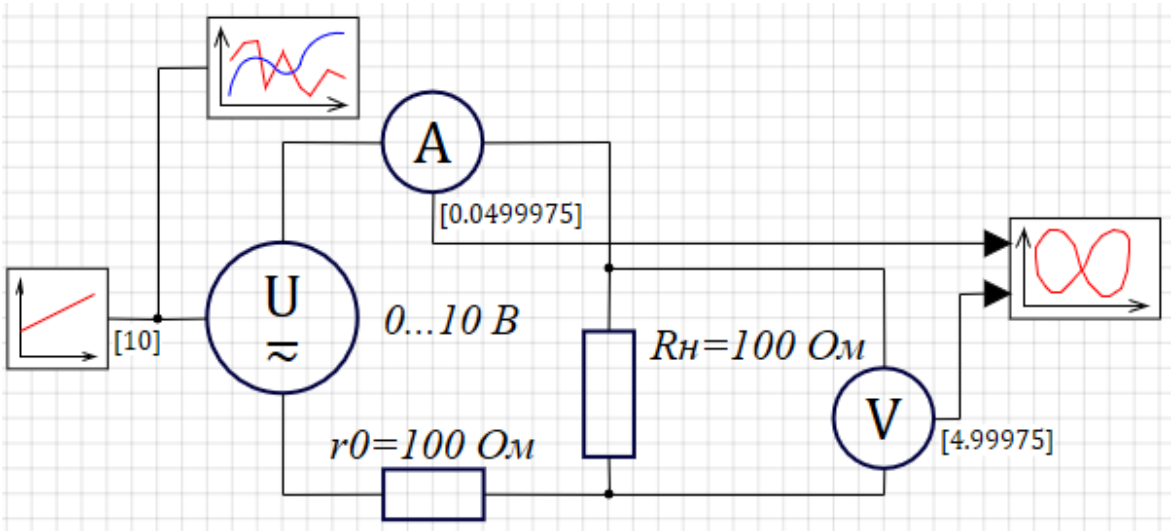


Рис. 2.8

Открыть двойным щелчком графические окна блоков **Фазовый портрет** и **Временной график** и посмотреть результаты моделирования в них.

Задать в окне свойств для графических окон значения следующих параметров: стиль и толщину линии, вид точек на графике, название осей на закладке **Графики и оси**, а также название графика на закладке **Общие** в соответствии с рис. 2.9–2.10.

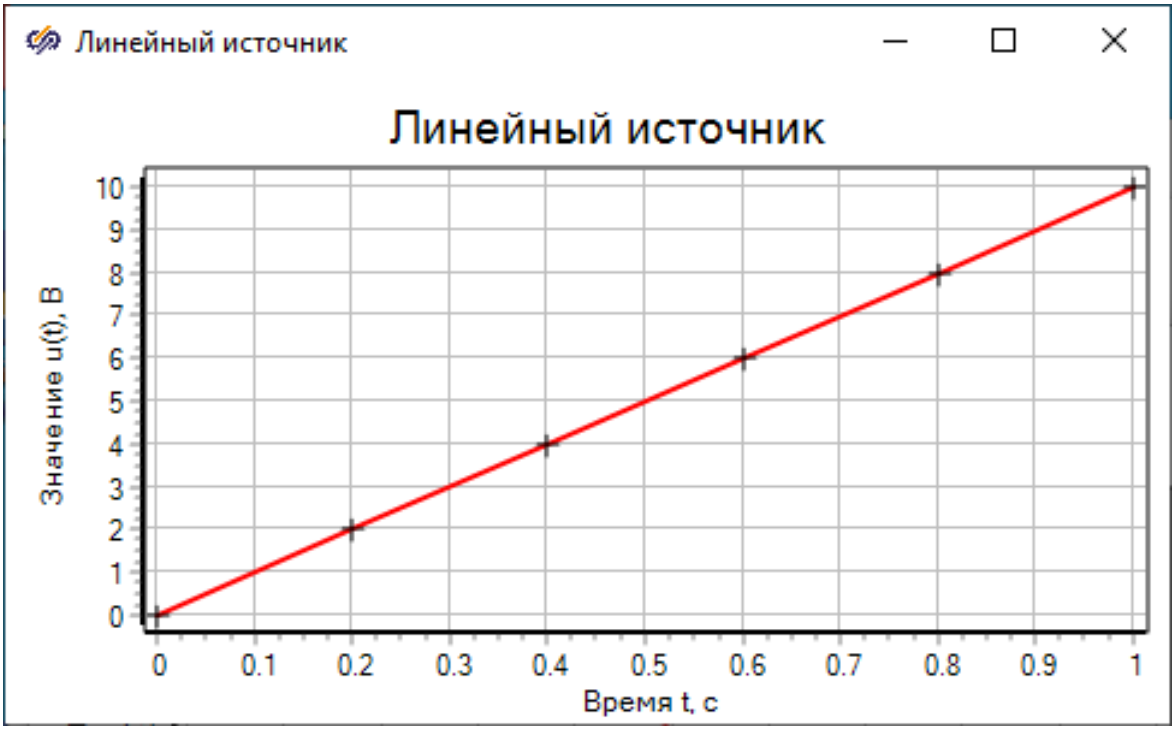


Рис. 2.9

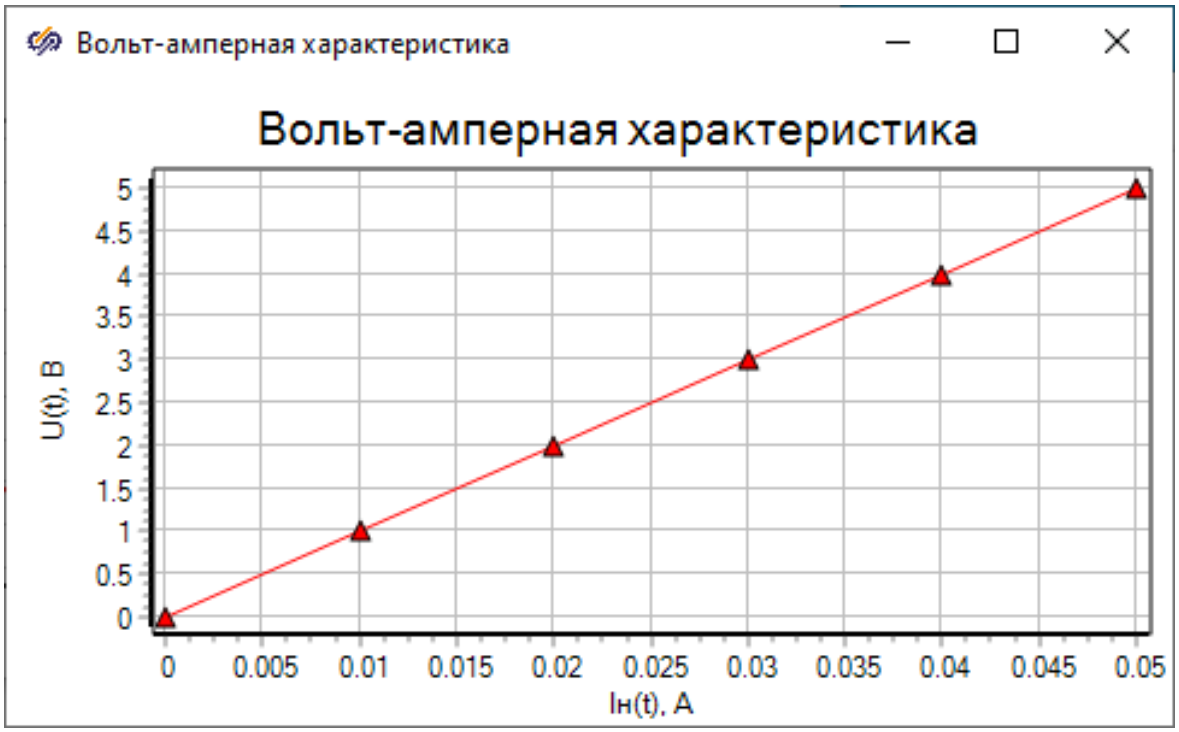


Рис. 2.10

9. Провести моделирование для схемы рис. 2.8, задав значения сопротивления **r0** и **Rн** в омах, равным номеру варианта плюс 50.

Отчет

Вставить в отчет по лабораторной работе содержимое полученного окна проекта с указанием на схемах значений всех параметров для вашего варианта, а также содержимое графических окон **Временной график** и **Фазовый портрет** с текущими результатами моделирования для своего варианта.

Провести анализ полученных графиков и сделать выводы о линейности ВАХ.

Определить по результатам эксперимента для двух любых точек на графике ВАХ их координаты и сделать вывод о выполнении закона Ома.

10. Собрать в окне проектов системы SimInTech цепь постоянного тока для снятия нагрузочной прямой *U*н(*I*н) и зависимости мощности на сопротивлении нагрузки *R*н от тока, протекающего через него *P*н(*I*н). Схема включает в себя блоки, приведенные на рис. 2.11.

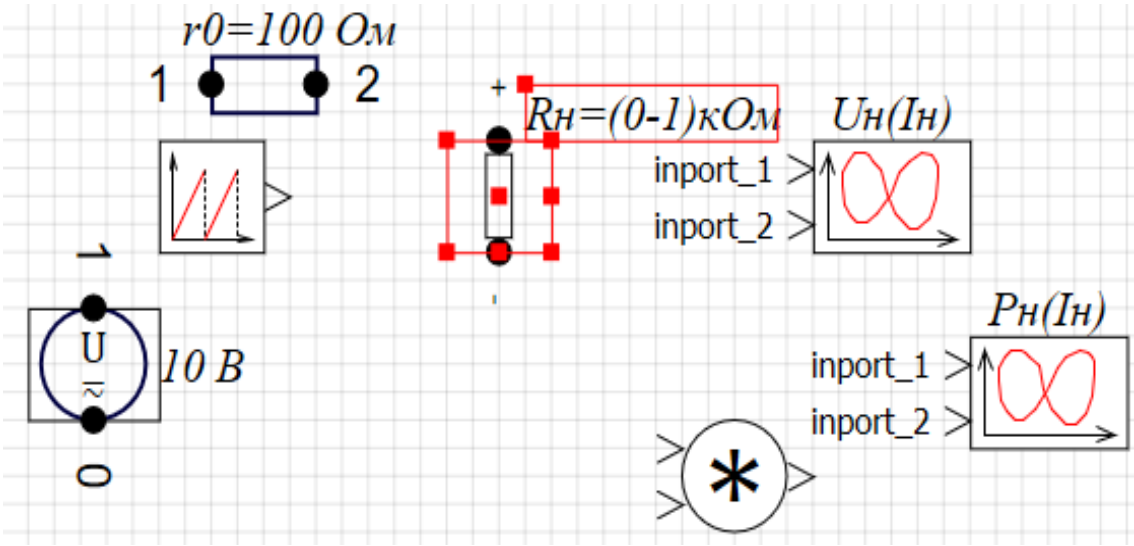


Рис. 2.11

Из библиотеки **ЭЦ – Динамика** выбрать:

– блок **Источник напряжения** из закладки **Источники**;

– блок **RLC-цепь** из закладки **Электротехнические элементы**;

– блок **Обобщенная-цепь** из закладки **Элементы для разработчика** (в палитре R-L-C), который используется в качестве переменного сопротивления нагрузки *R*н (выделен на рис. 2.11).

Добавить блок **Перемножитель** из библиотеки **Операторы**, блок **Пила** из библиотеки **Источники** и два блока **Фазовый портрет** из библиотеки **Вывод данных**.

11. Задать в окне свойств:

– для блока **RLC-цепь** значения свойств в соответствии с рис. 2.4;

– для блока **Источник напряжения** значения свойств в соответствии с рис. 2.12;

– для блоков **Фазовый портрет** и **Обобщенная-цепь** значения свойства **Подпись блока** на закладке **Общие** в соответствии с рис. 2.11.

Задать в окне свойств для блока **Обобщенная-цепь** следующие значения свойств, приведенные на рис. 2.13.

Для свойства **Тип элемента цепи** выбрать из раскрывающегося списка значение **R**. Для свойства **Сопротивление элемента, Ом** задать в омах значение **1000**.

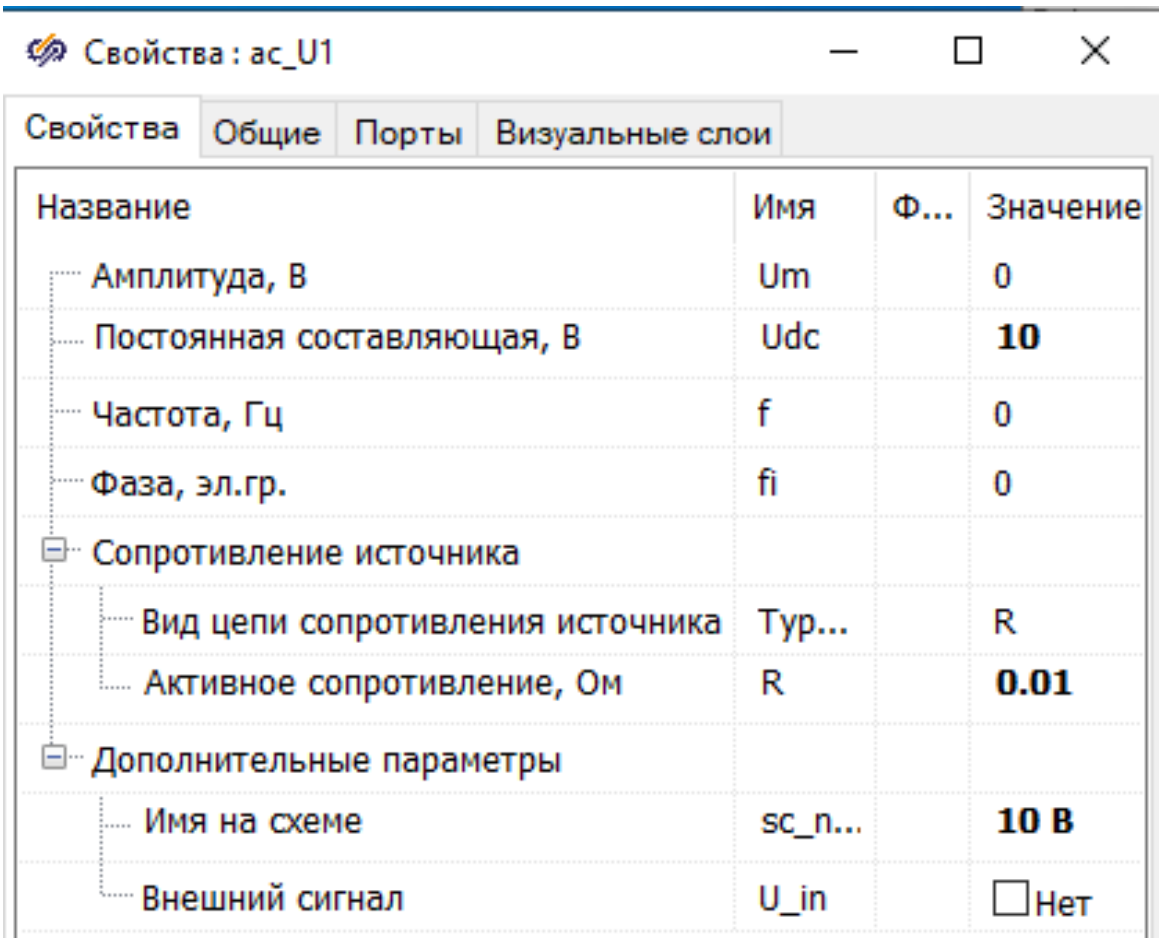


Рис. 2.12

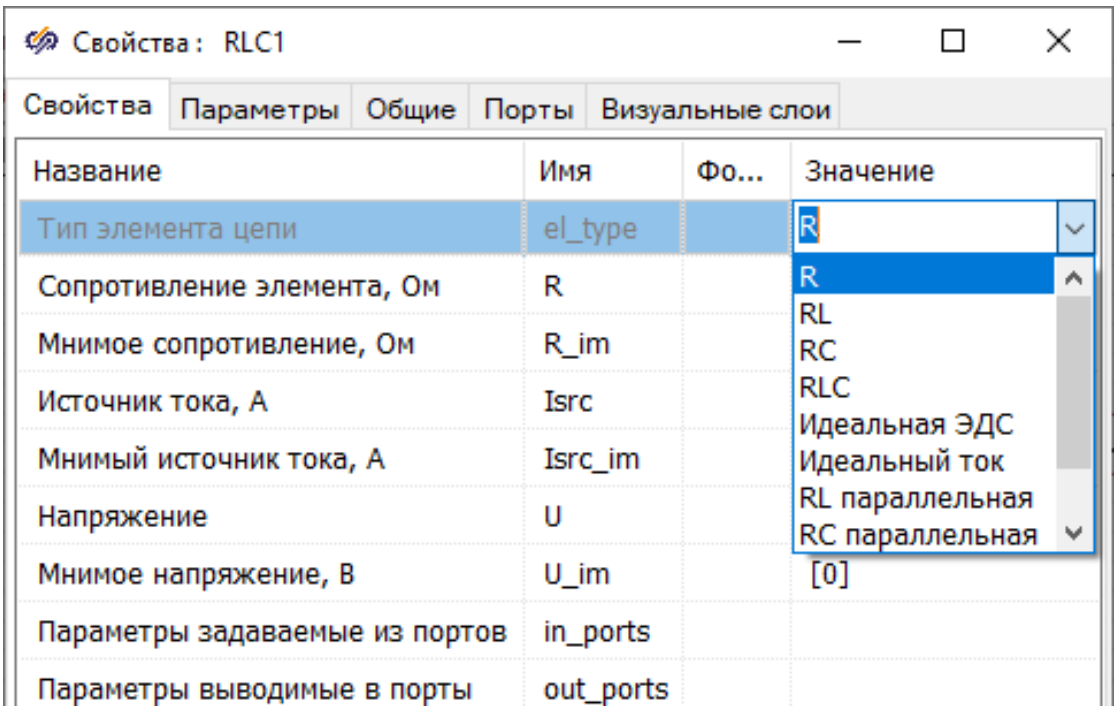


Рис. 2.13

Чтобы выбрать в окне свойств блока **Обобщенная-цепь** требуемые **Параметры задаваемые из портов**, необходимо навести курсор в этой строке на правую часть столбца **Значение** до появления кнопки и нажать на нее (рис. 2.14).

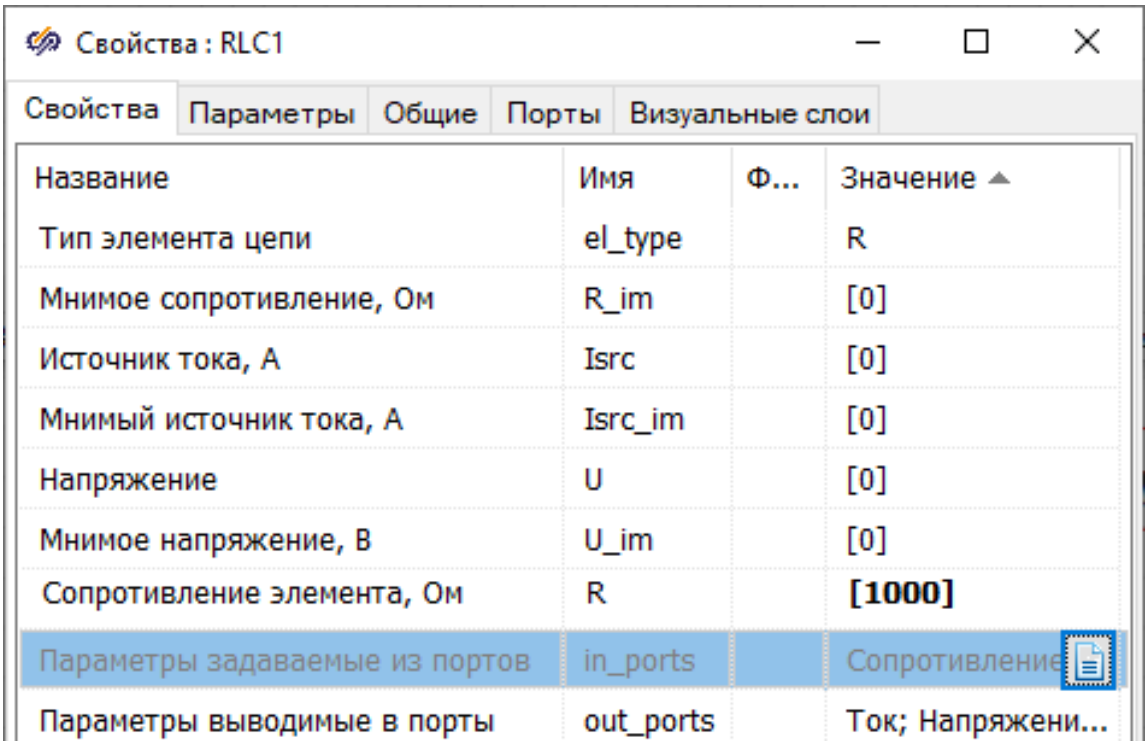


Рис. 2.14

В результате откроется окно **Выбор объектов из списка**, в котором можно выбрать требуемые **Источники** (на рис. 2.15 выбрано **Сопротивление**).

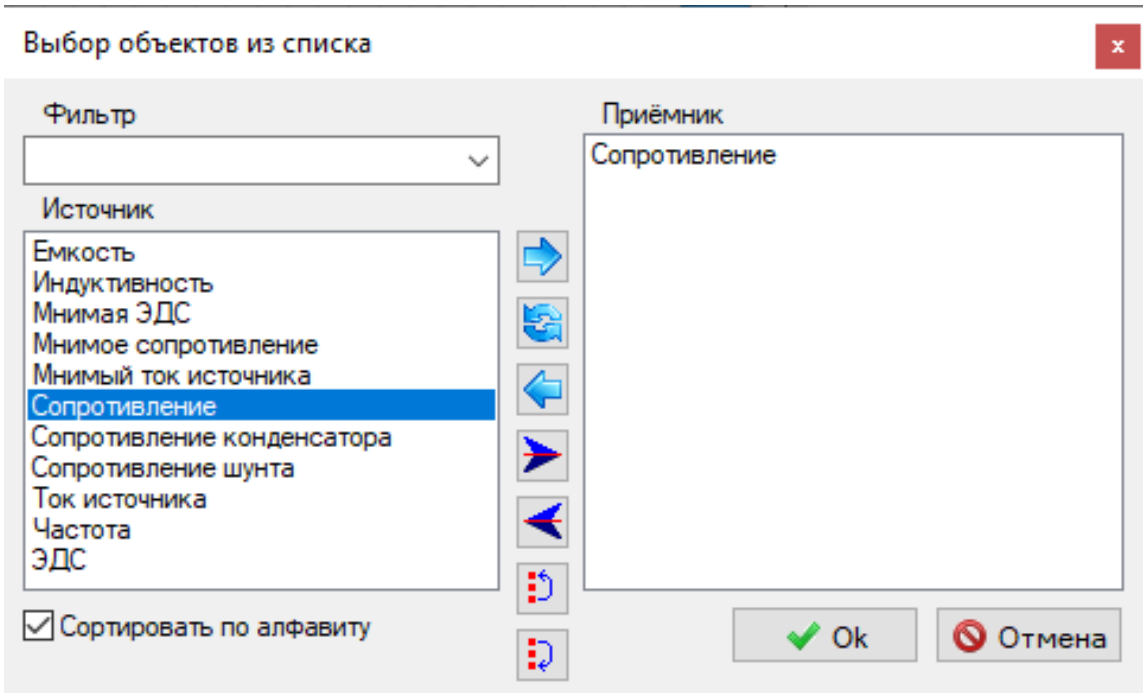


Рис. 2.15

Аналогично можно выбрать требуемые **Параметры выводимые в порты** (рис. 2.16).

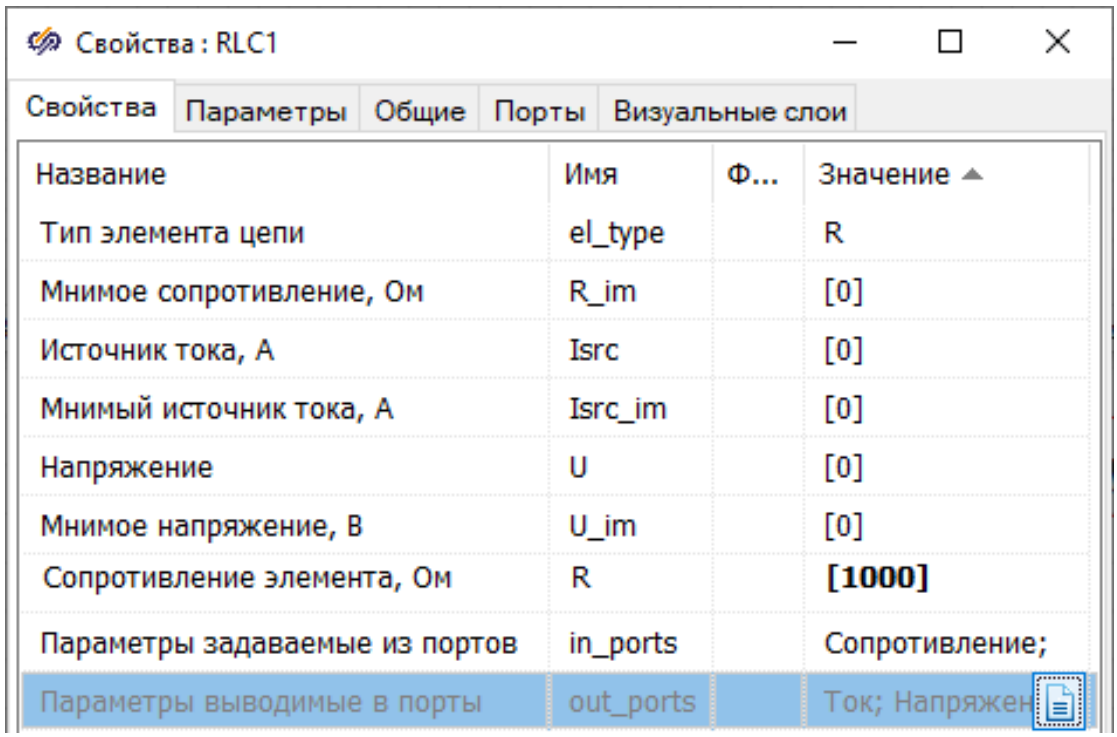


Рис. 2.16

При этом откроется окно **Выбор объектов из списка**, в котором можно выбрать требуемые **Источники** (на рис. 2.17 выбрано **Ток** и **Напряжение**).

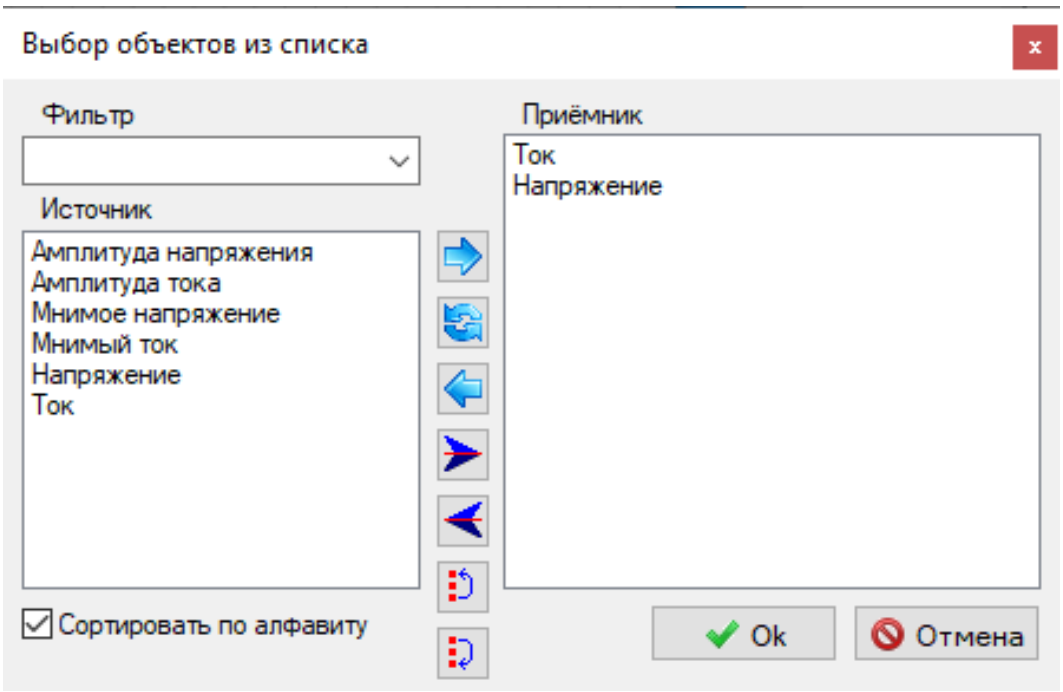


Рис. 2.17

В результате слева и справа от этого блока появятся три математических порта:

– **R** – для регулирования сопротивления в омах;

– **Ire** – для вывода вещественного значения тока, протекающего через блок;

– **Ure** – для вывода вещественного значения напряжения, падающего на блоке.

Задать в окне свойств для блока **Пила** значения параметров, указанные на рис. 2.18.

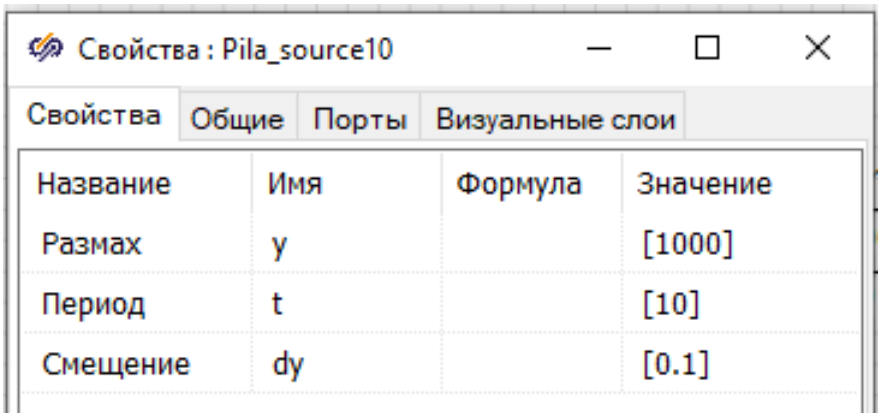


Рис. 2.18

12. Соединить блоки между собой в соответствии с рис. 2.19.

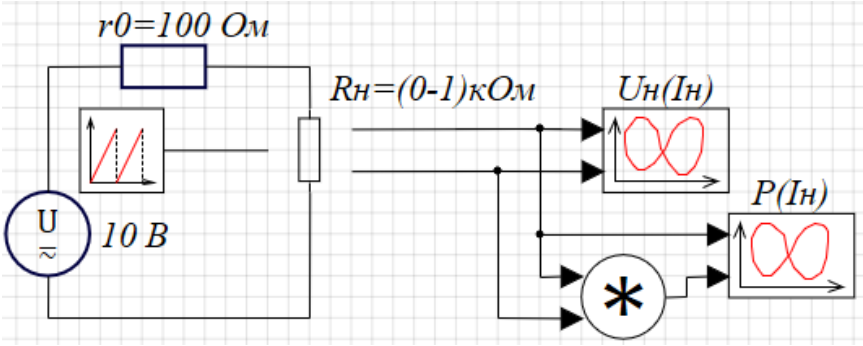


Рис. 2.19

Порт **R** блока **Обобщенная-цепь** подключить к выходу блока **Пила**.

Порт **Ire** блока **Обобщенная-цепь** подключить к верхним входам блоков **Фазовый портрет** и к входу блока **Перемножитель**.

Порт **Ure** блока **Обобщенная-цепь** подключить к нижнему входу блока **Фазовый портрет** (*U*н(*I*н)) и к входу блока **Перемножитель.**

Выход блока **Перемножитель** подключить к нижнему входу блока **Фазовый портрет** (*P*н(*I*н)).

13. Задать в окне **Параметры проекта**:

– для параметра **Конечное время расчета**: равным **10** с;

– значение параметров **Минимальный шаг** (**Максимальный шаг**) равным **0.001**.

Запустить на моделирование полученную модель и посмотреть результаты моделирования в графических окнах. Задать в окне свойств для графических окон значения параметров: стиль линии, название осей, а также название графиков в соответствии с рис. 2.20–2.21.

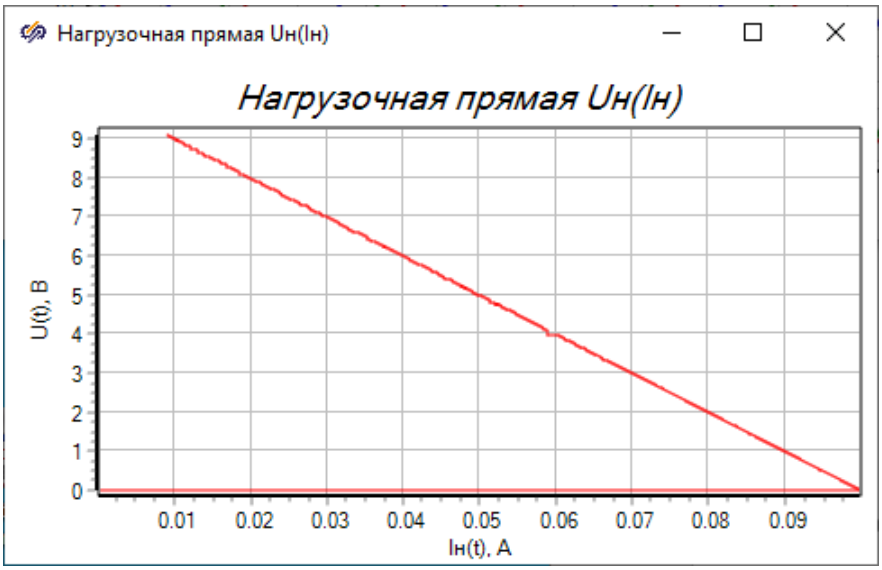


Рис. 2.20

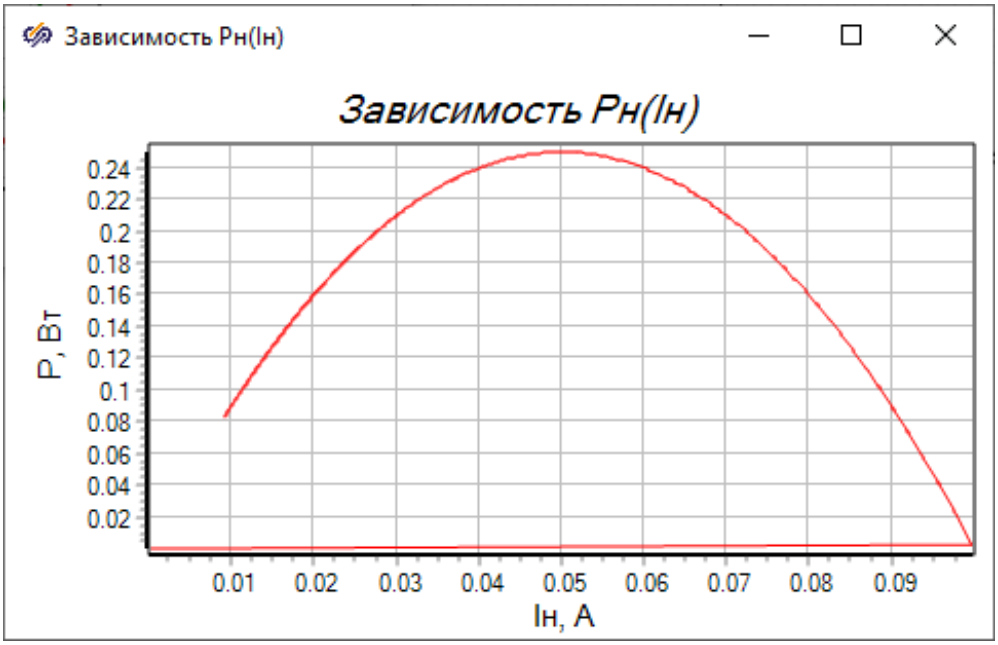


Рис. 2.21

14. Провести моделирование для схемы рис. 2.19, задав значение постоянной составляющей напряжения для блока **Источник напряжения** в вольтах, равным номеру варианта плюс 10.

Отчет

Вставить в отчет по лабораторной работе содержимое полученного окна проекта с указанием на схемах значений всех параметров для вашего варианта, а также содержимое графических окон **Фазовый портрет** с текущими результатами моделирования для своего варианта.

Провести анализ графика нагрузочной прямой и объяснить уменьшение напряжения Uн при увеличении тока Iн, принимая сопротивление $r0$ за внутреннее сопротивление источника напряжения.

Провести анализ графика Pн(Iн). Определить, при каком значении сопротивления Rн ему передается максимальная мощность от источника напряжения.

15. Заменить в модели рис. 2.19 блок **Пила** на блок **Кусочно-постоянная** из библиотеки **Источники** (рис. 2.22), который формирует на выходе произвольный многоступенчатый выходной сигнал.

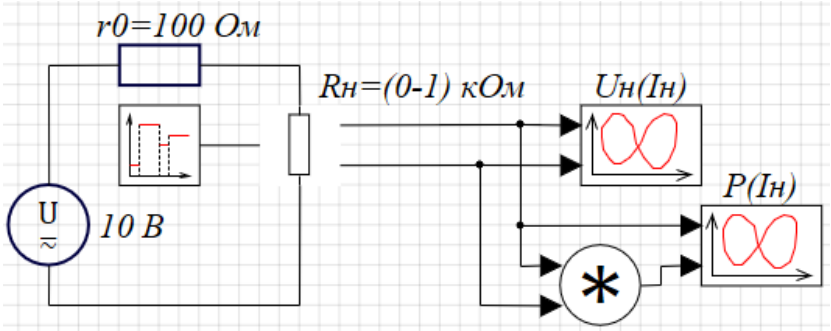


Рис. 2.22

Это позволит задать ряд дискретных значений сопротивлений *R*н и построить для этих значений графики рис. 2.20–2.21.

Задать в окне свойств для блока **Кусочно-постоянная** восемь значений параметров, указанных на рис. 2.23.

Свойства : PolyStep_source10

Свойства | Общие | Порты | Визуальные слои

Название	Имя	Значение
Массив временных интервалов	t	**[[1 , 1 , 1 , 1 , 1 , 1 , 1 , 1]]**
Массив значений	y	**[[0.1 , 25 , 50 , 100 , 200 , 400 , 700 , 1000]**

Рис. 2.23

16. Установить в окне **Параметры проекта**:

– для параметра **Конечное время расчета**: равным **10** с;

– значение параметров **Минимальный шаг** (**Максимальный шаг**) равным **0.001**.

Запустить на моделирование полученную модель и посмотреть результаты моделирования в графических окнах (рис. 2.24–2.25).

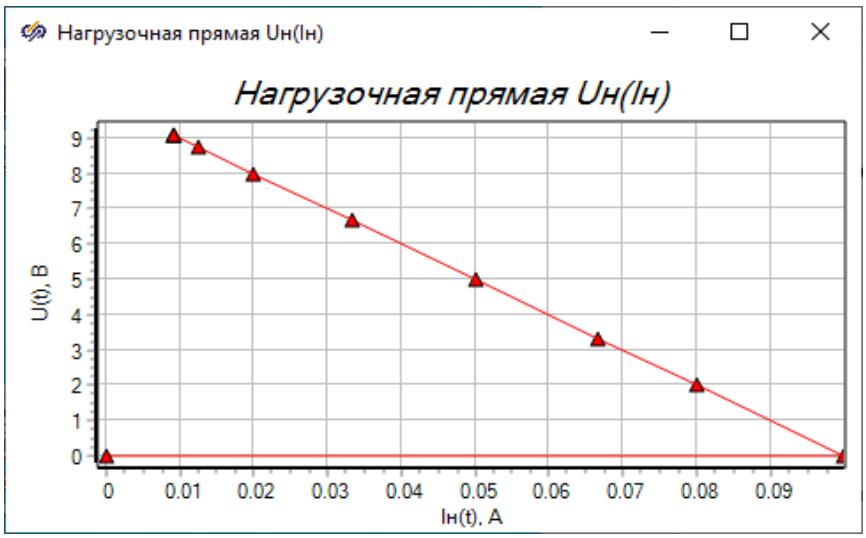


Рис. 2.24

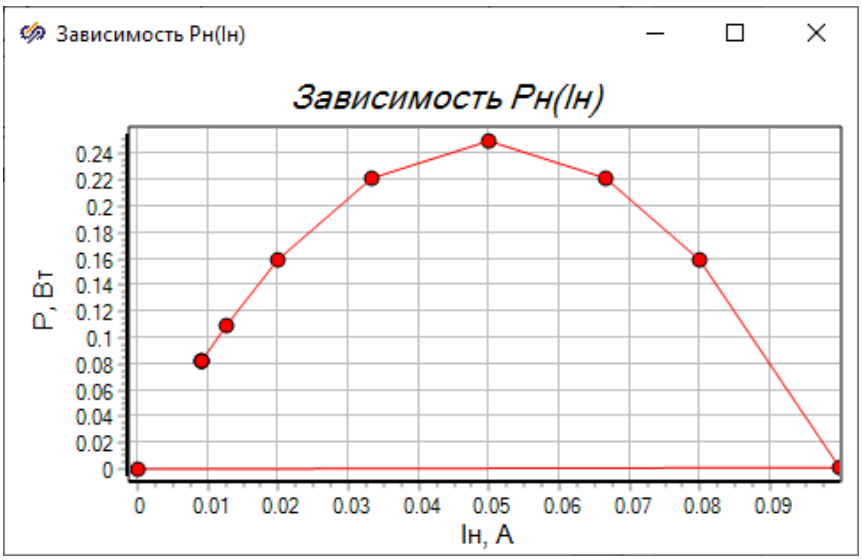


Рис. 2.25

17. Провести моделирование для схемы рис. 2.22, задав значения внутреннего сопротивления **r0** в омах, равным номеру варианта плюс 50. Задать в окне свойств для блока **Кусочно-постоянная** восемь значений параметра **Массив значений – y**, равным в омах

$$0{,}1 \cdot r0;\ 0{,}25 \cdot r0;\ 0{,}5 \cdot r0;\ r0;\ 2 \cdot r0;\ 4 \cdot r0;\ 7 \cdot r0;\ 10 \cdot r0.$$

Отчет

Вставить в отчет по лабораторной работе содержимое полученного окна проекта с указанием на схемах значений всех параметров для вашего варианта, а также содержимое графических окон **Фазовый портрет** с текущими результатами моделирования для своего варианта. Сравнить полученные графики с аналогичными графиками, полученными при выполнении п. 14. Сделать выводы.

18. Задать в окне свойств для блока **Кусочно-постоянная** девять значений **Массива временных интервалов** и девять значений **Массива значений** в порядке убывания, указанные на рис. 2.26.

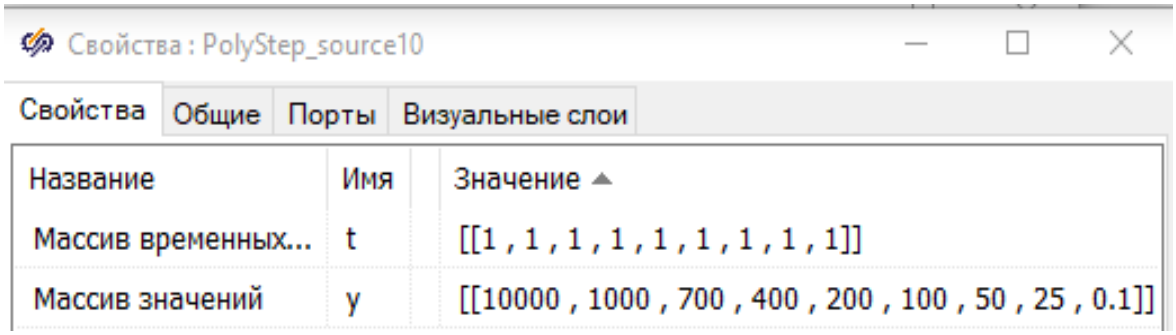


Рис. 2.26

Запустить на моделирование полученную модель и посмотреть результаты моделирования в графических окнах (рис. 2.27, 2.28).

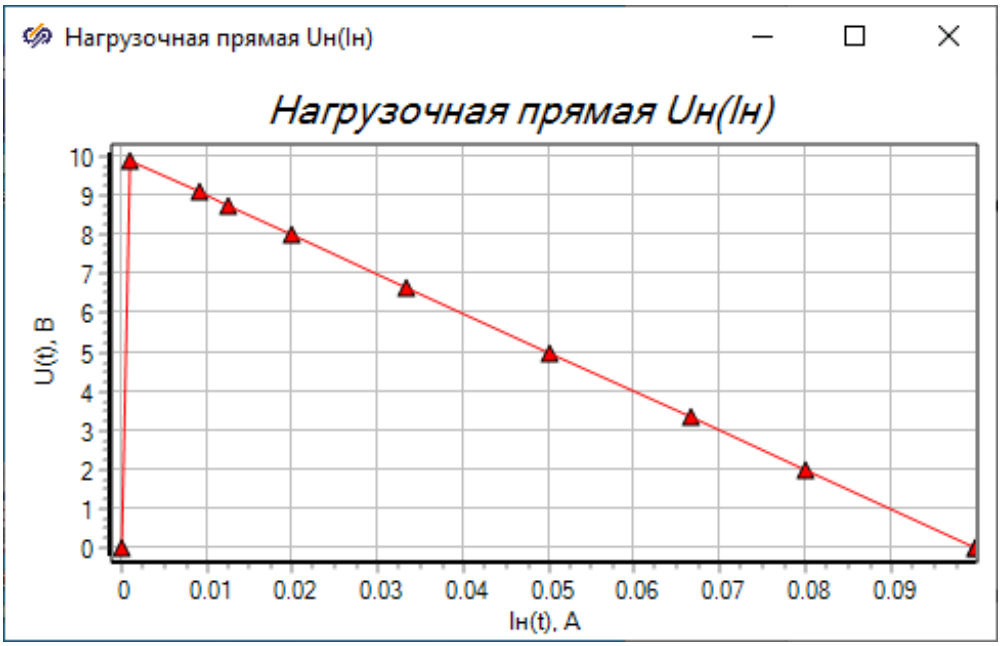


Рис. 2.27

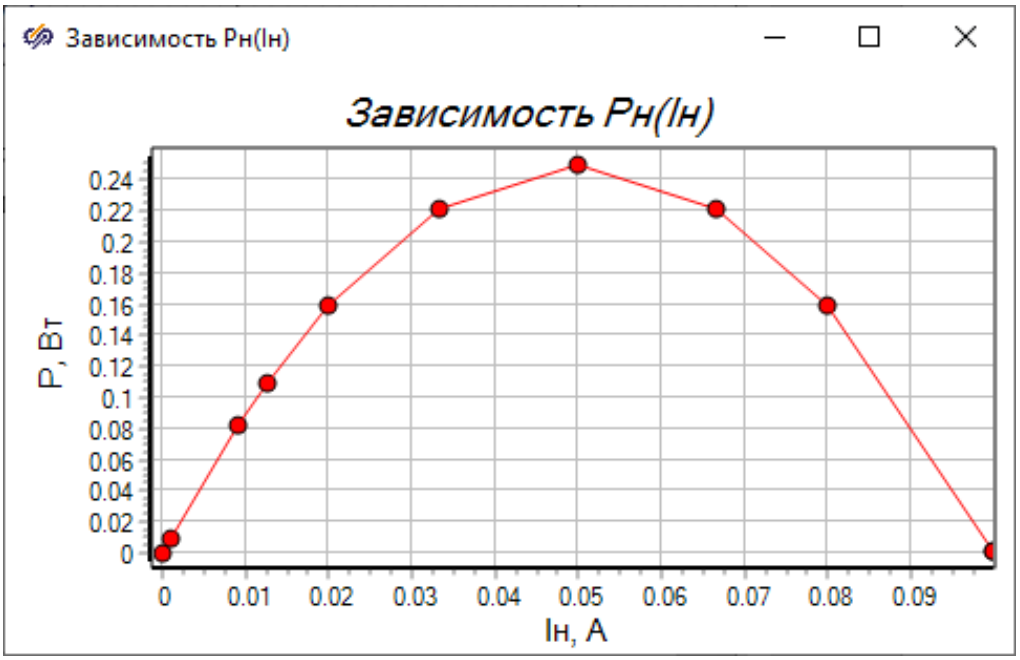


Рис. 2.28

19. Провести моделирование для схемы рис. 2.22, задав значения внутреннего сопротивления **r0** в омах, равным номеру варианта плюс 50. Задать в окне свойств для блока **Кусочно-постоянная** девять значений параметра **Массив значений** равным в омах

$$100 \cdot r0;\ 10 \cdot r0:\ 7 \cdot r0;\ 4 \cdot r0;\ 2 \cdot r0:\ r0;\ 0{,}5 \cdot r\,0;\ 0{,}25 \cdot r0;\ 0{,}1 \cdot r0.$$

Отчет

Вставить в отчет по лабораторной работе содержимое полученного окна проекта с указанием на схемах значений всех параметров для вашего варианта, а также содержимое графических окон **Фазовый портрет** с текущими результатами моделирования для своего варианта. Сравнить полученные графики с аналогичными графиками, полученными при выполнении п. 17. Сделать выводы.

Контрольные вопросы

1. В какой библиотеке находится, каково назначение и основные свойства блока **Перемножитель**?
2. В какой библиотеке находится, каково назначение и основные свойства блока **Порт выхода**?
3. В какой библиотеке находится, каково назначение и основные свойства блока **Линейный источник**?
4. В какой библиотеке находится, каково назначение и основные свойства блока **Пила**?
5. В какой библиотеке находится, каково назначение и основные свойства блока **Кусочно-постоянная**?
6. В какой библиотеке находится, каково назначение и основные свойства блока **Обобщенная-цепь**?
7. Для чего предназначен порт **Внешний сигнал** в блоке **Источник напряжения**?
8. Каким образом можно задать подпись блока в требуемом формате?

Лабораторная работа № 3

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЦЕПЕЙ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА В СИСТЕМЕ SimInTech

Цель работы: знакомство с основными возможностями системы SimInTech по моделированию электрических цепей переменного тока.

Рабочее задание

1. Собрать в окне проектов системы SimInTech динамическую модель инерционного звена 1-го порядка при подаче на его вход гармонического сигнала (рис. 3.1).

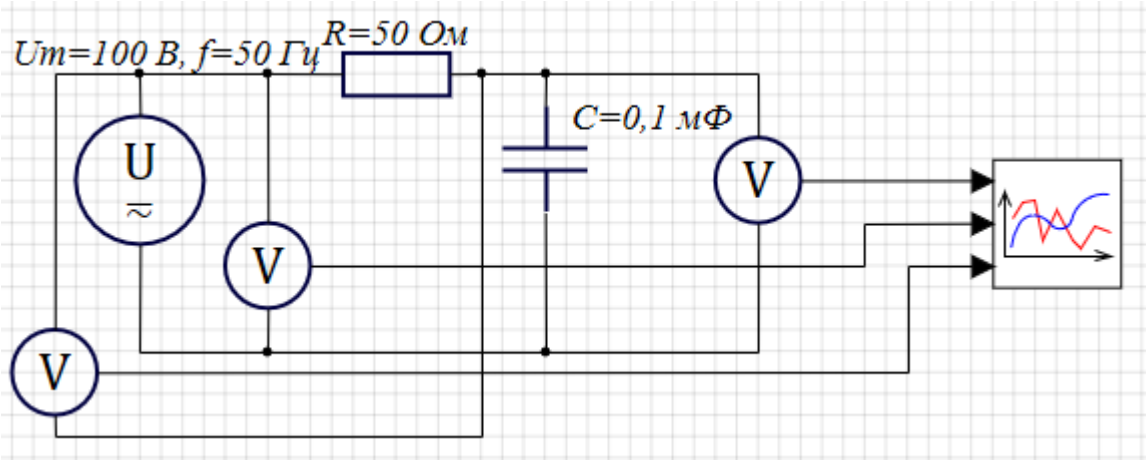


Рис. 3.1

Из библиотеки **ЭЦ – Динамика** выбрать следующие блоки:

– блок **Источник напряжения** из закладки **Источники**;

– два блока **RLC-цепь** из закладки **Электротехнические элементы**;

– три блока **Вольтметр идеальный** из закладки **Измерители**.

Добавить блок **Временной график** из палитры **Вывод данный**.

2. Задать с помощью окна **Свойств** следующие свойства:

– для блока **Источник напряжения** значение свойства **Амплитуда, В**, равным номеру варианта, значение свойства **Частота, Гц**, равным номеру варианта умножить на 10, а значение свойства **Активное сопротивление**, равным 0,01 Ом;

– для верхнего блока **RLC-цепь** значение свойств **Сопротивление, Ом**, равным 100 разделить на номер варианта;

– для правого блока **RLC-цепь** значение свойств **Емкость, Ф**, равным **0.0001**.

3. Задать в окне **Параметры проекта** следующие значения параметров расчета:

– **Конечное время** равным трем периодам входного напряжения (для схемы рис. 3.1 – это значение равно 0,06 с);

– **Минимальный шаг (Максимальный шаг)** интегрирования, в 100 раз меньше конечного времени моделирования (для схемы рис. 3.1 – это значение равно 0,0006 с).

Остальные настройки оставить по умолчанию.

4. Запустить схему на моделирование. По окончанию расчета при нажатии на кнопку **Показать значения на линии связи** на математических выходах вольтметров будут указаны мгновенные значения напряжений в конце моделирования (рис. 3.2):

– на входе схемы, равное **–0.0090373936** В;

– на сопротивлении, равное **45.186968** В;

– на емкости, равное **–45.196006** В.

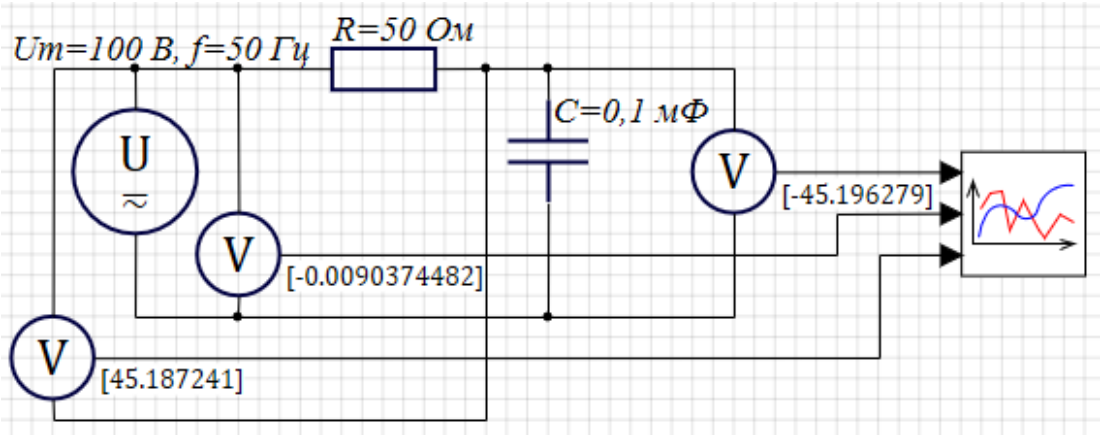


Рис. 3.2

Двойной щелчок по блоку **Временной график** раскрывает окно с временными диаграммами этих напряжений (рис. 3.3).

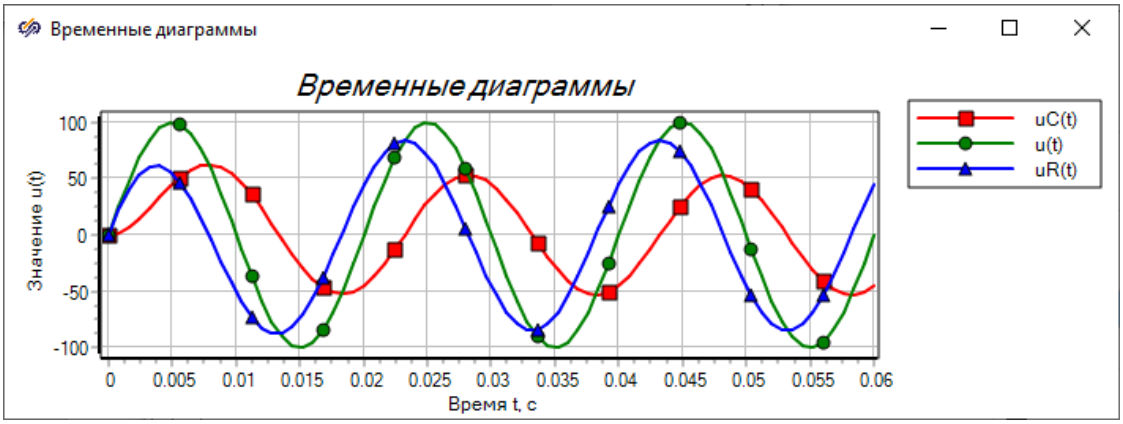


Рис. 3.3

Отчет

Вставить в отчет по лабораторной работе моделируемую схему с указанием на схеме значений всех параметров и результатами моделирования для вашего варианта, а также графическое окно с соответствующими временными диаграммами в блоке **Временной график**. Задать в окне свойств для графического окна значения следующих параметров: стиль и толщину линии, вид точек на графике, название осей на закладке **Графики и оси**, а также название графика и расположение легенды на закладке **Общие** в соответствии с рис. 3.3.

5. Навести курсор на графическое окно, нажать правую клавишу мыши и выбрать команду **Свойства**. Задать в появившемся окне свойств в разделе **Ось X** значение параметра **Минимум** и **Максимум** таким образом, чтобы в графическом окне отображался один последний период гармонического сигнала для вашего варианта. Для схемы рис. 3.1 эти значения равны 0.04 и 0.06 соответственно.

Кроме того, снять флажок для настройки **Автомасштаб** в разделе **Ось X**.

После нажатия на клавишу **Применить** или **Ok** в окне блока **Временной график** будет отображаться один период гармонических сигналов (рис. 3.4).

Из графиков видно, что напряжение на сопротивлении опережает напряжение на емкости на 90°, что соответствует теории.

Отчет

Вставить в отчет по лабораторной работе график рис. 3.4 для своего номера варианта. Провести анализ полученных графиков и сделать выводы о сдвигах по фазе между напряжениями на сопротивлении и емкости.

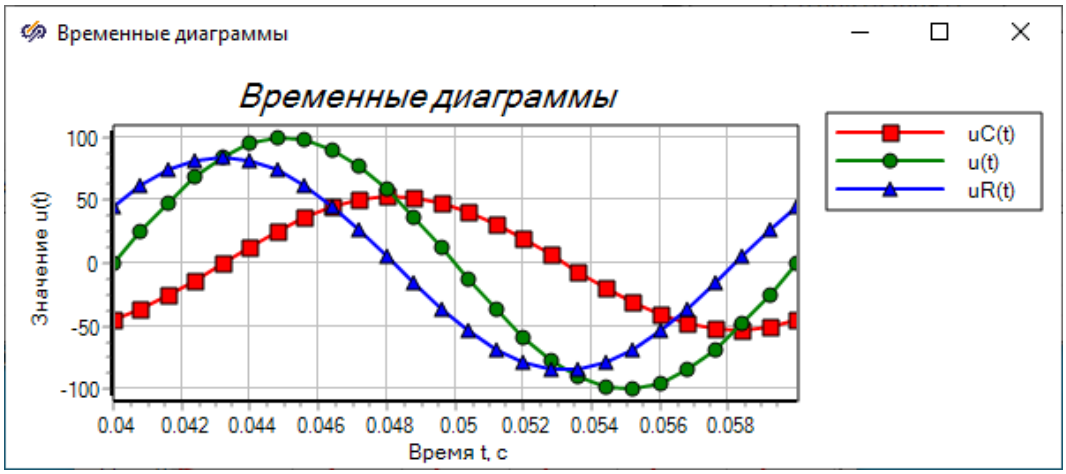


Рис. 3.4

6. Собрать в окне проектов системы SimInTech динамическую модель инерционного звена 1-го порядка при подаче на его вход гармонического сигнала и провести измерение полной и активной мощности в ней (рис. 3.5).

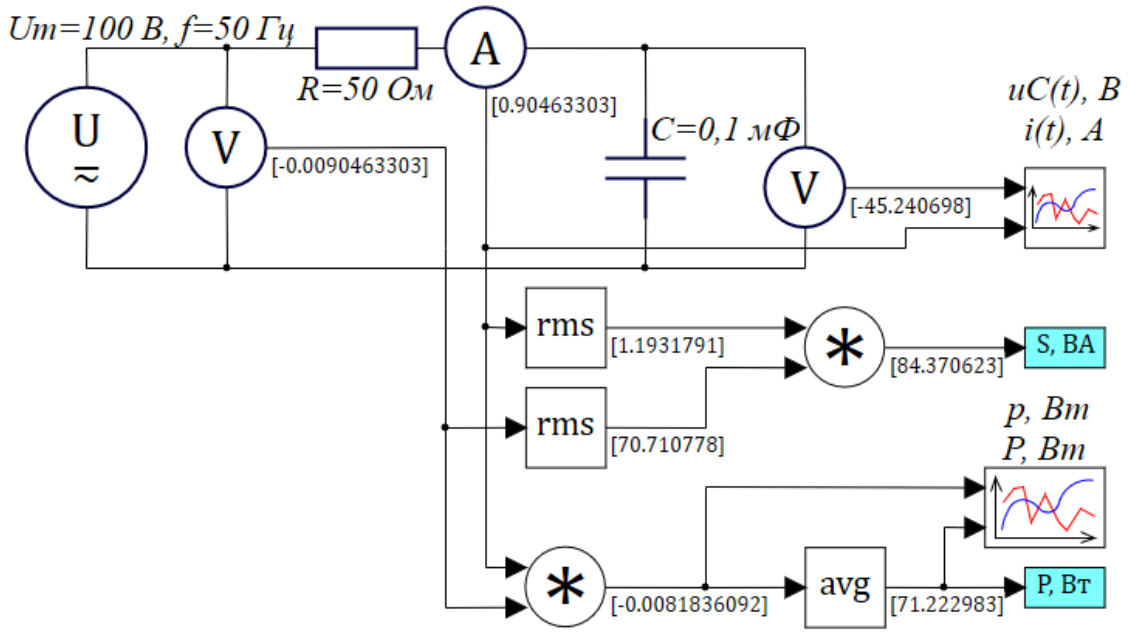


Рис. 3.5

Из библиотеки **ЭЦ – Динамика** выбрать следующие блоки:

– блок **Источник напряжения** из закладки **Источники**;

– два блока **RLC-цепь** из закладки **Электротехнические элементы**;

– блок **Вольтметр идеальный** из закладки **Измерители**;

– блок **Амперметр идеальный** из закладки **Измерители**;

– два блока **Среднеквадратическое значение за период (rms)** и блок **Среднее значение за период (avg)** из закладки **Элементы управления и обработки сигналов**;

– блок **Перемножитель** из закладки **Операторы**;

– два блока **Порт выхода** из закладки **Субструктуры**;

– два блока **Временной график** из палитры **Вывод данных**.

7. Задать с помощью окна **Свойств** следующие свойства:

– для блоков **Источник напряжения** и **RLC-цепь** те же значения параметров, что и в схеме рис. 3.1;

– для блоков **Среднеквадратическое значение за период** и **Среднее значение за период:**

– значение свойств **Период, с** равным периоду входного сигнала (для схемы рис. 3.5 – 0,02 с);

– значение свойств **Шаг дискредитации** при интегрировании с постоянным шагом рекомендуется задать кратным шагу интегрирования (для схемы рис. 3.5 – 0,0006 с).

Задать для блоков **Порт выхода**, выполнив двойной щелчок по ним, значение свойства **Имена портов субмодели** равными **S, ВА** и **P, Вт** (см. рис. 3.5), а значение свойства **Тип портов субмодели** равными **Выход**.

8. Задать в окне **Параметры проекта** значения параметров расчета, указанные в п. 3.

9. Запустить схему на моделирование и нажать на кнопку

Результаты моделирования, соответствующие моменту времени 0,06 с, приведены на рис. 3.5.

На выходе верхнего блока **Перемножитель** формируется значение **84.370623**, равное полной мощности в вольт амперах.

На выходе блока **Среднее значение за период** формируется значение **71.222983**, равное активной мощности, потребляемой схемой от источника напряжения в ваттах.

На рис. 3.6 приведены временные диаграммы $uC(t)$ и $i(t)$ на экране блока **Временной график** для схемы рис. 3.5. Из графиков видно, что так как в цепи имеется реактивный элемент (конденсатор), то в начале моделирования имеет место переходный процесс, который примерно за период практически завершается.

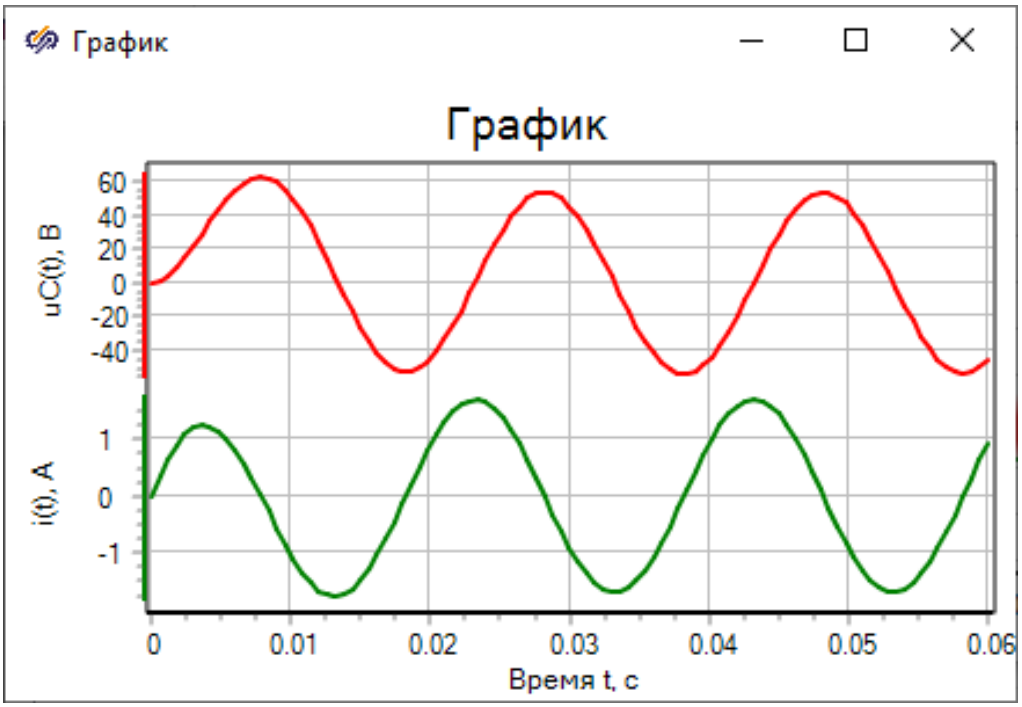


Рис. 3.6

На рис. 3.7 приведена временная диаграмма на экране блока **Временной график** для мгновенной мощности $p(t)$ и активной мощности P, потребляемой схемой от источника напряжения, которая равна средней мощности за период. Из временной диаграммы видно, что активная мощность примерно равна ее расчетному значению, полученному на рис. 3.5.

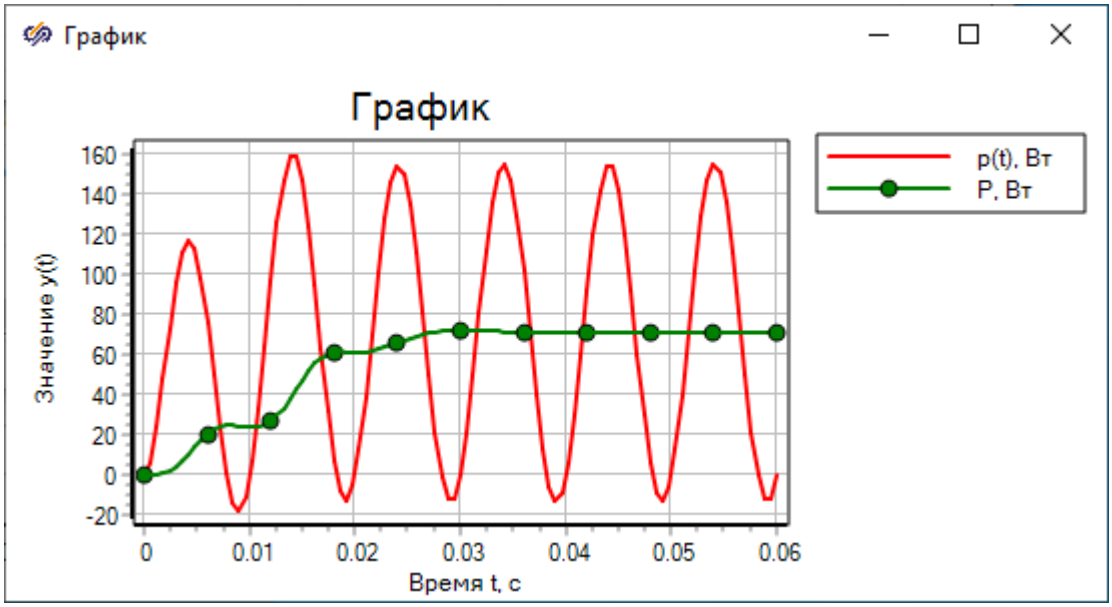


Рис. 3.7

10. Определить на закладке **Параметры** окна **Свойств** правого блока **RLC-цепь** напряжение на емкости в конце моделирования **Напряжение, В**. Для схемы рис. 3.5 – это значение в вольтах равно **–45.240698** (рис. 3.8).

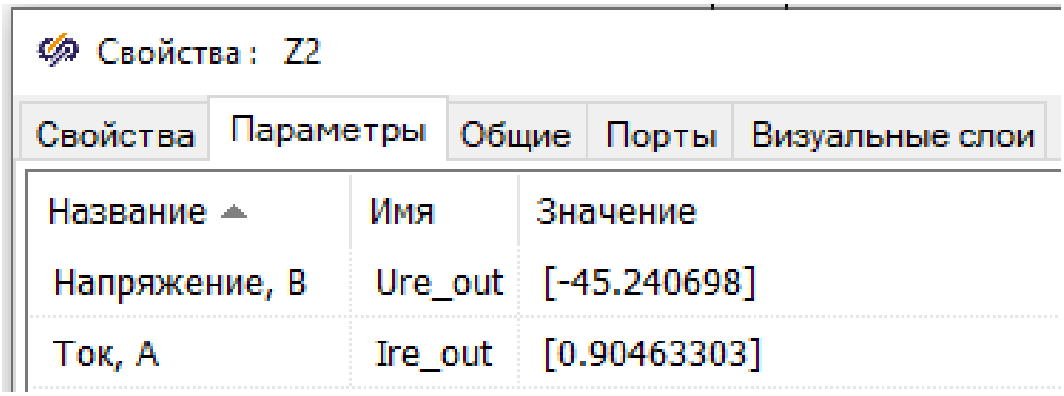


Рис. 3.8

11. Задать для правого блока **RLC-цепь** на закладке **Свойства** окна **Свойств** значение свойства **Начальное напряжение**

на конденсаторе, В, равным напряжению на емкости в установившемся режиме (рис. 3.9).

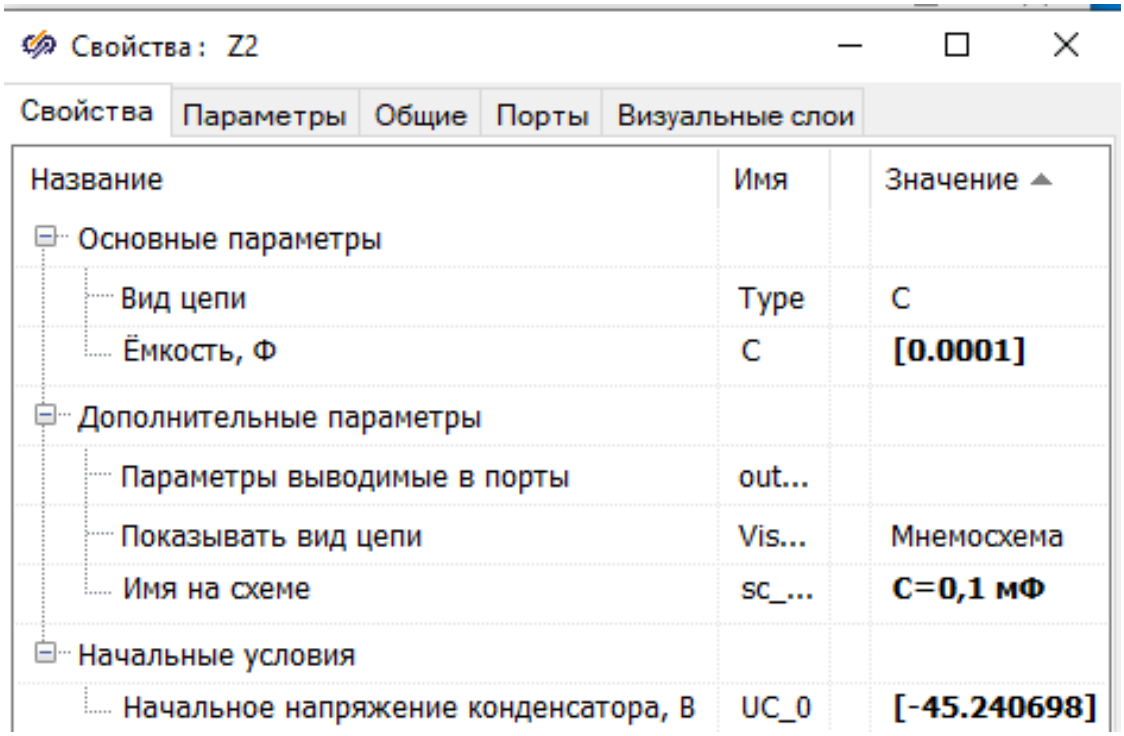


Рис. 3.9

12. Запустить схему на моделирование.

На рис. 3.10 приведены временные диаграммы $uC(t)$ и $i(t)$ на экране блоков **Временной график** для не нулевых начальных условий. Из графиков видно, что в схеме нет переходного процесса.

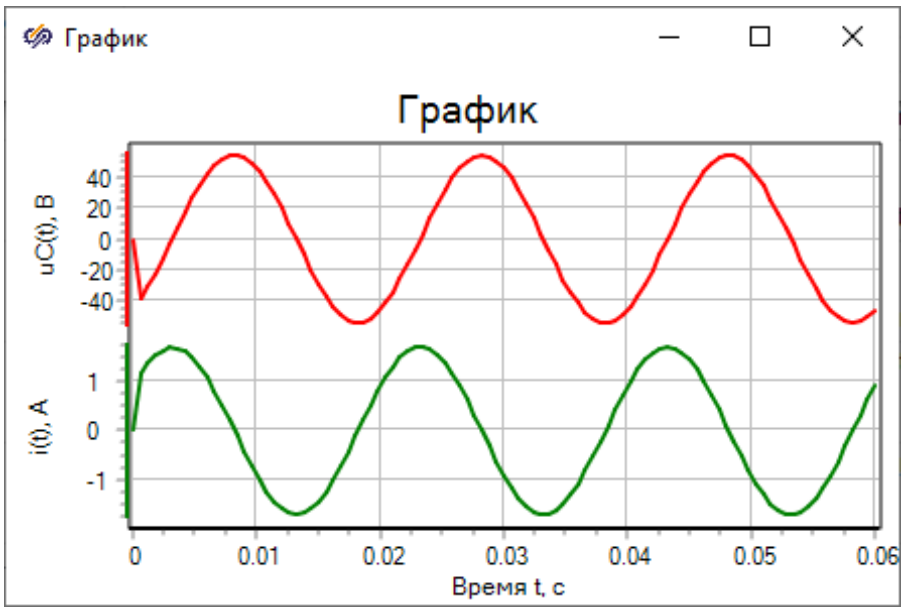


Рис. 3.10

Отчет

Вставить в отчет по лабораторной работе моделируемую схему с результатами моделирования для вашего варианта, а также графики с результатами моделирования в блоках **Временной график** для пп. 6–12. Провести анализ полученных графиков и сделать выводы.

13. Собрать в окне проектов системы SimInTech разветвленную цепь гармонического тока (рис. 3.11), используя в качестве электрических элементов блоки из библиотеки **ЭЦ – Статика v.2.0**.

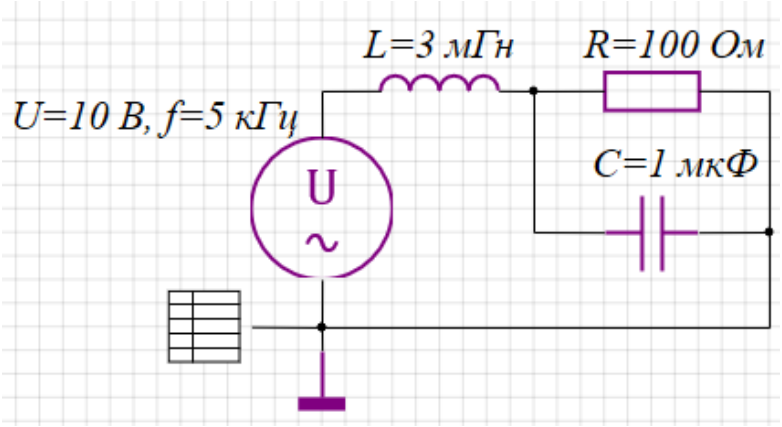


Рис. 3.11

Из библиотеки **ЭЦ – Статика v.2.0** выбрать следующие блоки:

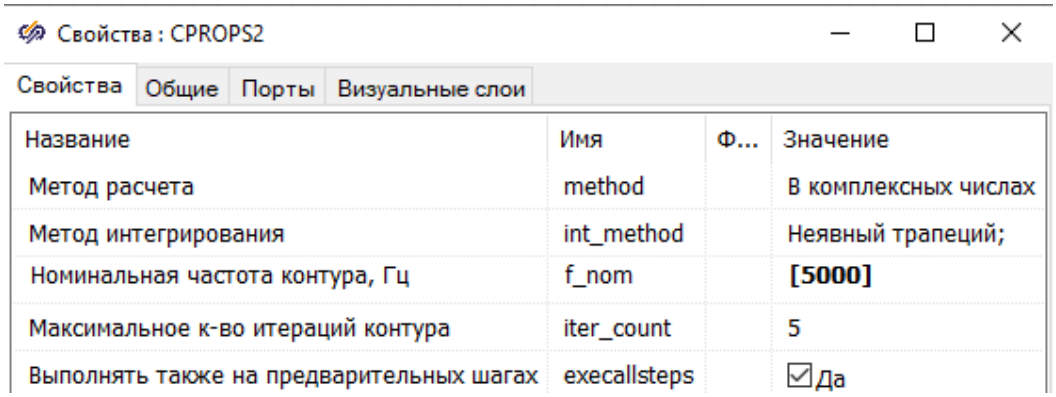
– блок **Параметры контура** из закладки **Элементы топологии**;

– блок **Источник напряжения** из закладки **Источники**;

– три блока **RLC-цепь** из закладки **Электротехнические элементы**;

– блок **Нулевой потенциал** из закладки **Элементы топологии**.

14. Задать с помощью окна **Свойств** для блока **Параметры контура** значения параметров, приведенные на рис. 3.12.



Название	Имя	Ф...	Значение
Метод расчета	method		В комплексных числах
Метод интегрирования	int_method		Неявный трапеций;
Номинальная частота контура, Гц	f_nom		**[5000]**
Максимальное к-во итераций контура	iter_count		5
Выполнять также на предварительных шагах	execallsteps		☑ Да

Рис. 3.12

Задать с помощью окна **Свойств**:

– для блоков **RLC-цепь** значения параметров, приведенные на рис. 3.11;

– для блока **Источник напряжения** значения свойств, приведенных на рис. 3.13.

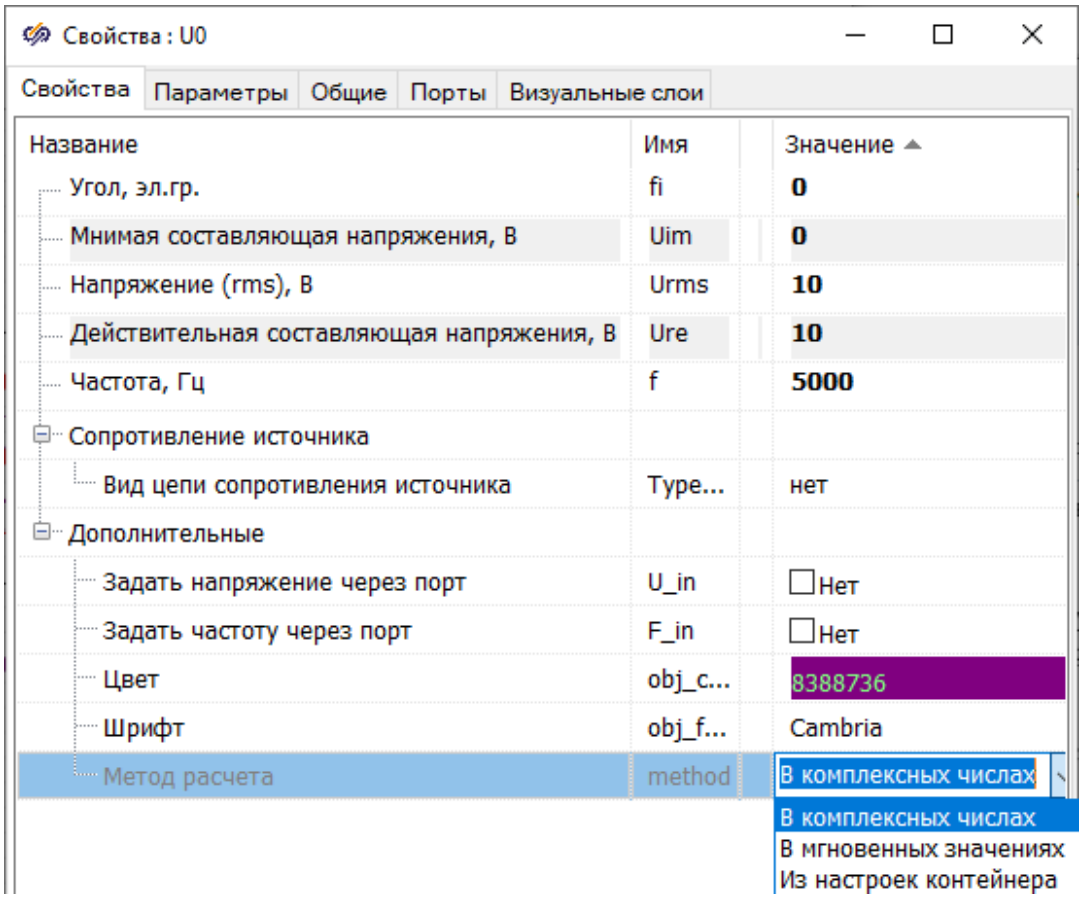


Рис. 3.13

Обратите внимание, что на рис. 3.13 выбран **Метод расчета** – **В комплексных числах**.

15. Задать в окне **Параметры проекта** следующие значения параметров расчета:

– **Конечное время расчета** равным **0.1**;

– **Максимальный (Минимальный) шаг** равным **0.001**.

Запустить схему на моделирование.

Результаты моделирования в виде токов в ветвях можно посмотреть в соответствующем окне **Свойств** для блоков **RLC-цепь** на закладке **Параметры** (рис. 3.14–3.16) в виде:

– **Ток (rms/inst), А** отображает действующее значение при расчете в комплексных числах; мгновенное значение при расчете в мгновенных значениях;

– **Ток комплексный (rms), А** отображает значение в комплексной форме при расчете в комплексных числах; величина параметра равна нулю при расчете в мгновенных значениях.

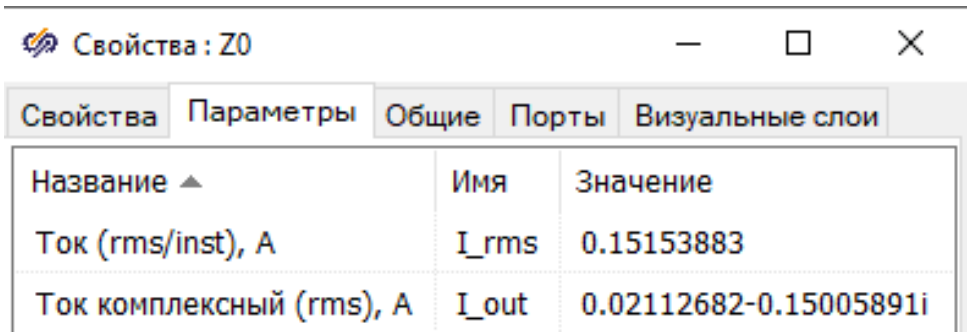


Рис. 3.14

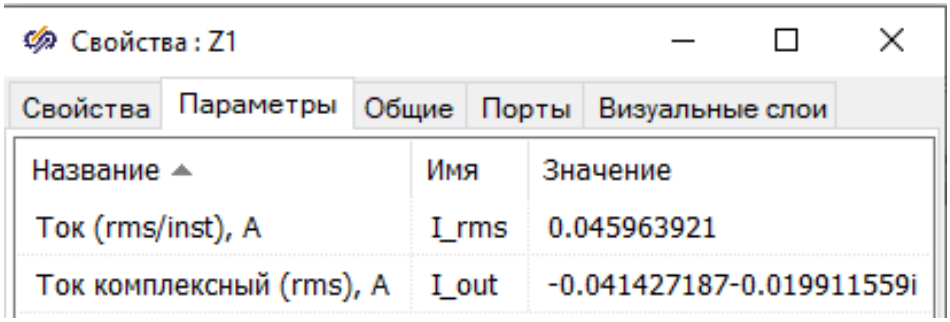


Рис. 3.15

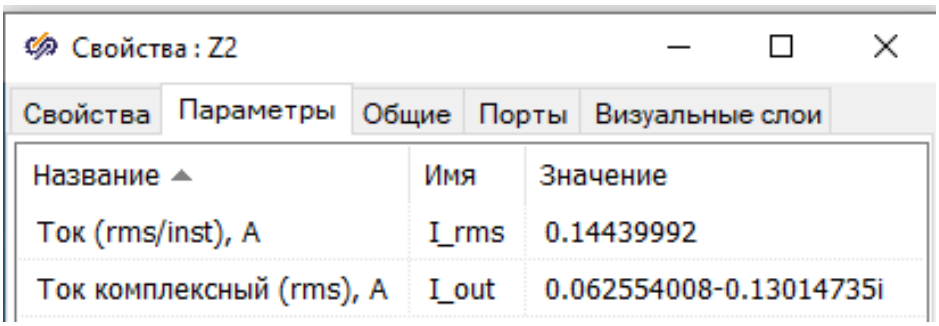


Рис. 3.16

16. Задать с помощью окна **Свойств** для блоков **RLC-цепь** значения параметров *C*, *L*, приведенные на рис. 3.11, а значение сопротивления в омах, равным 100 минус номер варианта.

Отчет

Вставить в отчет по лабораторной работе моделируемую схему с указанием значений параметров для вашего варианта, а также результаты моделирования в виде токов в ветвях для своего варианта задания. Построить по результатам моделирования векторную диаграмму токов, проверить по ней выполнение первого закона Кирхгофа и сделать выводы.

Контрольные вопросы

1. Какие библиотеки в системе SimInTech используются для моделирования мгновенных значений токов и напряжений электрических цепей переменного тока?
2. Какие свойства необходимо задать для блок**а Источник напряжения** при моделировании электрических цепей переменного тока?
3. Из каких соображений выбирается **Конечное время расчета** в окне **Параметры проекта**, а также **Минимальный** (**Максимальный**) **шаг** интегрирования?
4. Каким образом можно вывести результаты моделирования на линиях связи?
5. Как можно вывести в окне **Временной график** требуемый временной интервал графика?
6. Какие блоки используются для получения среднеквадратического значения и среднего значения за период для гармонического сигнала и где они располагаются?
7. Как можно вывести в окне **Временной график** мгновенное значение мощности?
8. Каким образом можно задать начальные значения напряжения на емкости и тока через индуктивность?
9. Как смоделировать разветвленную цепь гармонического тока для получения результатов моделирования в комплексной форме?
10. Какие настройки блока **Параметры контура** необходимо задать при моделировании цепи гармонического тока?
11. На какой закладке окна **Свойств** для блоков **RLC-цепь** можно посмотреть результаты моделирования и в каком виде?

Лабораторная работа № 4

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТРЕХФАЗНЫХ ЦЕПЕЙ ПРИ СОЕДИНЕНИИ ФАЗ ГЕНЕРАТОРА И ПРИЕМНИКА ПО СХЕМЕ ЗВЕЗДА В СИСТЕМЕ SimInTech

Цель работы: моделирование трехфазной цепи по схеме звезда при различных режимах ее работы в системе SimInTech.

Рабочее задание

1. Собрать в окне проектов системы SimInTech симметричную трехфазную цепь при соединении фаз приемника по схеме звезда с нейтральным проводом, используя элементы из библиотек **ЭЦ – Динамика** и **Вывод данных**, приведенные на рис. 4.1.

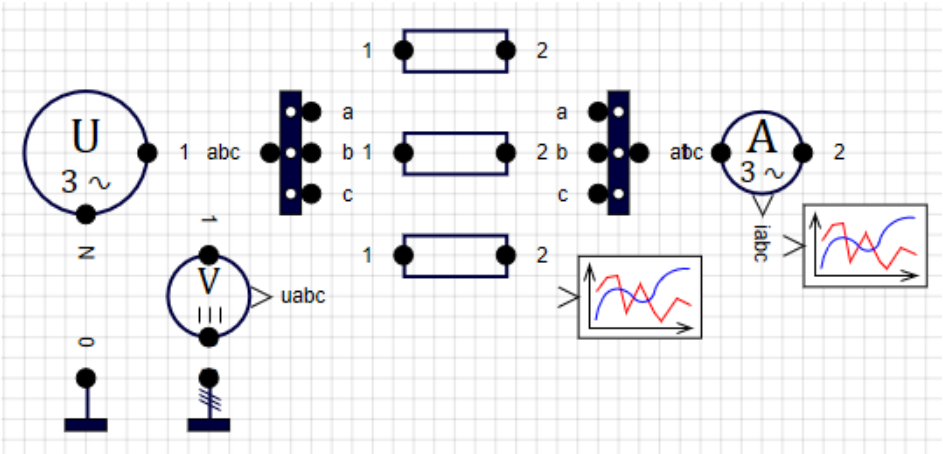
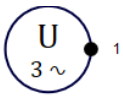
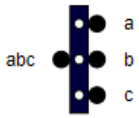
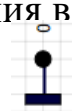


Рис. 4.1

Из библиотеки **ЭЦ – Динамика** выбрать следующие блоки:

– блок **Источник напряжения 3-фазный (1 л. сх.)**  из закладки **Источники**;

– два блока **Шина-преобразователь схемы 1–3 линейная**  из закладки **Элементы топологии**, которые предназначены для преобразования топологии электрических схем из трехфазного однолинейного представления в трехлинейное, и наоборот;

– блок **Нулевой потенциал**  и **Нулевой потенциал 3-фазный** из закладки **Элементы топологии;**

– три блока **RLC-цепь** из закладки **Электротехнические элементы**;

– блоки **Вольтметр 3-фазный (1 л. сх.)** и **Амперметр 3-фазный (1 л. сх.)** из закладки **Измерители**.

Добавить два блока **Временной график** из библиотеки **Вывод данных**.

2. Задать в окне свойств для блоков **Источник напряжения 3-фазный (1 л. сх.)** и правого блока **Шина-преобразователь схемы 1–3 линейная** значения параметров, приведенных на рис. 4.2, 4.3.

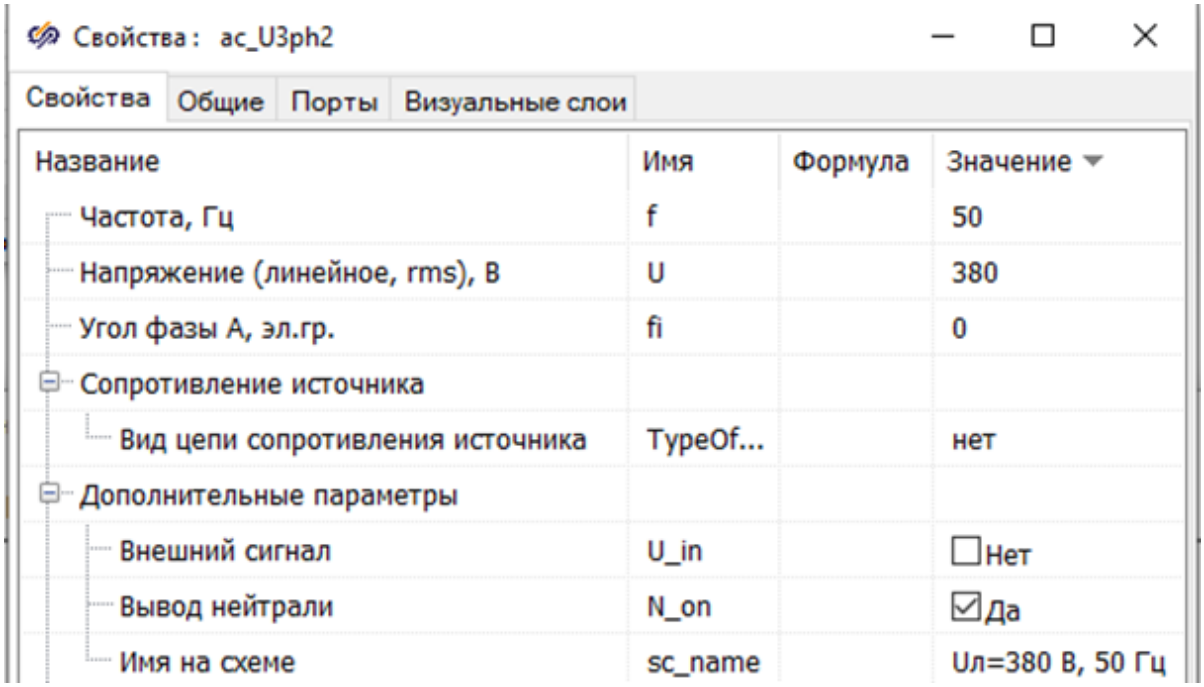


Рис. 4.2

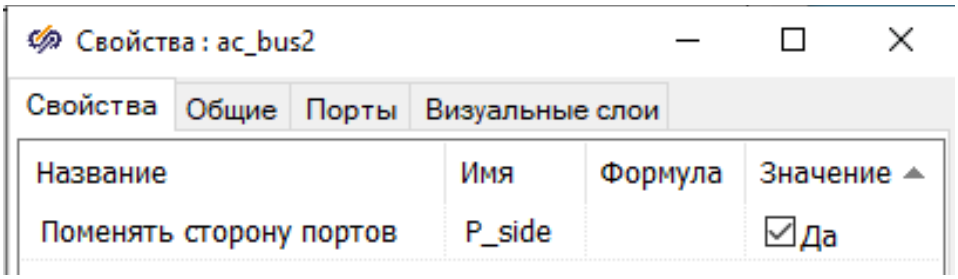


Рис. 4.3

В результате внизу блока **Источник напряжения 3-фазный (1 л. сх.)** появится порт **Вывод нейтрали**, а для правого блока **Шина-преобразователь схемы 1–3 линейная** выполнится команда **Поменять сторону портов**.

Задать в окне свойств для трех блоков **RLC-цепь**:

– **Вид цепи – R**;

– **Сопротивление, Ом –100**;

– дополнительный параметр **Имя на схеме** в соответствии с рис. 4.4.

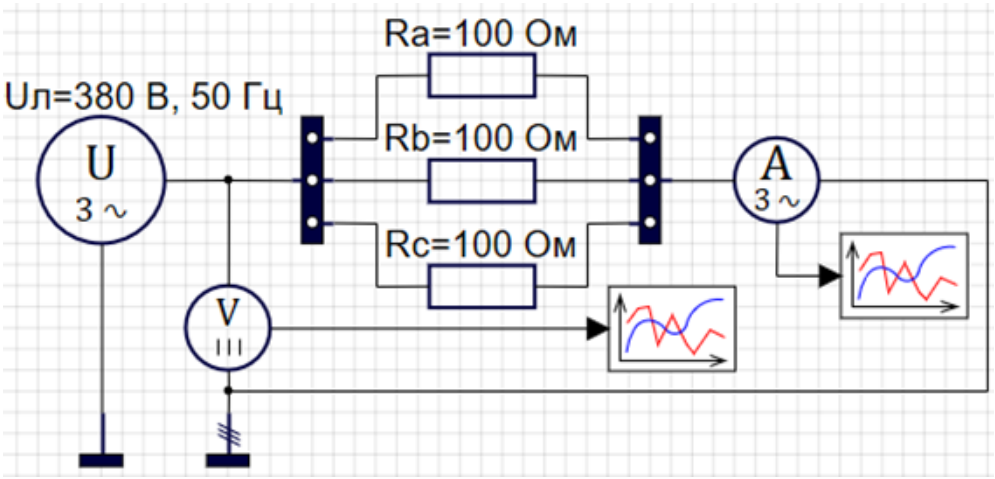


Рис. 4.4

Соединить блоки между собой как показано на рис. 4.4.

3. Задать в окне **Параметры проекта**:

– для параметра **Конечное время расчета**: равным 0,02 с.

– значение параметров **Минимальный шаг** (**Максимальный шаг**) равным **0.00004**, чтобы количество точек для моделирования было не менее 500, не считая начальной точки;

– значение параметра **Управление расчетом → Шаги, на которых данные выводятся на график → Все шаги**.

4. Запустить на моделирование полученную модель и посмотреть результаты моделирования в графических окнах.

Задать для каждого графического окна в окне **Свойства графика** такие его параметры, как название и тип графика, стиль и толщину линии, вид точки, названия **Ось X** и **Ось Y**, заголовок графика, и настройку **Показывать легенду** справа, в соответствии с рис. 4.5–4.6.

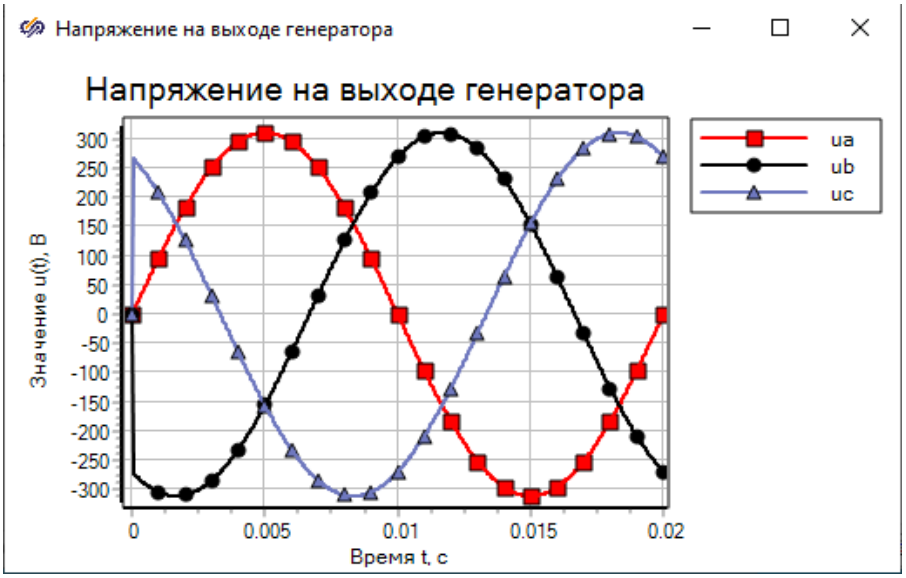


Рис. 4.5

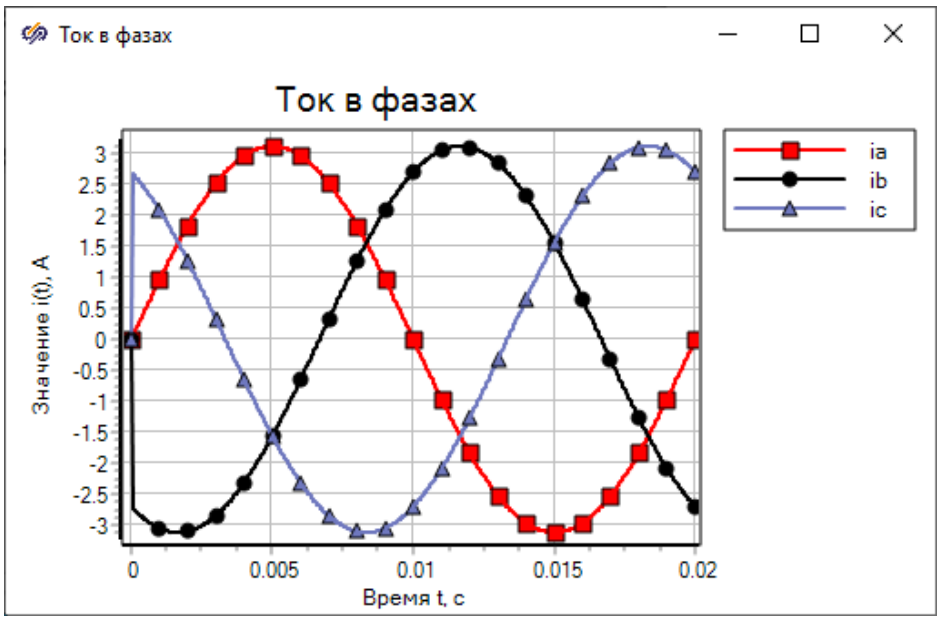


Рис. 4.6

5. Задать для модели следующие значения парамет-ров цепи:

– значение фазного сопротивления *R*ф в омах, равным номеру варианта, умноженному на 10 плюс 100;

– линейное напряжение трехфазного генератора равным 380 В с частотой $f = 50$ Гц.

Отчет

Вставить в отчет по лабораторной работе содержимое полученного окна проекта с указанием на схемах значений всех параметров для вашего варианта, а также содержимое соответствующих графических окон **Временной график** с текущими результатами моделирования для своего варианта. Провести анализ полученных графиков и сделать выводы о сдвигах по фазе между напряжениями и токами в фазах. Оценить амплитудные значения токов в фазах и в нейтральном проводе. Построить соответствующую векторную диаграмму токов и проверить по ней выполнение первого закона Кирхгофа.

6. Для указанных в зависимости от номера варианта значений параметров (табл. 4.1) собрать в окне проектов системы SimInTech несимметричную трехфазную цепь при соединении фаз приемника по схеме звезда с нейтральным проводом (рис. 4.7). Задать в окне свойств для источника напряжения для параметра **Вывод нейтрали** значение **Да**.

Таблица 4.1

Значения параметров

Номер варианта	Элементы в фазе			*R*’, Ом	Значения емкости *C*, мкФ	Обрыв в фазе
	A	*B*	*C*			
1	*R*ф, *R*’	*R*ф	*R*ф	10		*A*
2	*R*ф	*R*ф, *R*’	*R*ф	20		*B*
3	*R*ф	*R*ф	*R*ф, *R*’	30		*C*
4	*R*ф, *C*	*R*ф	*R*ф		70	*A*
5	*R*ф	*R*ф, *C*	*R*ф		60	*B*
6	*R*ф	*R*ф	*R*ф, *C*		50	*C*
7	*R*ф, *R*’	*R*ф, *R*’	*R*ф	40		*A*
8	*R*ф	*R*ф, *R*’	*R*ф, *R*’	50		*B*
9	*R*ф, *R*’	*R*ф	*R*ф, *R*’	60		*C*
10	*R*ф, *C*	*R*ф, *C*	*R*ф		40	*A*
11	*R*ф	*R*ф, *C*	*R*ф, *C*		30	*B*
12	*R*ф, *C*	*R*ф	*R*ф, *C*		20	*C*
13	*R*ф, *R*’, *C*	*R*ф, *R*’, *C*	*R*ф	70	40	*A*
14	*R*ф	*R*ф, *R*’, *C*	*R*ф, *R*’, *C*	80	40	*B*
15	*R*ф, *R*’, *C*	*R*ф	*R*ф, *R*’, *C*	90	30	*C*
16	*R*ф, *R*’	*R*ф, *R*’, *C*	*R*ф	100	30	*A*
17	*R*ф	*R*ф, *C*	*R*ф, *R*’, *C*	110	20	*B*
18	*R*ф, *R*’	*R*ф	*R*ф, *R*’, *C*	120	20	*C*
19	*R*ф, *R*’, *C*	*R*ф, *C*	*R*ф	130	10	*A*
20	*R*ф	*R*ф, *R*’, *C*	*R*ф, *C*	140	10	*B*

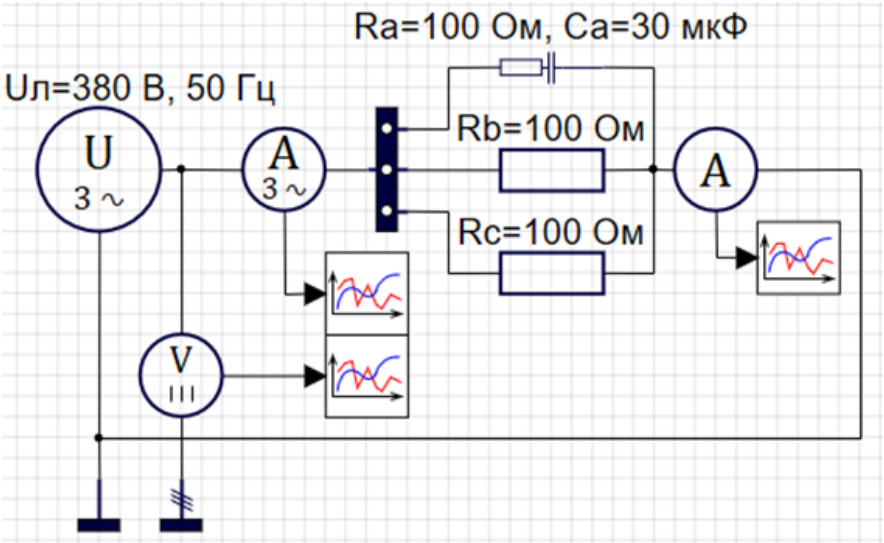


Рис. 4.7

Отчет

Вставить в отчет по лабораторной работе содержимое полученного окна проекта с указанием на схемах значений всех параметров для вашего варианта.

7. Задать в окне **Параметры проекта**: для параметра **Конечное время расчета**: равным 0,06 с. Остальные настройки оставить без изменения.

Запустить на моделирование полученную модель и посмотреть результаты моделирования в графических окнах (рис. 4.8–4.10).

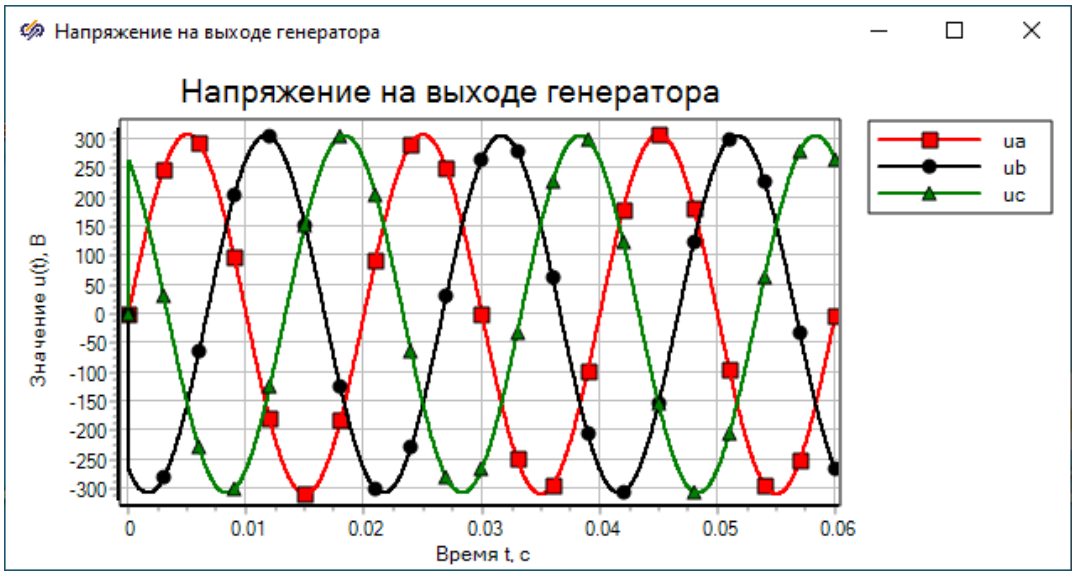


Рис. 4.8

Из рис. 4.9 следует, что в фазе *A* имеет место переходный процесс, так как в этой фазе есть емкость, а фазах *B* и *C* включены только сопротивления. Ток в нейтральном проводе (рис. 4.10) не равен нулю, так как нагрузка несимметричная.

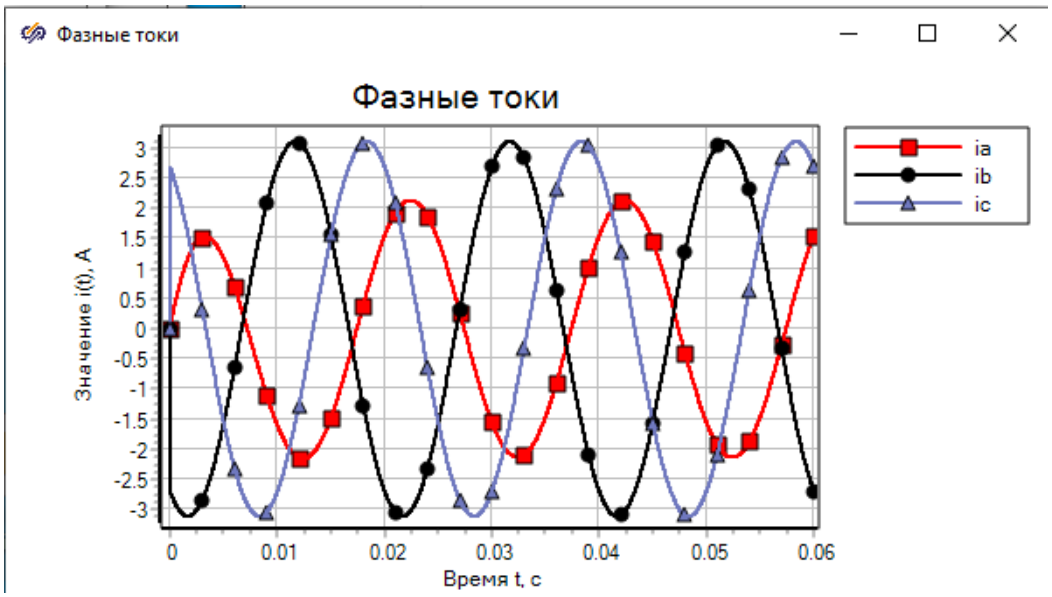


Рис. 4.9

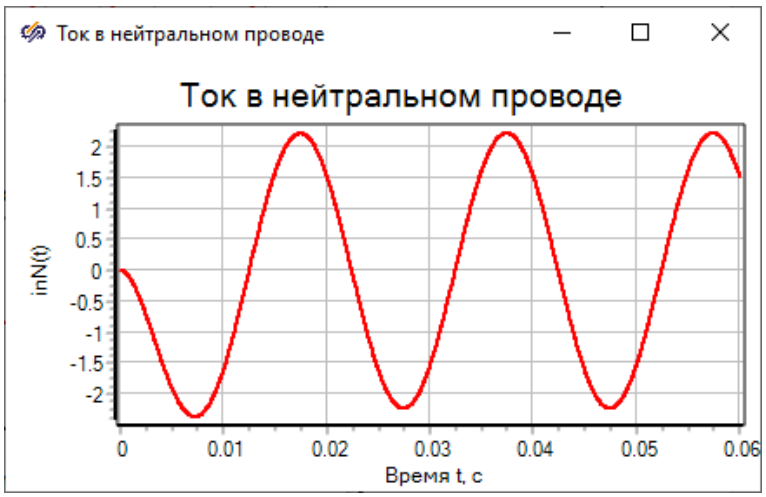


Рис. 4.10

Отчет

Вставить в отчет по лабораторной работе содержимое соответствующих графических окон **Временной график** с текущими результатами моделирования для своего варианта. Провести анализ полученных графиков в установившемся режиме и сделать выводы о сдвигах по фазе между напряжениями и токами в фазах. Оценить амплитудные значения токов в фазах и в нейтральном проводе. Построить соответствующую векторную диаграмму токов и проверить по ней выполнение первого закона Кирхгофа.

8. Собрать в окне проектов системы SimInTech несимметричную трехфазную цепь при соединении фаз приемника по схеме звезда без нейтрального провода (рис. 4.11).

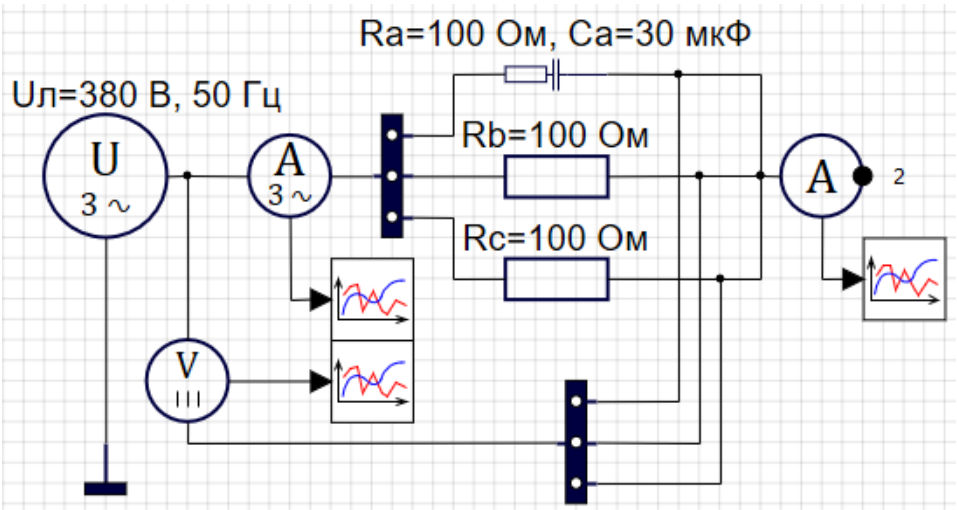


Рис. 4.11

Отчет

Вставить в отчет по лабораторной работе содержимое полученного окна проекта с указанием на схемах значений всех параметров для вашего варианта.

9. Запустить на моделирование полученную модель и посмотреть результаты моделирования в графических окнах. На рис. 4.12–4.14 приведены результаты моделирования схемы рис. 4.11.

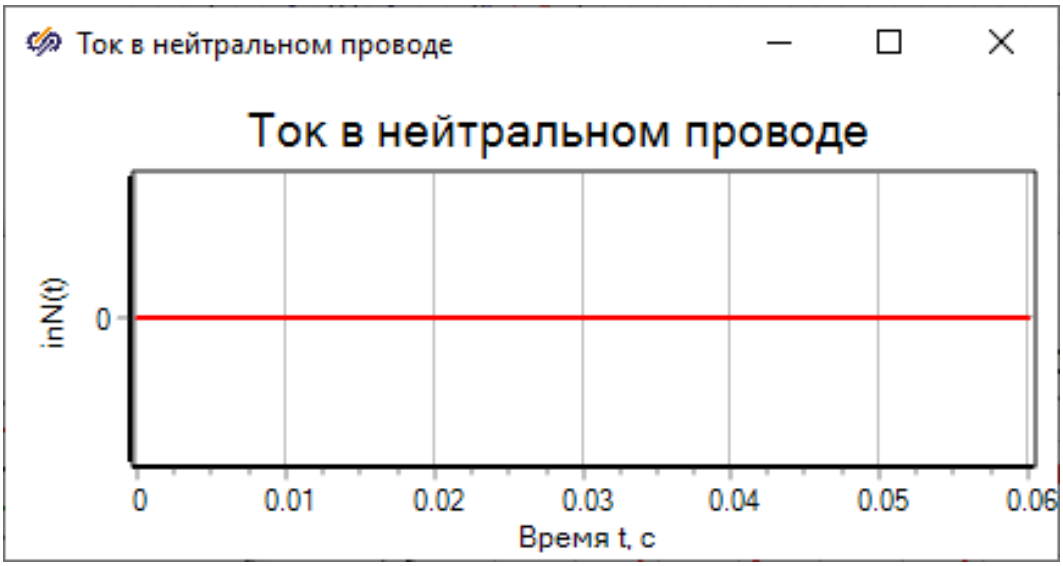


Рис. 4.12

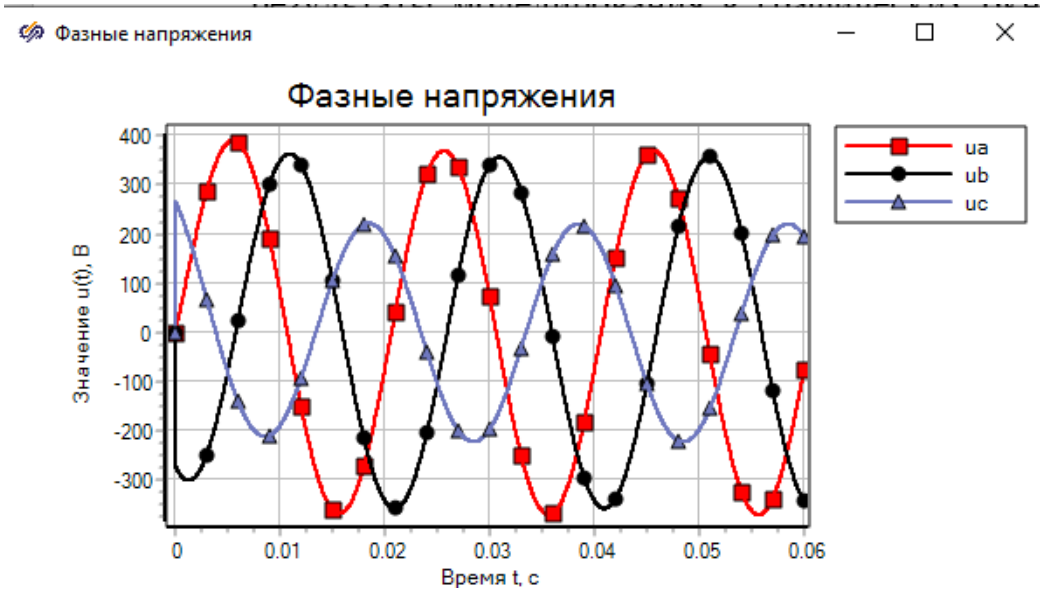


Рис. 4.13

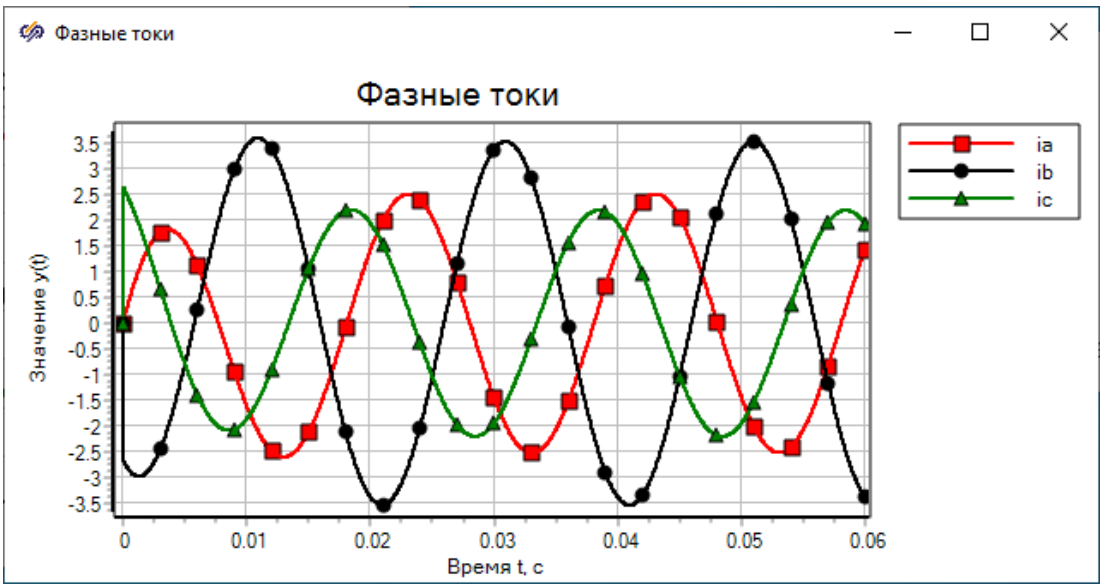


Рис. 4.14

Отчет

Вставить в отчет по лабораторной работе содержимое соответствующих графических окон **Временной график** с текущими результатами моделирования для своего варианта. Провести анализ полученных графиков в установившемся режиме и сделать выводы о сдвигах по фазе между напряжениями и токами в фазах. Оценить амплитудные значения токов в фазах и в нейтральном проводе. Построить соответствующую векторную диаграмму токов и проверить по ней выполнение первого закона Кирхгофа.

10. Собрать в окне проектов системы SimInTech несимметричную трехфазную цепь при соединении фаз приемника по схеме звезда без нейтрального провода при обрыве провода в фазе *B* (рис. 4.15).

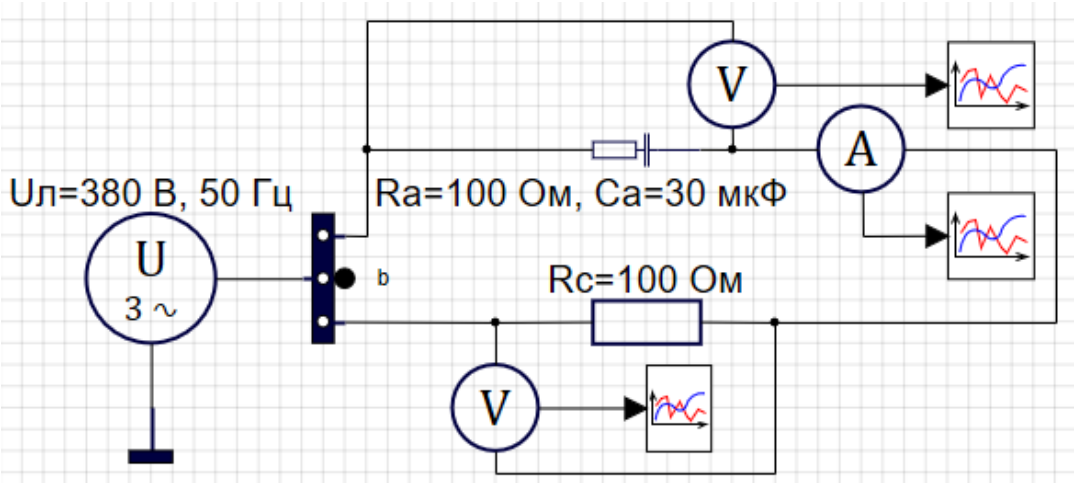


Рис. 4.15

Задать значение параметров цепи для блоков в зависимости от номера варианта (см. табл. 4.1).

Отчет

Вставить в отчет по лабораторной работе содержимое полученного окна проекта с указанием на схемах значений всех параметров для вашего варианта.

11. Запустить на моделирование полученную модель и посмотреть результаты моделирования в графических окнах.

На рис. 4.16–4.18 приведены результаты моделирования схемы рис. 4.15.

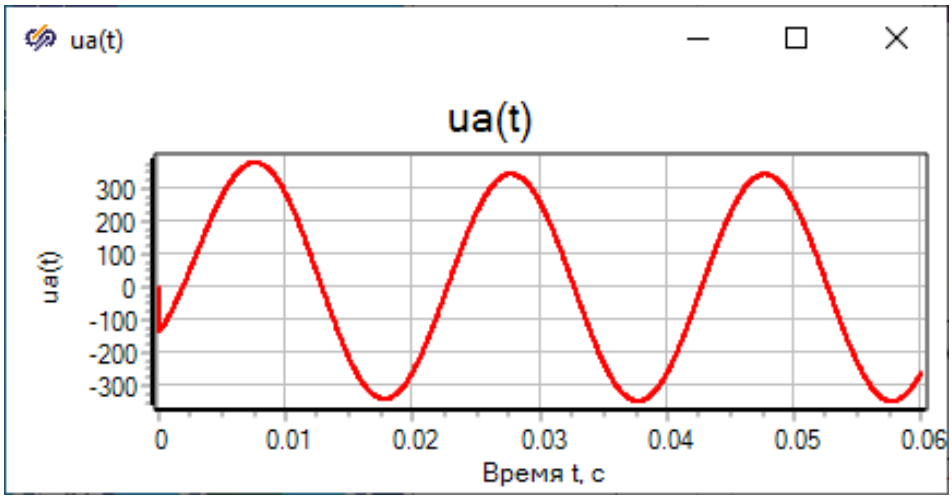


Рис. 4.16

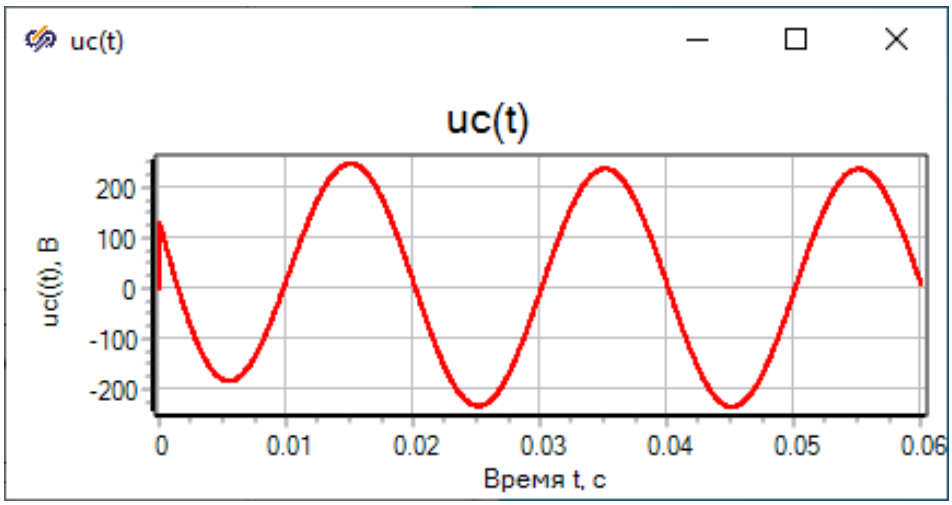


Рис. 4.17

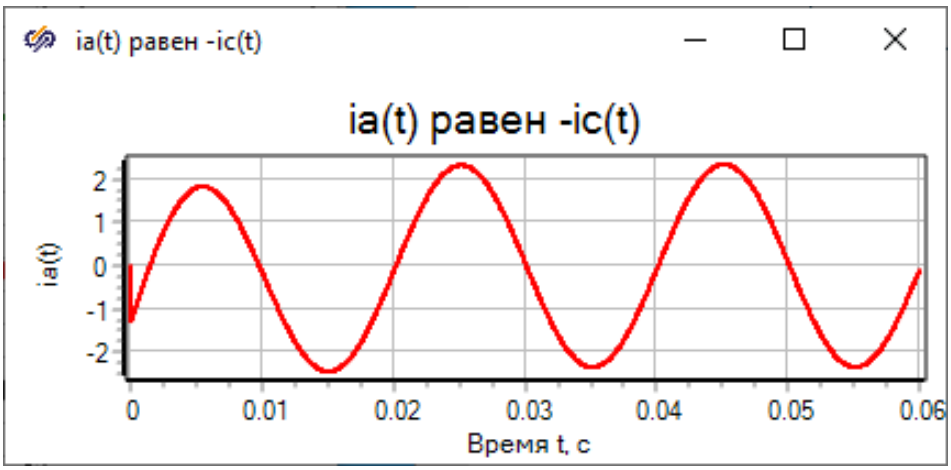


Рис. 4.18

Из временных диаграмм видно, что фазное напряжение *uc*(*t*) совпадает по фазе с током *ic*(*t*), который находится в противофазе к *i*a(*t*), показанному на рис. 4.15.

Отчет

Вставить в отчет по лабораторной работе содержимое соответствующих графических окон **Временной график** с текущими результатами моделирования для своего варианта. Провести анализ полученных графиков в установившемся режиме и сделать выводы о сдвигах по фазе между напряжениями и токами в фазах.

Контрольные вопросы

1. Какие блоки существуют в системе SimInTech для моделирования трехфазных электрических цепей?

2. Какие свойства и порты существуют в блоках **Вольтметр идеальный, Вольтметр идеальный 3-фазный, Амперметр идеальный**, **Амперметр идеальный 3-фазный** и для чего они используются?

3. Какие свойства и порты существуют в блоке **Шина-преобразователь схемы 1 – 3 линейная**?

4. Какие свойства и порты существуют в блоке **ЭЦД – Источник напряжения 3-фазный**?

5. Как можно измерить сдвиг по фазе между двумя гармоническими сигналами по временным диаграммам из блока **Временной график**?

Лабораторная работа № 5

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТРЕХФАЗНЫХ ЦЕПЕЙ ПРИ СОЕДИНЕНИИ ФАЗ ГЕНЕРАТОРА ПО СХЕМЕ ЗВЕЗДА, А ПРИЕМНИКА ПО СХЕМЕ ТРЕУГОЛЬНИК В СИСТЕМЕ SimInTech

Цель работы: моделирование трехфазной цепи при соединении фаз генератора по схеме звезда, а приемника по схеме треугольник при различных режимах ее работы в системе SimInTech.

Рабочее задание

1. Собрать в окне проектов системы SimInTech симметричную трехфазную цепь при соединении фаз генератора по схеме звезда, а приемника по схеме треугольник (рис. 5.1), используя элементы из библиотек **ЭЦ – Динамика** и **Вывод данных**.

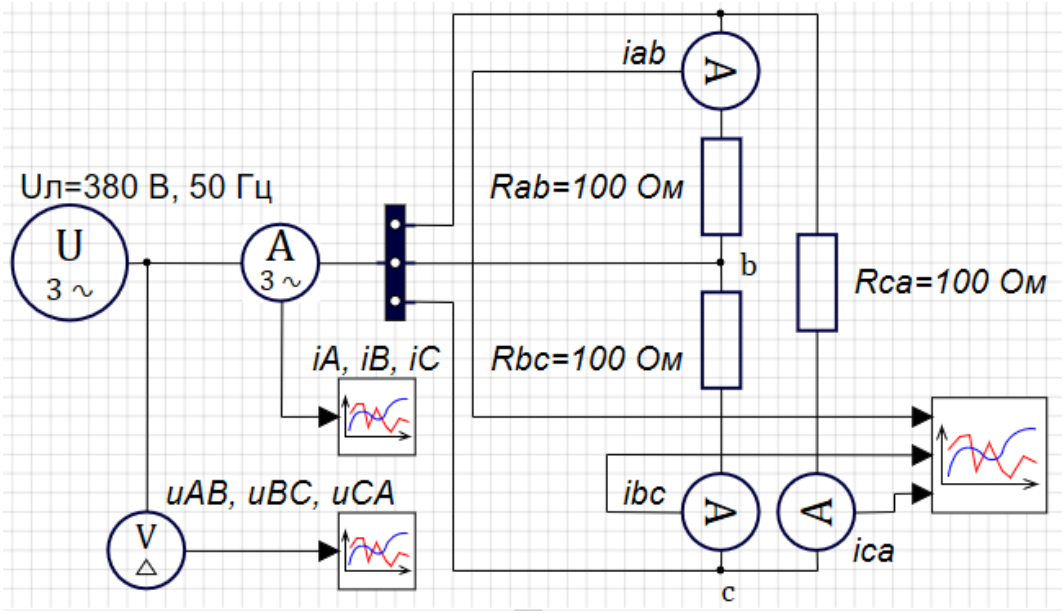
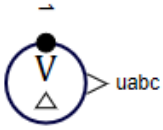


Рис. 5.1

Для измерения линейных напряжений трехфазного генератора использовать блок **Измеритель линейных напряжений 3-фазный**  из библиотеки **ЭЦ – Динамика** из закладки **Измерители**.

2. Задать следующие значения параметров цепи:

– значение сопротивления $R_ф$ в омах равным номеру варианта, умноженному на 10 плюс 100;

– линейное напряжение трехфазного генератора равным 380 В с частотой f = 50 Гц.

Отчет

Вставить в отчет по лабораторной работе содержимое полученного окна проекта с указанием на схемах значений всех параметров для вашего варианта.

3. Задать в окне **Параметры проекта**:

– для параметра **Конечное время расчета**: равным 0,02 с;

– значение параметров **Минимальный шаг** (**Максимальный шаг**) равным **0.00004**, чтобы количество точек для моделирования было не менее 500, не считая начальной точки.

4. Запустить на моделирование полученную цепь и посмотреть результаты моделирования в графических окнах (рис. 5.2–5.4 для модели рис. 5.1).

Рис. 5.2

Рис. 5.3

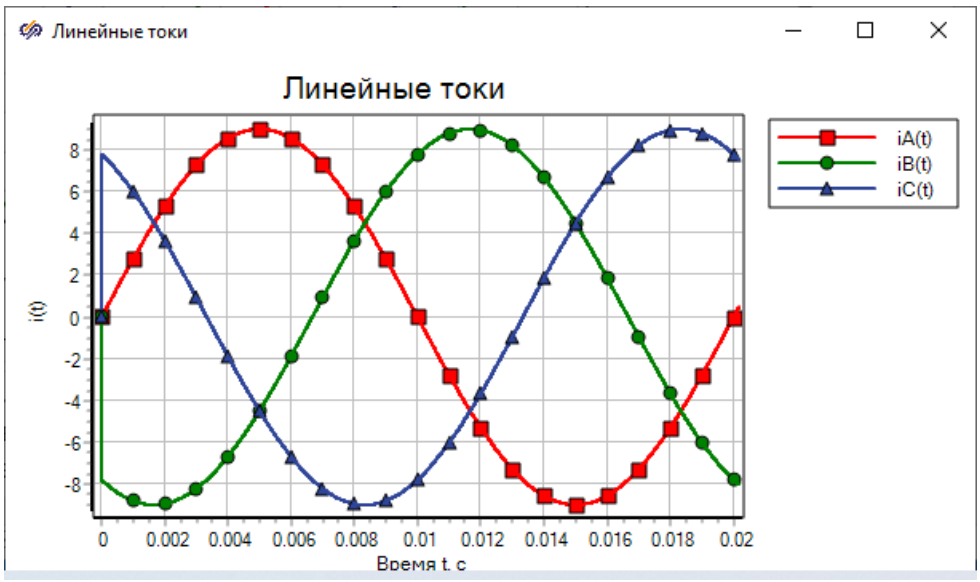


Рис. 5.4

Отчет

Вставить в отчет по лабораторной работе содержимое полученного окна проекта с указанием на схемах значений всех параметров и содержимое соответствующих графических окон **Временной график** с текущими результатами моделирования для своего варианта. Провести анализ полученных графиков и сделать выводы о начальных фазах и амплитудных значениях фазных и линейных токов, а также фазных напряжений. Построить соответствующую векторную диаграмму фазных и линейных токов и проверить по ней выполнение первого закона Кирхгофа.

5. Для указанных в зависимости от номера варианта значений параметров (табл. 5.1) собрать в окне проектов системы SimInTech несимметричную трехфазную цепь при соединении фаз приемника по схеме треугольник (рис. 5.5).

Таблица 5.1

Значение параметров

Номер варианта	Элементы в фазе			*R'*, Ом	Емкость конденсатора *C*, мкФ	Обрыв линейного провода	Холостой ход в фазе
	ab	*bc*	*ca*				
1	2	3	4	5	6	7	8
1	*R*ф, *R'*	*R*ф	*R*ф	30	20	*aA*	
2	*R*ф	*R*ф, *R'*	*R*ф	40	15		*ab*
3	*R*ф	*R*ф	*R*ф, *R'*	50	10	*bB*	
4	*R*ф, *C*	*R*ф	*R*ф	60	5		*ca*

Окончание табл. 5.1

1	2	3	4	5	6	7	8
5	*R*ф	*R*ф, *C*	*R*ф	70	20	*cC*	
6	*R*ф	*R*ф	*R*ф, *C*	30	15		*bc*
7	*R*ф, *R'*	*R*ф, *R'*	*R*ф	40	10	*aA*	
8	*R*ф	*R*ф, *R'*	*R*ф, *R'*	50	5		*ab*
9	*R*ф, *R'*	*R*ф	*R*ф, *R'*	60	20	*bB*	
10	*R*ф, *C*	*R*ф, *R'*	*R*ф	70	15		*ca*
11	*R*ф, *C*	*R*ф	*R*ф, *R'*	30	10	*cC*	
12	*R*ф, *R'*	*R*ф, *C*	*R*ф	40	5		*bc*
13	*R*ф	*R*ф, *C*	*R*ф, *R'*	50	20	*aA*	
14	*R*ф, *R'*	*R*ф	*R*ф, *C*	60	15		*ab*
15	*R*ф	*R*ф, *R'*	*R*ф, *C*	70	10	*bB*	
16	*R*ф, *C*	*R*ф, *C*	*R*ф	30	5		*ca*
17	*R*ф	*R*ф, *C*	*R*ф, *C*	40	20	*cC*	
18	*R*ф, *C*	*R*ф	*R*ф, *C*	50	15		*bc*
19	*R*ф, *R'*	*R*ф	*R*ф, *C*	60	10	*aA*	
20	*R*ф, *C*	*R*ф, *R'*	*R*ф	70	5		*ab*

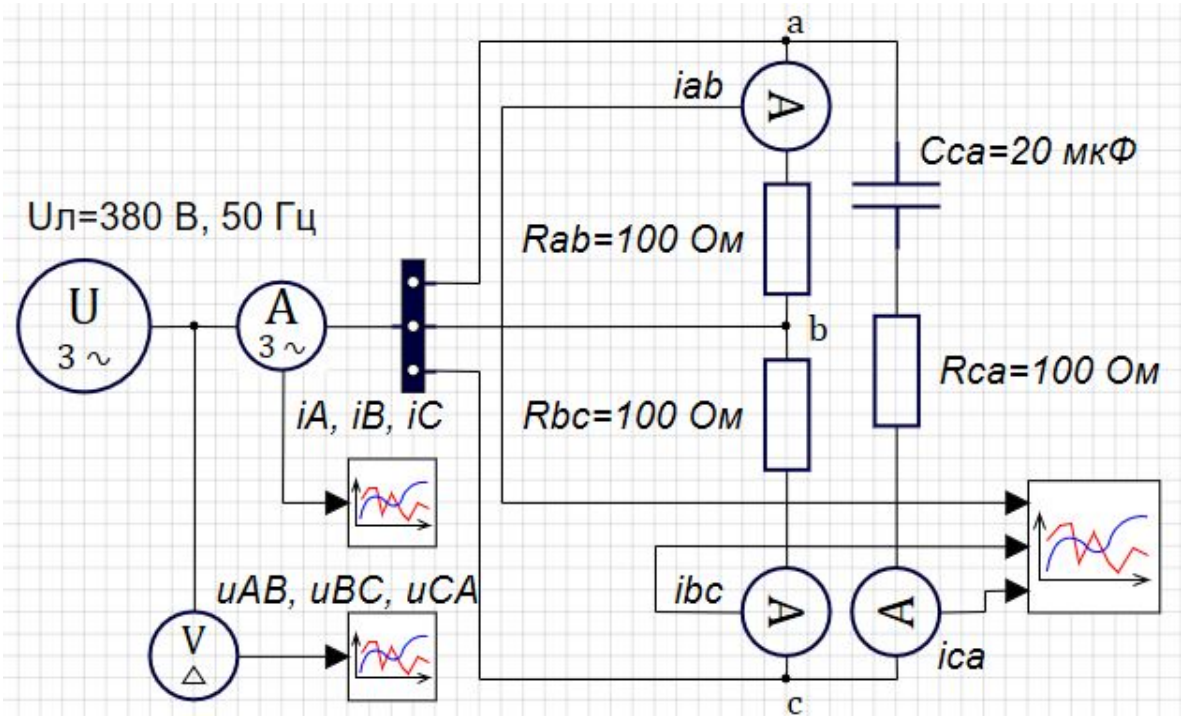


Рис. 5.5

Отчет

Вставить в отчет по лабораторной работе содержимое полученного окна проекта с указанием на схемах значений всех параметров для вашего варианта.

6. Задать в окне **Параметры проекта**: для параметра **Конечное время расчета**: равным 0,06 с. Остальные настройки оставить без изменения.

7. Запустить на моделирование полученную модель и посмотреть результаты моделирования в графических окнах. На рис. 5.6–5.8 приведены результаты моделирования схемы рис. 5.5.

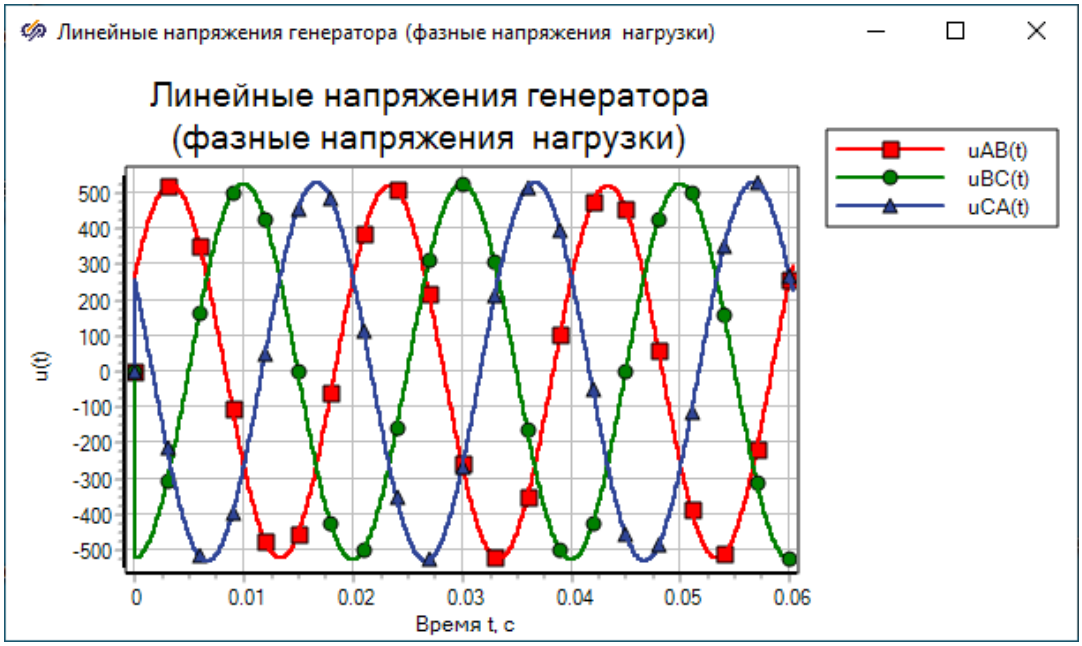


Рис. 5.6

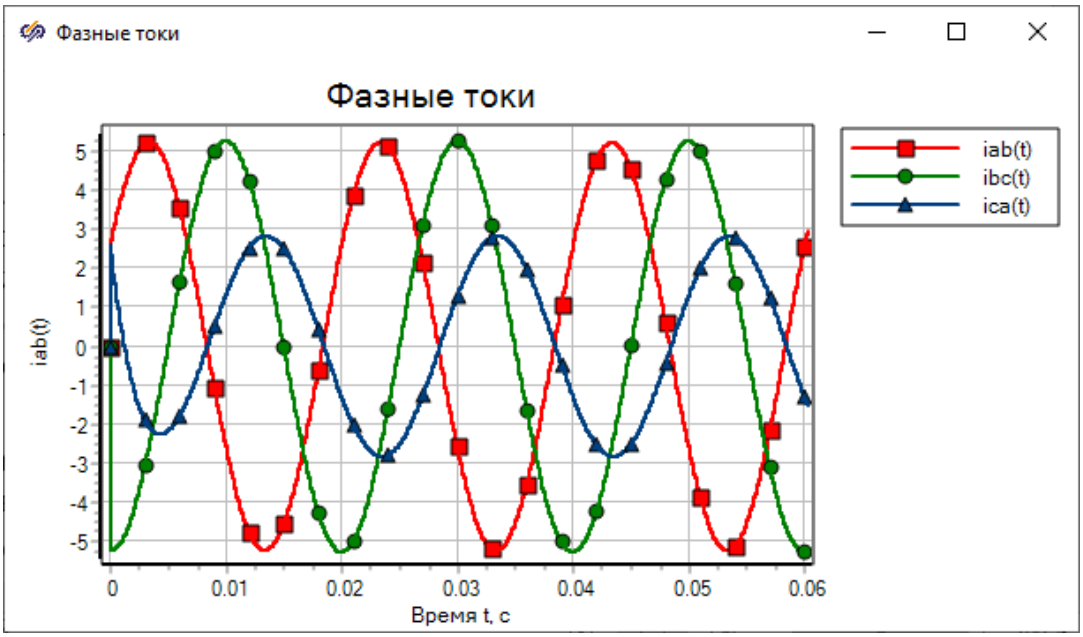


Рис. 5.7

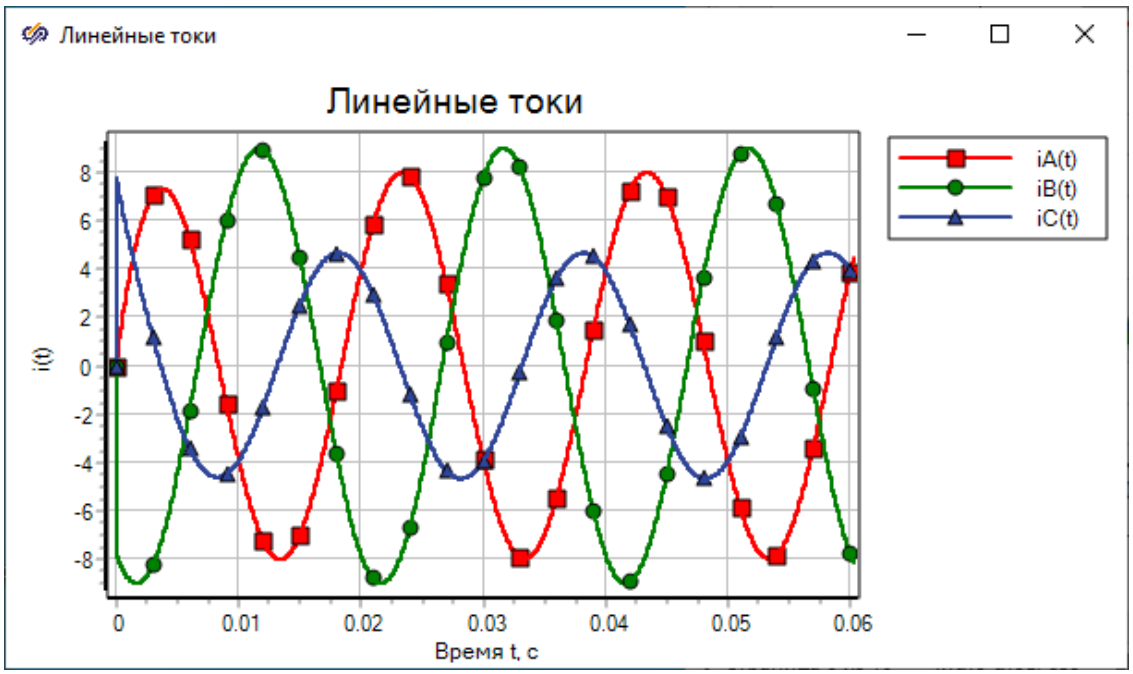


Рис. 5.8

Отчет

Вставить в отчет по лабораторной работе содержимое соответствующих графических окон **Временной график** с текущими результатами моделирования для своего варианта. Провести анализ полученных графиков и сделать выводы о начальных фазах и амплитудных значениях фазных и линейных токов, а также фазных напряжений. Построить соответствующую векторную диаграмму фазных и линейных токов и проверить по ней выполнение первого закона Кирхгофа. Определить время установления по временным диаграммам.

8. Смоделировать в окне проектов системы SimInTech для несимметричной трехфазной цепи при соединении фаз приемника по схеме треугольник один из аварийных режимов (обрыв линейного провода или холостой ход в фазе) в зависимости от номера варианта (см. табл. 1).

Отчет

Вставить в отчет по лабораторной работе содержимое полученного окна проекта с указанием на схемах значений всех параметров для вашего варианта.

На рис. 5.9 приведена схема для моделирования обрыва линейного провода bB в цепи рис. 5.5.

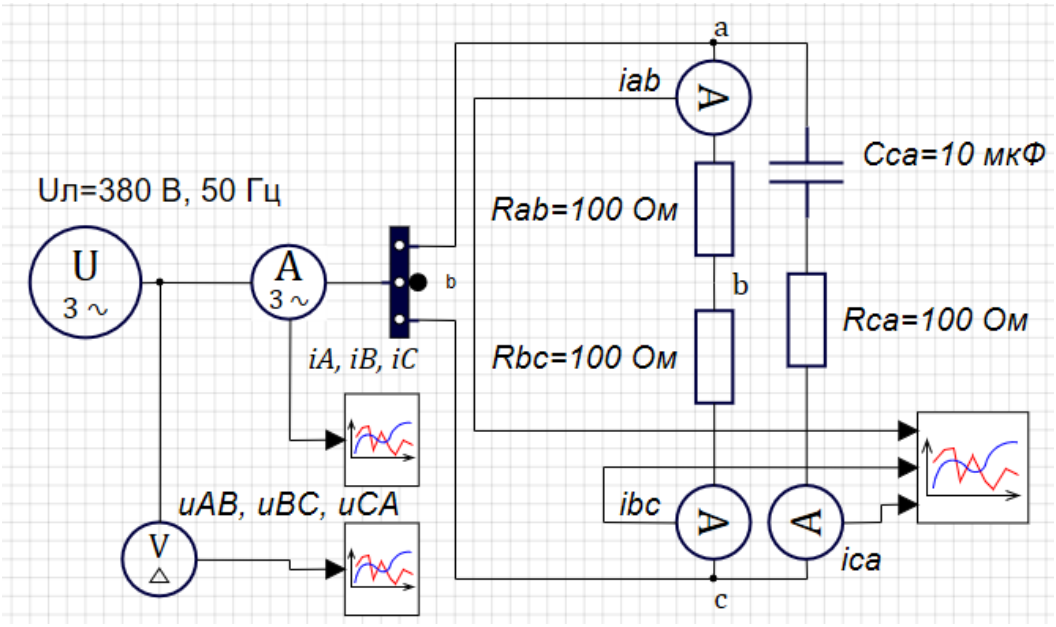


Рис. 5.9

9. Запустить на моделирование полученную модель и посмотреть результаты моделирования в графических окнах.

На рис. 5.10–5.12 приведены результаты моделирования схемы рис. 5.9.

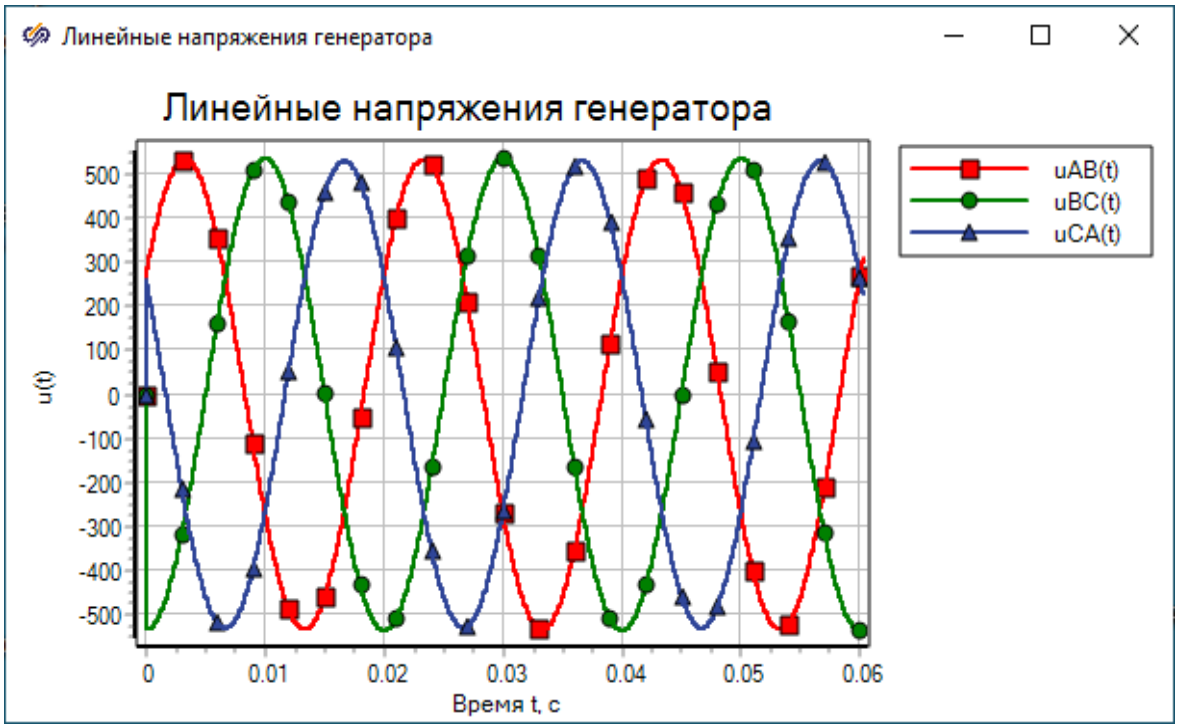


Рис. 5.10

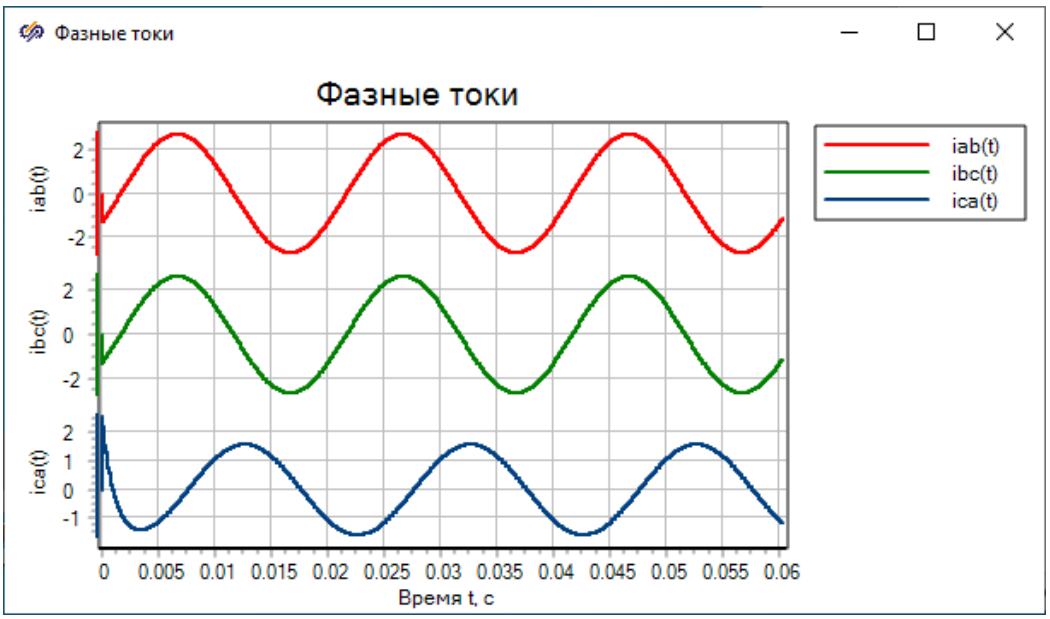


Рис. 5.11

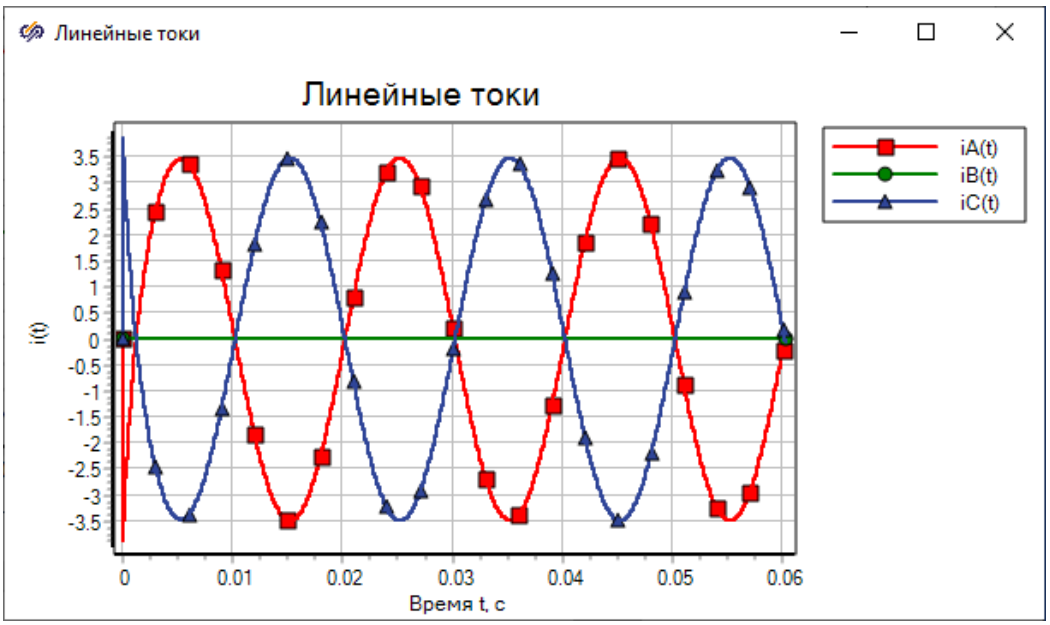


Рис. 5.12

Отчет

Вставить в отчет по лабораторной работе содержимое соответствующих графических окон **Временной график** с текущими результатами моделирования для своего варианта. Провести анализ полученных графиков и сделать выводы о начальных фазах и амплитудных значениях фазных и линейных токов, а также фазных напряжений. Построить соответствующую векторную диаграмму фазных и линейных токов и проверить по ней выполнение первого закона Кирхгофа.

Контрольные вопросы

1. Какие блоки существуют в системе SimInTech для моделирования трехфазных электрических цепей?
2. Какие свойства и порты существуют в блоках **Вольтметр идеальный, Вольтметр идеальный 3-фазный, Амперметр идеальный**, **Амперметр идеальный 3-фазный** и для чего они используются?
3. Какие свойства и порты существуют в блоке **Шина – преобразователь схемы 1 – 3 линейная**?
4. Какие свойства и порты существуют в блоке **ЭЦД – Источник напряжения 3-фазный**?
5. Как можно измерить сдвиг по фазе между двумя гармоническими сигналами по временным диаграммам из блока **Временной график**?

Лабораторная работа № 6

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ В СИСТЕМЕ SimInTech

Цель работы: знакомство с возможностью системы SimInTech для динамического моделирования переходных процессов в электрических цепях.

Рабочее задание

1. Последовательно смоделировать в системе SimInTech цепи постоянного тока, приведенные на рис. 6.1, используя элементы из библиотек **ЭЦ – Динамика** и **Вывод данных**.

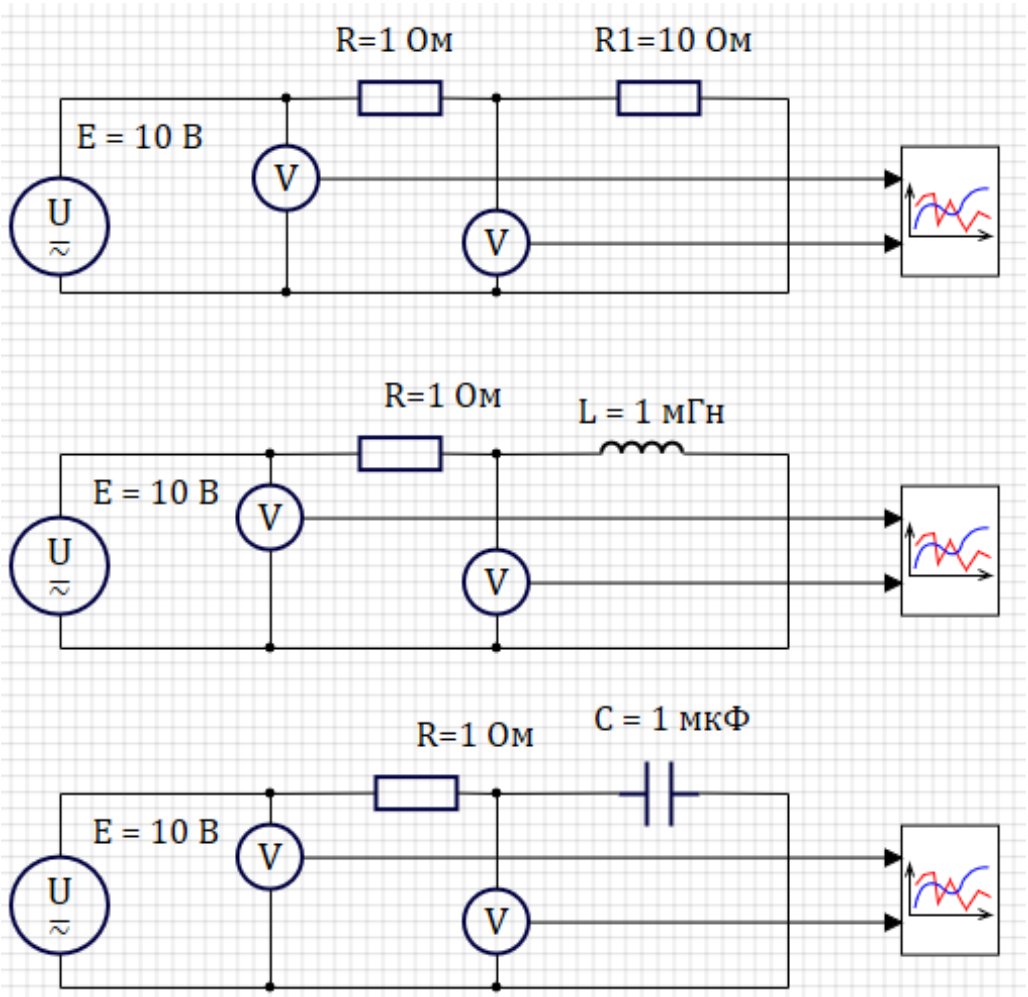


Рис. 6.1

Для этого в каждой модели из библиотеки **ЭЦ – Динамика** выбрать следующие блоки:

– блок **Источник напряжения** из закладки **Источники**;

– два блока **RLC-цепь** из закладки **Электротехнические элементы**;

– два блока **Вольтметр идеальный** из закладки **Измерители**.

Добавить в каждую модель блок **Временной график** из библиотеки **Вывод данных**.

Соединить блоки между собой в соответствии с рис. 6.1.

2. Задать для всех моделей в окне свойств для блока **Источник напряжения** значения параметров, приведенные на рис. 6.2.

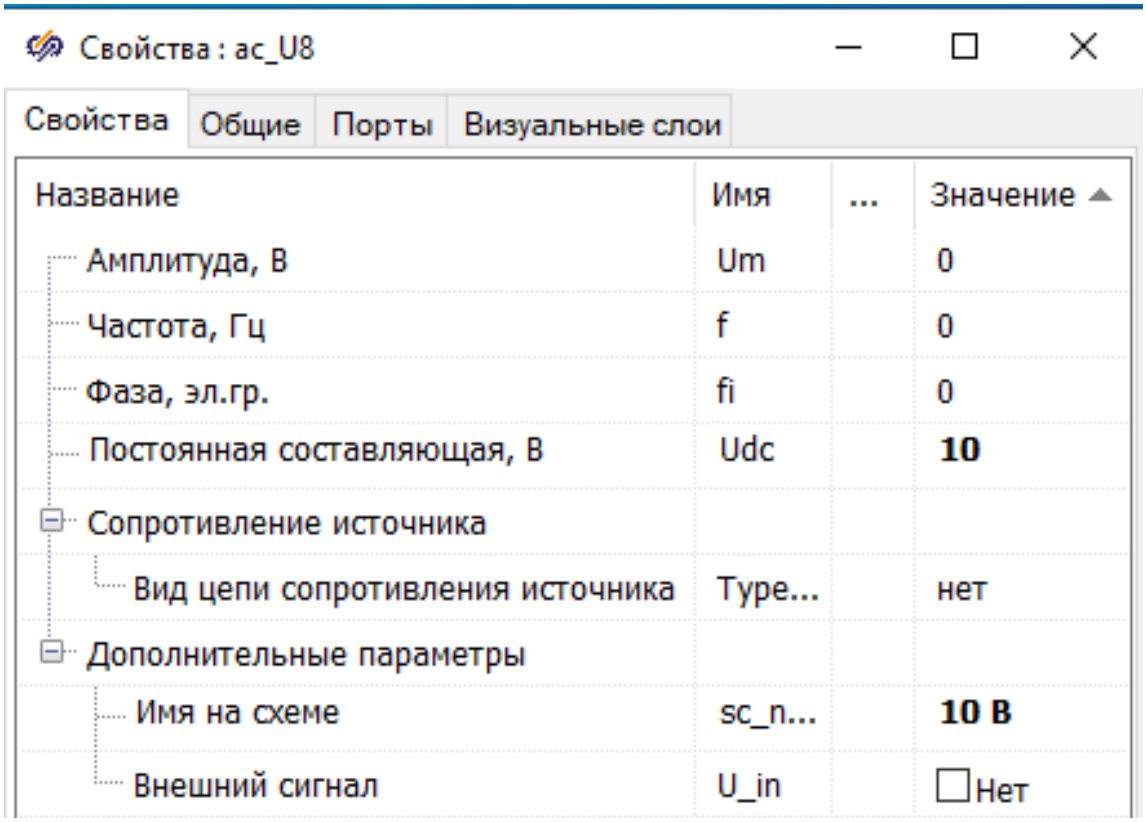


Рис. 6.2

Задать для всех моделей в окне свойств для блоков **RLC-цепь**:

– значение сопротивления **R** в омах равным номеру варианта, умноженному на 10;

– значения свойства **Вид цепи** и значения параметров для правых блоков **RLC-цепь** в соответствии с рис. 6.1.

Отчет

Вставить в отчет по лабораторной работе содержимое полученного окна проекта с указанием на схемах значений всех параметров для вашего варианта.

3. Задать в окне **Параметры проекта** следующие значения:

– для параметра **Конечное время расчета**:

– для чисто резистивной цепи произвольно, например 1 с;

– для *RL*-цепи в пять раз больше постоянной времени соответствующей цепи, например, для R = 1 Ом:

$$5\tau = 5L/R = 5 \cdot 0{,}001/1 = 5 \text{ мс};$$

– для *RC*-цепи в пять раз больше постоянной времени соответствующей цепи, например, для R = 1 Ом:

$$5\tau = 5CR = 5 \cdot 0{,}000001 \cdot 1 = 5 \text{ мкс};$$

– для параметра **Управление расчетом → Шаги, на которых данные выводятся на график → Все шаги**.

4. Перед запуском на моделирование задать в окне **Параметры проекта** для каждой схемы отдельно значение параметров **Минимальный шаг** (**Максимальный шаг**) таким образом, чтобы количество точек для моделирования было не менее 500, не считая начальной точки. Для параметров, приведенных на схемах рис. 6.1, эти значения равны:

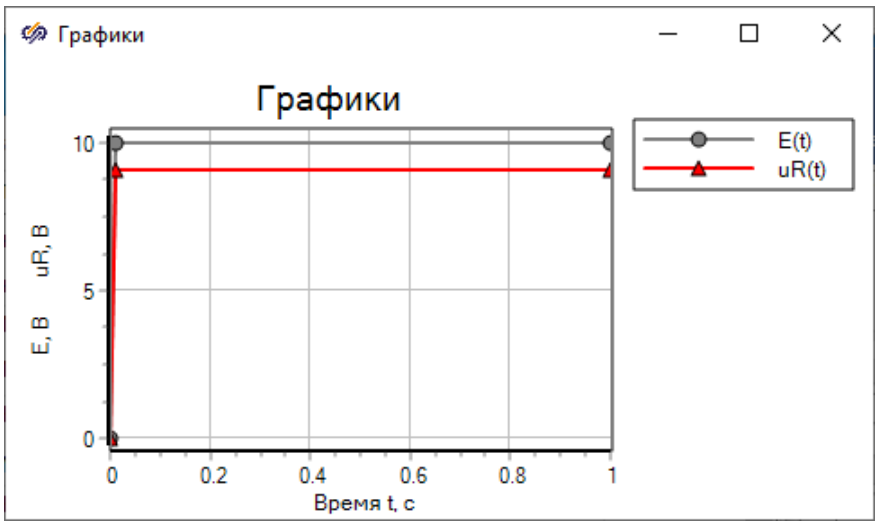
– для чисто резистивной цепи– **0.002**;

– для *RL*-цепи – **0.00001**;

– для *RC*-цепи – **0.00000001**.

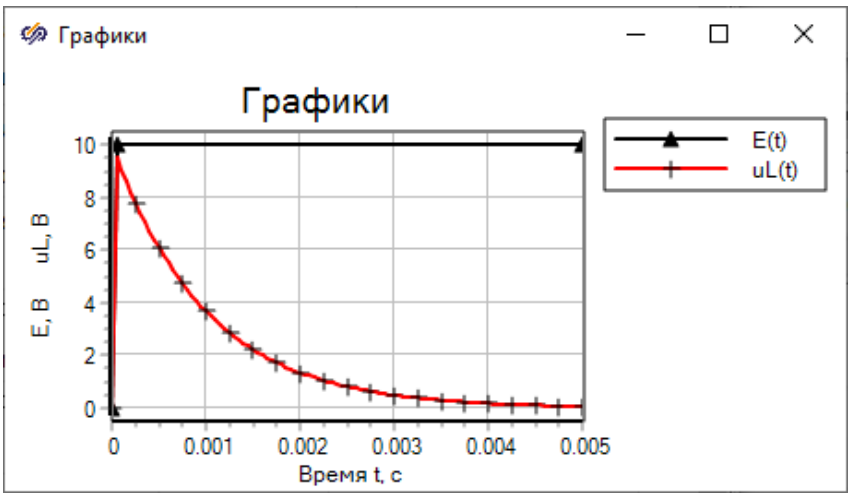
5. Запустить на моделирование полученные модели и посмотреть результаты моделирования в графических окнах.

На рис. 6.3 приведены результаты моделирования схем рис. 6.1 для R = 1 Ом.

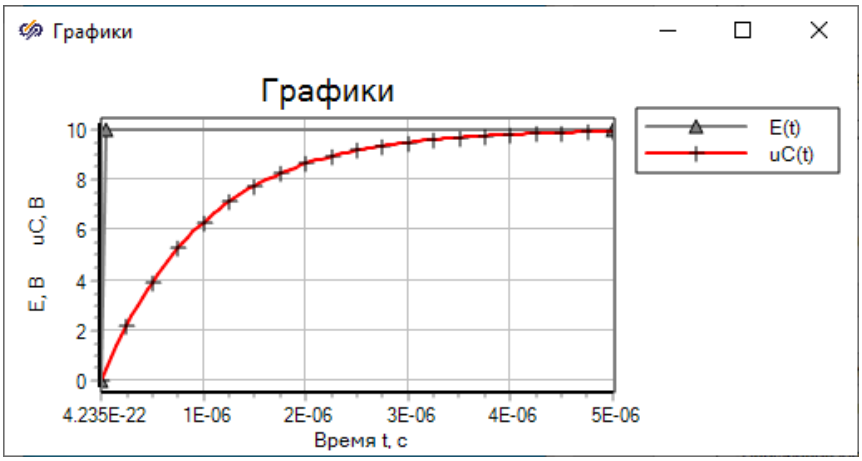


а)

Рис. 6.3. Начало



б)



в)

Рис. 6.3. Окончание

6. Нажать правой кнопкой мыши на графическом окне для каждой модели и выбрать в контекстном меню пункт **Свойства**.

Настроить параметры каждого **Графического окна** (тип линий, вид точки на графике, параметры осей координат, параметры заголовка графика и подписей по осям координат и место расположения легенды, максимальное количество меток графика – 20, …) таким образом, чтобы получились графики в соответствии с рис. 6.3.

Задайте значение параметра **Шаг сетки** таким образом, чтобы он соответствовал 0,2 с для чисто резистивной цепи или значению постоянной времени для *RL*- и *RC*-цепей.

Снова запустить на моделирование полученные модели.

Отчет

Вставить в отчет по лабораторной работе содержимое соответствующих графических окон **Временной график** для всех моделей с текущими результатами моделирования для своего варианта.

7. Для *RC*- и *RL*-моделей в окне свойств для графиков на вкладке **Дополнительно** уменьшить максимальное количество меток графика до 10 и запустить процесс моделирования. Результаты моделирования для схем *RL* и *RC* приведены на рис. 6.4, 6.5.

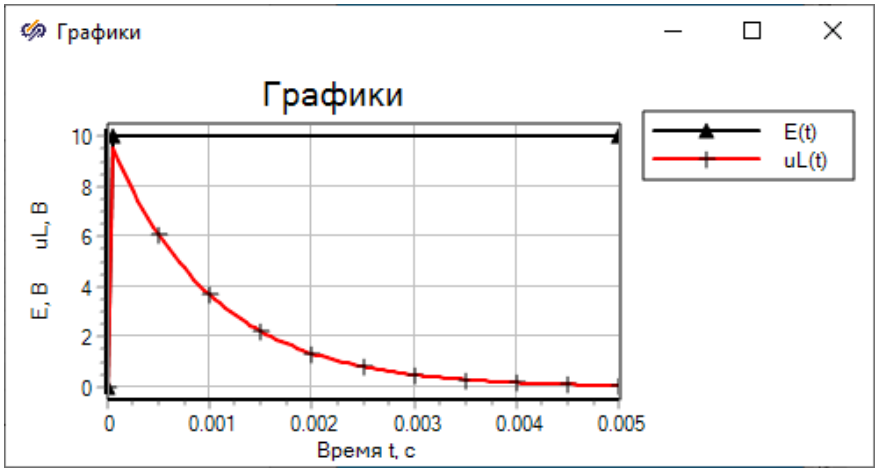


Рис. 6.4

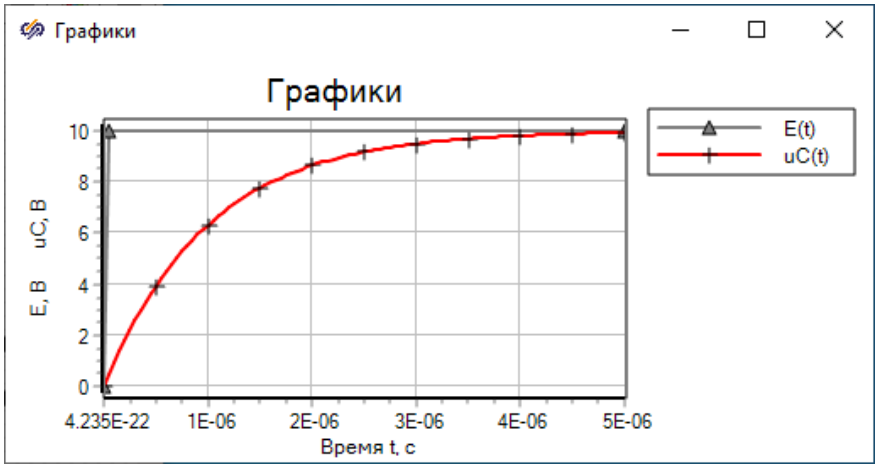


Рис. 6.5

Отчет

Вставить в отчет по лабораторной работе полученные графики. Сравнить их с ранее полученными графиками для этих схем и сделать вывод.

8. Установить в окне **Параметры проекта** в разделе **Управление расчетом** для *RC*- и *RL*-моделей:

– значение параметра **Шаг синхронизации задачи**, меньше в пять раз значения параметра **Конечное время расчета**;

– значение параметра **Шаги, на которых данные выводятся на графики** значение из списка **Шаги синхронизации**.

Запустите процесс моделирования. Результаты моделирования для схем *RL* и *RC* приведены на рис. 6.6–6.7.

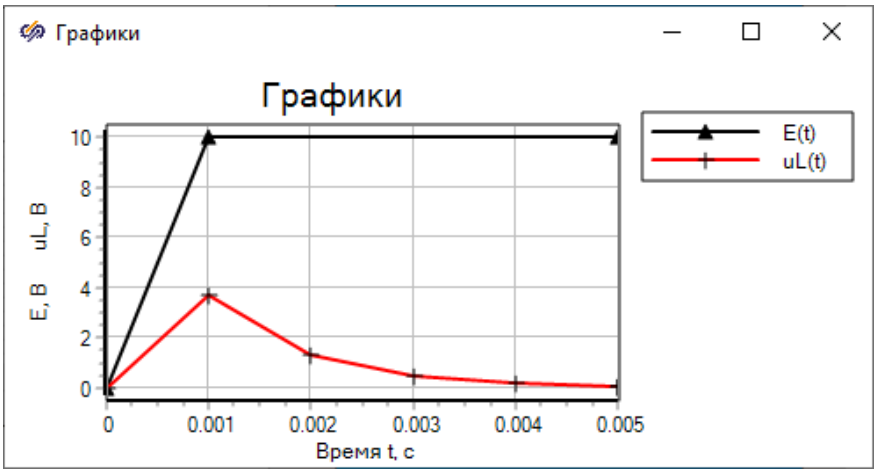


Рис. 6.6

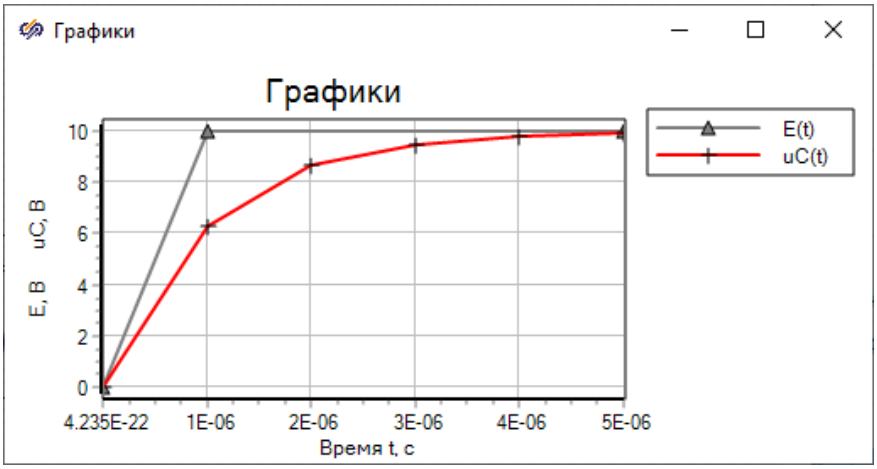


Рис. 6.7

Отчет Вставить в отчет по лабораторной работе полученные графики. Сравнить их с ранее полученными графиками для этих схем и сделать вывод.

9. Последовательно смоделировать в системе SimInTech схемы, приведенные на рис. 6.8, используя элементы из библиотек **ЭЦ – Динамика** и **Вывод данных**.

10. Задать значение сопротивления *R*1 в омах равным номеру варианта плюс 10. Значение остальных элементов схемы указано на рис. 6.7.

Отчет Вставить в отчет по лабораторной работе содержимое полученного окна проекта с указанием на схемах значениями всех параметров для вашего варианта.

11. Задать в окне **Параметры проекта**:

– значения для параметра **Конечное время расчета**: равным 10 периодам источника гармонических колебаний (для частоты 50 Гц – конечное время должно равняться 0,2 с);

– значение параметра **Минимальный шаг** (**Максимальный шаг**) таким образом, чтобы количество точек для моделирования было не менее 2000, не считая начальной точки (для частоты 50 Гц – минимальный шаг должен равняться 0,2 с / 2000 = 0,0001 с).

Отчет Вставить в отчет по лабораторной работе содержимое окна **Параметры проекта** для вашего варианта.

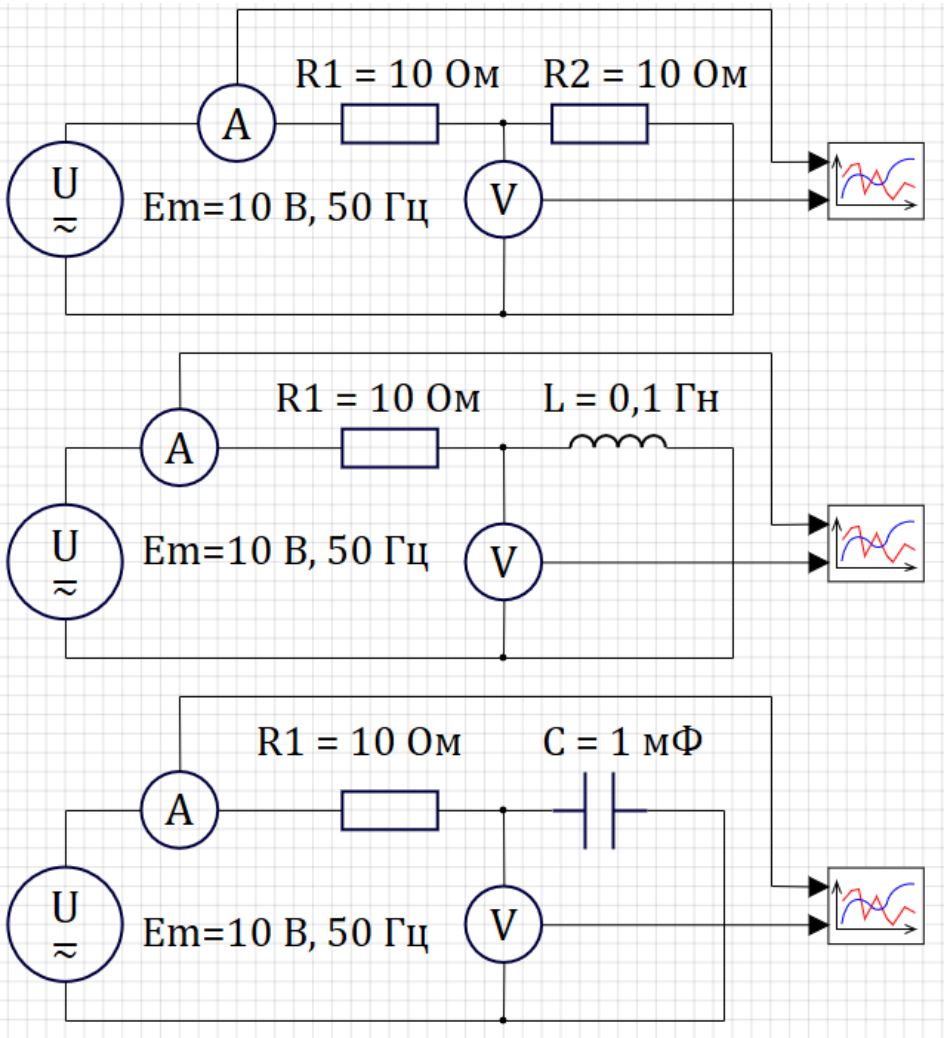


Рис. 6.8

12. Запустить на моделирование полученные модели.

На рис. 6.9–6.11 приведено содержимое графических окон **Временной график** для схем, приведенных на рис. 6.8.

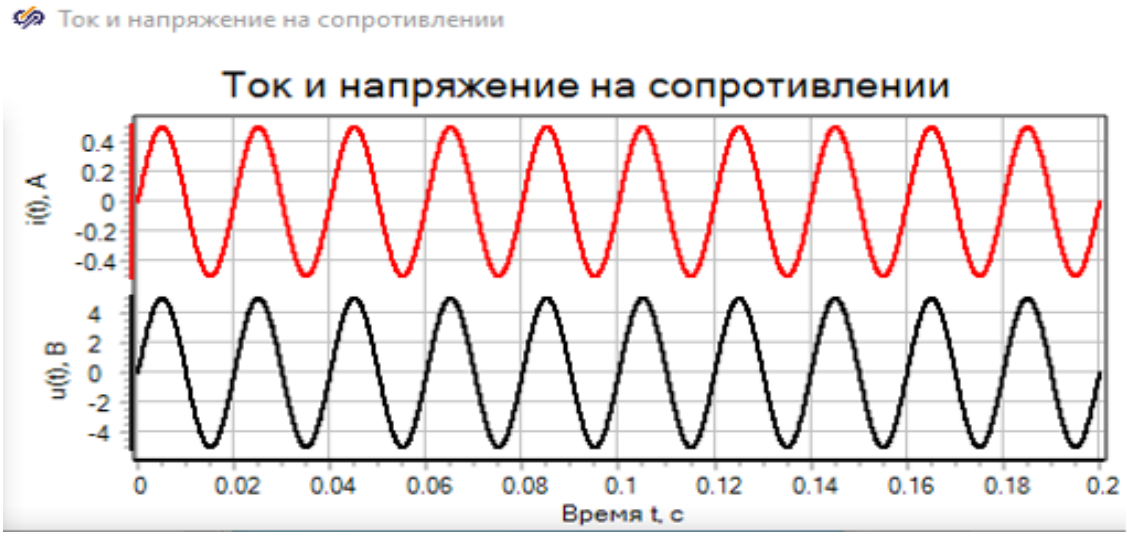


Рис. 6.9

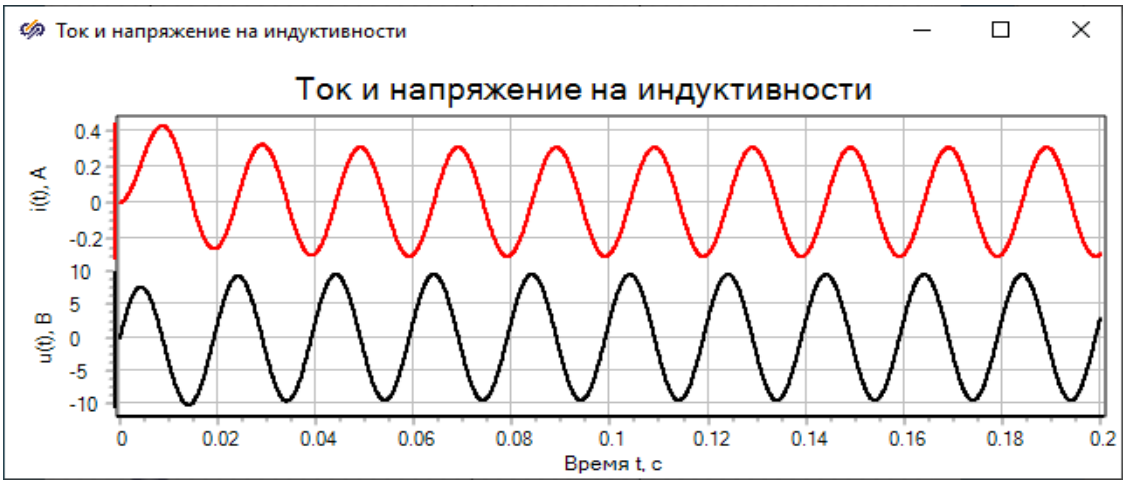


Рис. 6.10

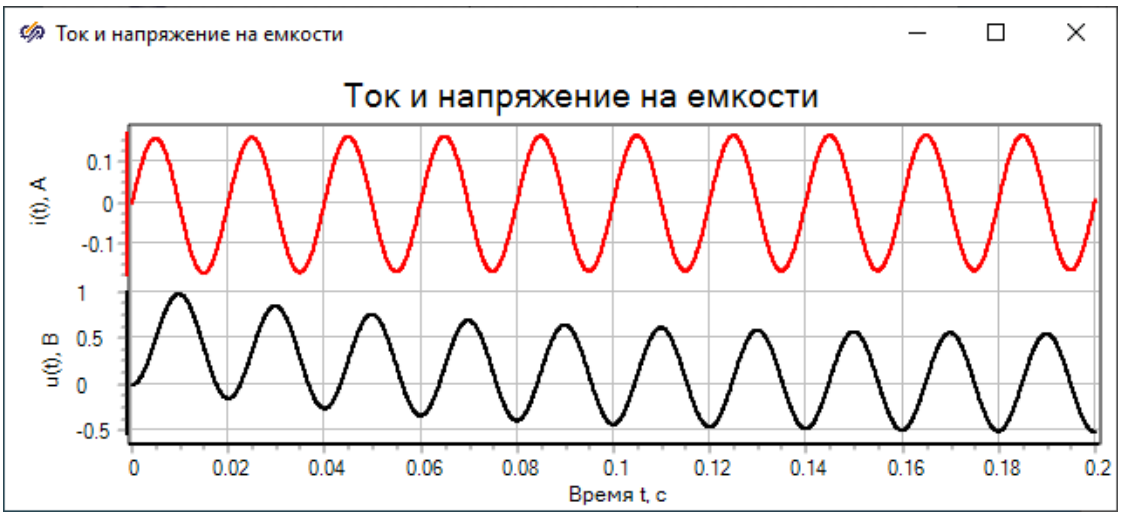


Рис. 6.11

Из графиков следует, что:

– при подключении входного напряжения в первой схеме нет переходных процессов, так как в схеме нет реактивных элементов;

– при подключении входного напряжения в схемах с *R-L* и *R-C*-элементами имеет место переходный процесс.

Отчет

Вставить в отчет по лабораторной работе содержимое графических окон **Временной график** с текущими результатами моделирования для вашего варианта. Провести анализ полученных графиков и сделать выводы о длительности переходного процесса.

13. Определить для схемы рис. 6.8 в окне **Свойств** на закладке **Параметры**:

– ток для индуктивности в конце моделирования (на рис. 6.12 **Ток, А** равен **–0.28900608**);

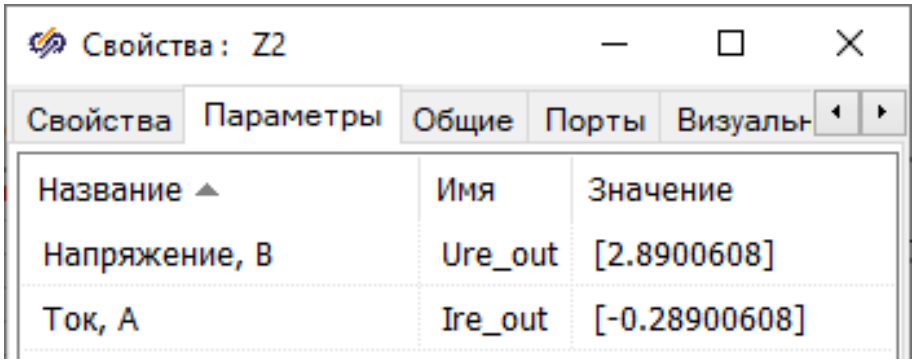


Рис. 6.12

– для конденсатора напряжение на емкости в конце моделирования (на рис. 6.13 **Напряжение, В** равно **–0.53008703**).

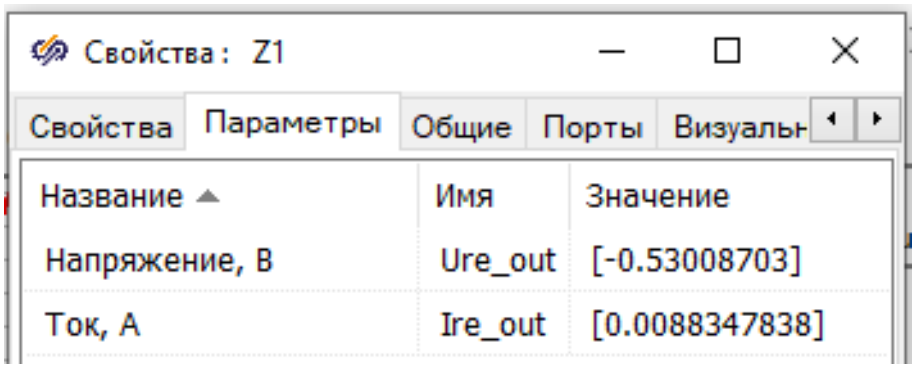


Рис. 6.13

Задать в окне **Свойств** на закладке **Свойства** значение свойства:

– **Начальный ток индуктивности, А** равным **–0.28900608**;

– **Начальное напряжение конденсатора, В** равным **0.53008703**.

14. Запустить на моделирование полученные модели.

На рис. 6.14, 6.15 приведено содержимое графических окон **Временной график** для схем *R-L* и *R-C* после установки начальных значений в соответствии с рис. 6.12, 6.13.

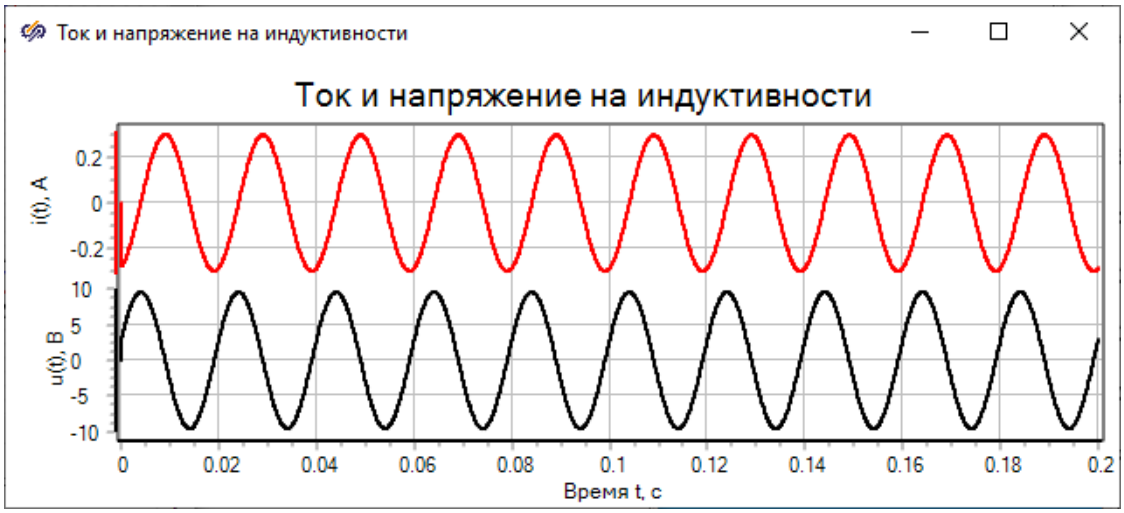


Рис. 6.14

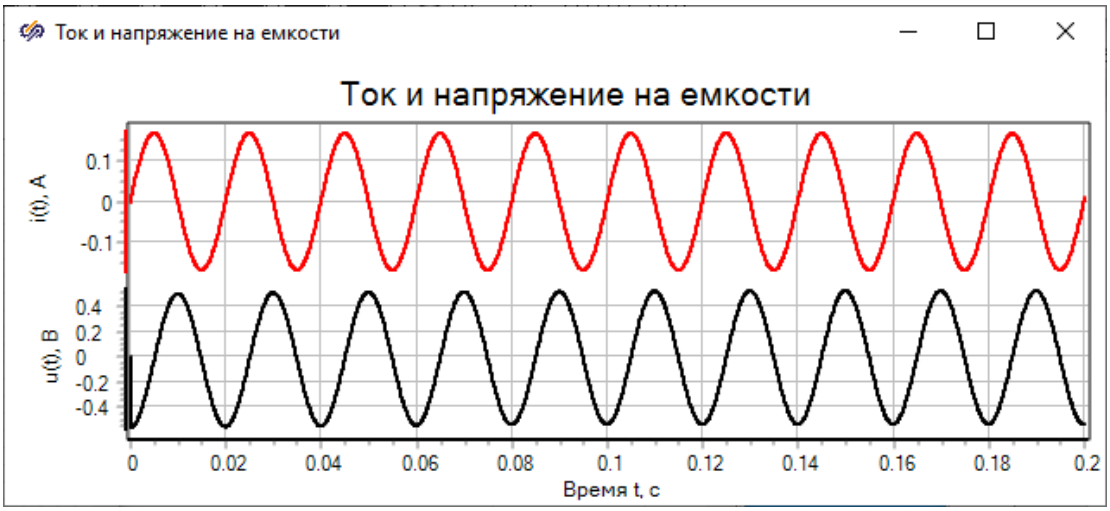


Рис. 6.15

Из графиков следует, что в схемах нет переходного процесса.

Отчет

Вставить в отчет по лабораторной работе содержимое графических окон **Временной график** с текущими результатами моделирования для вашего варианта. Провести анализ полученных графиков.

15. Настроить в окне свойств **Графического окна** для *RC*-цепи (для частоты 50 Гц – рис. 6.16):

– параметр **Интервал видимости** таким образом, чтобы был виден только последний период гармонического сигнала;

– параметра **Шаг сетки** таким образом, чтобы получить 10 линий сетки;

– убрать флажок **Автомасштаб** по оси *X*.

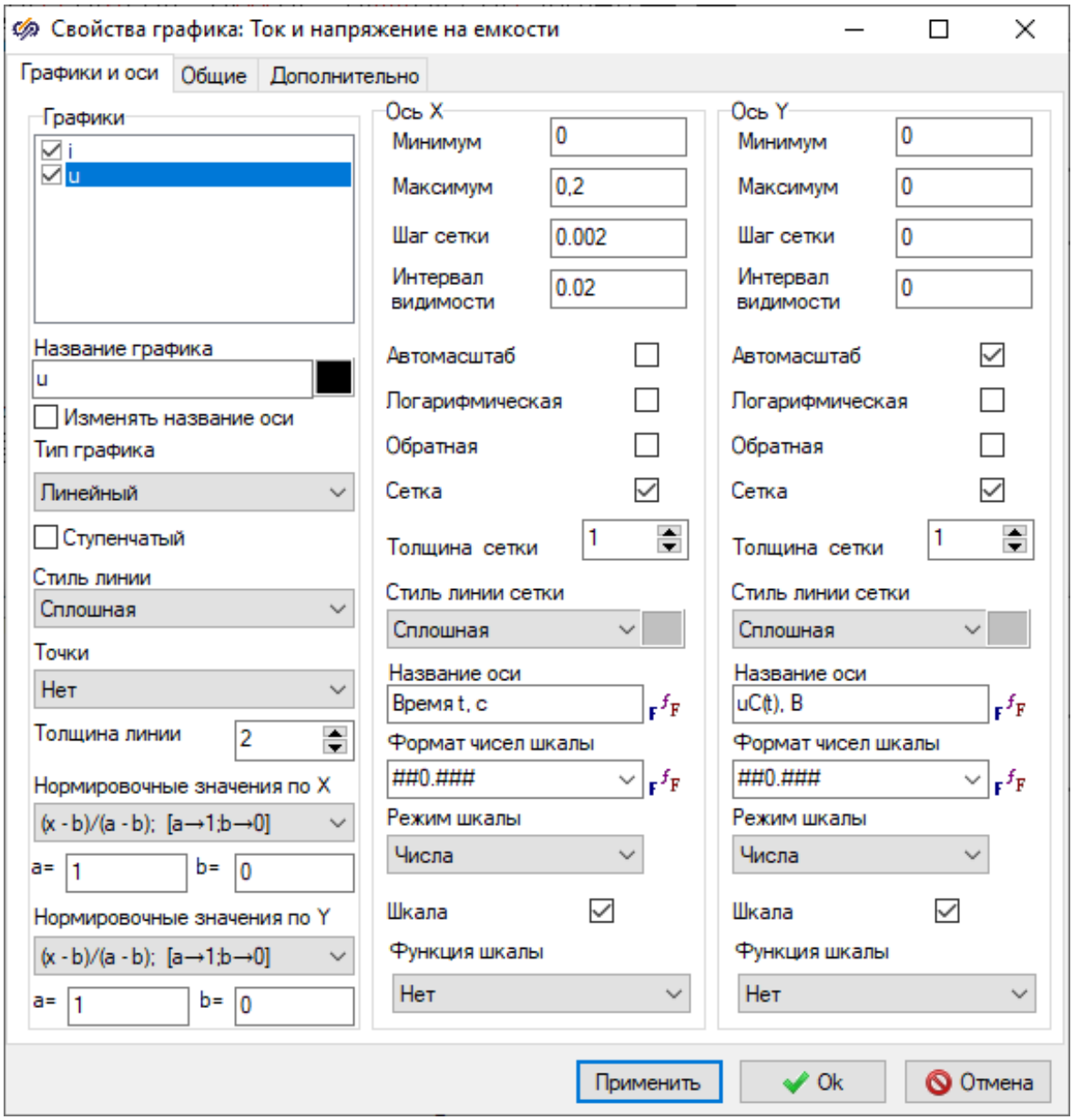


Рис. 6.16

После нажатия на клавишу **Применить** в **Графическом окне** для *RC*-цепи будут отображаться последние периоды графиков зависимости тока и напряжения на емкости для *RC*-цепи (рис. 6.17).

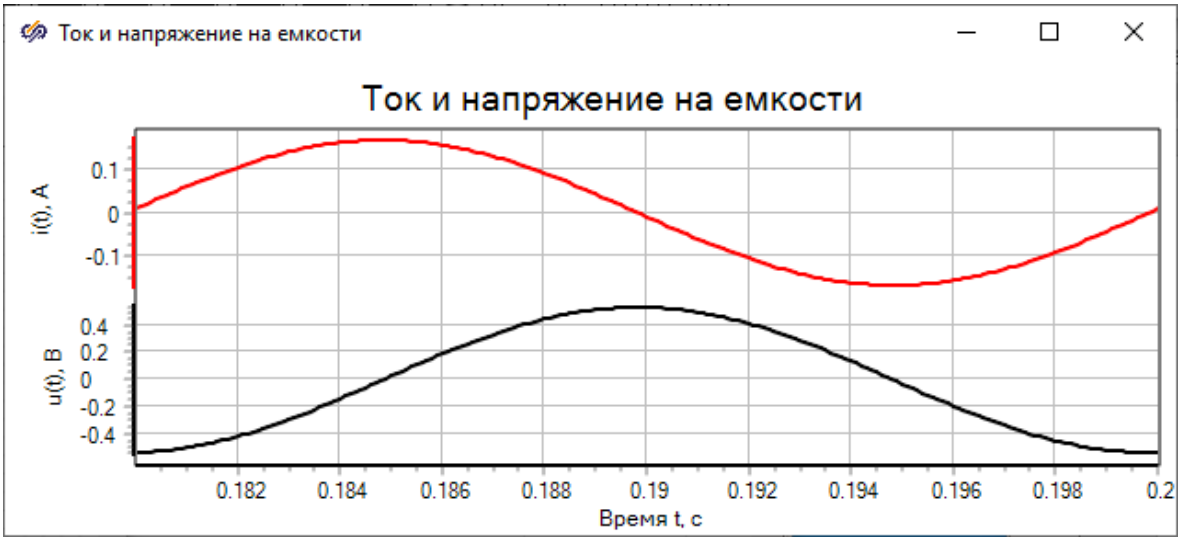


Рис. 6.17

Из графиков следует, что напряжение на емкости отстает по фазе от тока на 90°.

Отчет

Вставить в отчет по лабораторной работе содержимое графических окон **Временной график** с текущими результатами моделирования для вашего варианта. Провести анализ полученных графиков и сделать выводы о сдвигах по фазе между напряжениями и токами в установившемся режиме.

16. В зависимости от номера варианта провести моделирование разветвленной электрической цепи первого порядка, в которой после коммутации происходит изменение ее топологи (приложение).

При моделировании использовать элементы SimInTech из библиотек **ЭЦ – Динамика**, **Источники** и **Вывод данных**.

Задать значение сопротивления в омах равным номеру варианта. Для схем с индуктивностью – ее значение равным номеру варианта в миллигенри, а для схем с емкостью задать ее значение равным номеру варианта в микрофарадах.

На рис. 6.18 приведен пример моделирования подобной электрической цепи. Для коммутации в схеме используется блок **Ключ постоянного тока** из библиотеки **ЭЦ – Динамика**, который реализует модель ключа постоянного тока с визуализацией коммутационного состояния, и предназначен для использования совместно с элементами библиотеки **ЭЦ – Динамика**.

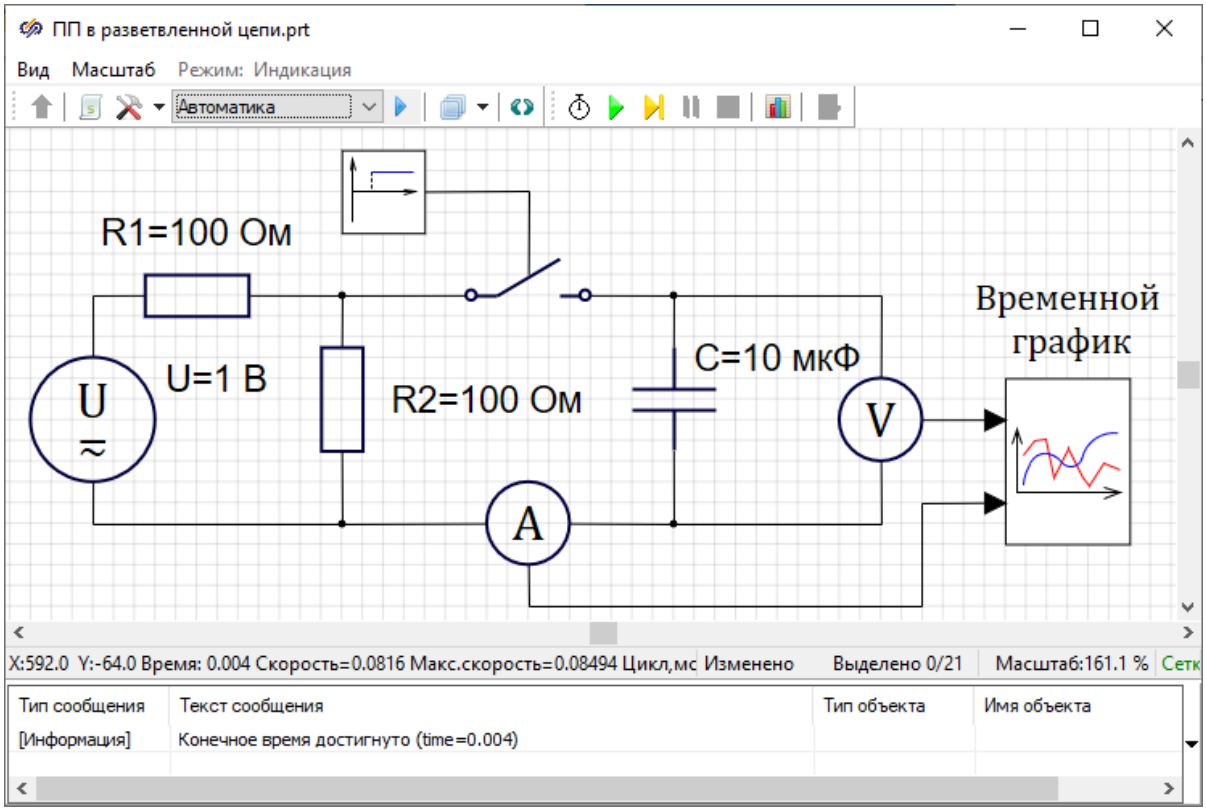


Рис. 6.18

Оставить значения по умолчанию в окне **Свойства** для блока **Ключ постоянного тока**, на закладке **Свойства** которого задаются в омах сопротивления между его контактами в разомкнутом и в замкнутом состоянии, а на закладке **Параметры** задается состояние ключа после коммутации: 1 – ключ замкнут, 0 – ключ разомкнут.

Отчет

Вставить в отчет по лабораторной работе содержимое полученного окна проекта с указанием на схемах значений всех параметров для вашего варианта.

17. Управление ключом осуществляется с помощью блока **Ступенька** из библиотеки **Источники**, в окне **Свойств** которого задается время его срабатывания, конечное и начальное состояния.

Определить постоянную времени для моделируемой цепи (τ). Для схемы рис. 6.18 τ = 0,5 мс.

Задать в окне свойств для блока **Ступенька** значения свойств, указанные на рис. 6.19. Время срабатывания для схемы рис. 6.18 задано равным постоянной времени электрической цепи – **0.0005**.

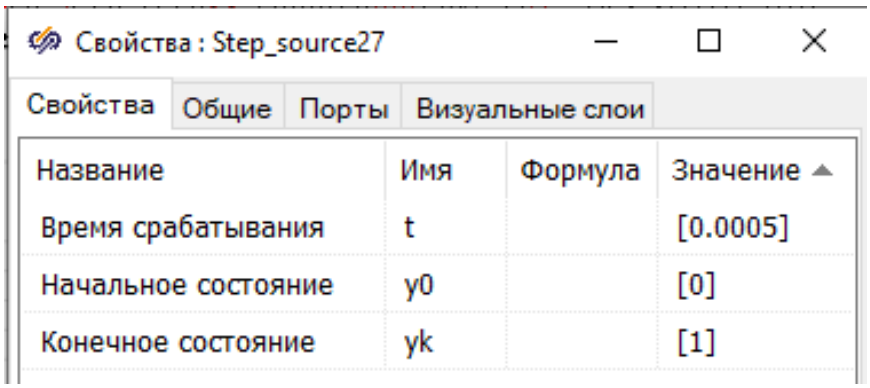


Рис. 6.19

Отчет Вставить в отчет по лабораторной работе содержимое окна свойств блока **Ступенька** для вашего варианта.

18. Задать в окне **Параметры проекта**:

– значения для параметра **Конечное время расчета**: равным 8τ (для схемы рис. 6.18 конечное время должно равняться 4 мс);

– значение параметра **Минимальный шаг** (**Максимальный шаг**) таким образом, чтобы количество точек для моделирования было не менее 100, не считая начальной точки (для схемы рис. 6.18 – минимальный шаг должен равняться 0,00004 с).

Отчет Вставить в отчет по лабораторной работе содержимое окна **Параметры проекта** для вашего варианта.

18. Запустить на моделирование полученную модель.

На рис. 6.20 приведено содержимое графического окна **Временной график** для схемы рис. 6.18.

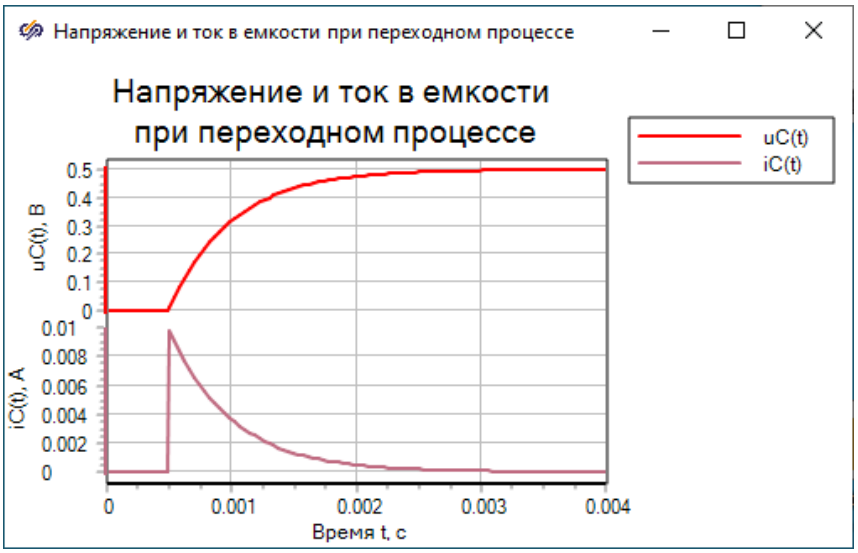


Рис. 6.20

Из графиков следует, что при замыкании ключа в схеме протекает переходный процесс. При этом напряжение на емкости, в соответствии со вторым законом коммутации, плавно изменяется от нуля до своего установившегося значения, равного 0,5 В. А ток через емкость в момент коммутации скачкообразно возрастает, а затем по экспоненте уменьшается до нуля.

Отчет

Вставить в отчет по лабораторной работе содержимое графического окна **Временной график** с текущими результатами моделирования для вашего варианта. Провести анализ полученных графиков и сделать выводы о длительности переходного процесса.

Контрольные вопросы

1. От чего зависит переходный процесс в электрической цепи?
2. Как связана постоянная времени цепи с длительностью переходного процесса?
3. Как правильно выбрать (рассчитать) время моделирования?
4. Какие блоки пакета SimInTech могут быть использованы для моделирования переходного процесса в электрических цепях?
5. В каких блоках могут быть представлены результаты моделирования переходных процессов?
6. Какие параметры можно настроить в окне свойств **Графического окна**?
7. Как определить координаты точек, выбранных на графике?
8. Как смоделировать переходные процессы в заданной разветвленной электрической цепи?
9. Какие параметры можно задать в окне свойств для блоков **Ключ постоянного тока** и **Ступенька**?

Лабораторная работа № 7

ВОЗМОЖНОСТИ СИСТЕМЫ SimInTech ПО МОДЕЛИРОВАНИЮ ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК

Цель работы: знакомство с возможностью системы SimInTech по исследованию частотных характеристик при функциональном и динамическом моделировании электрических цепей.

Рабочее задание

1. Собрать в окне проектов системы SimInTech функциональную модель инерционного звена 1-го порядка (рис. 7.1).

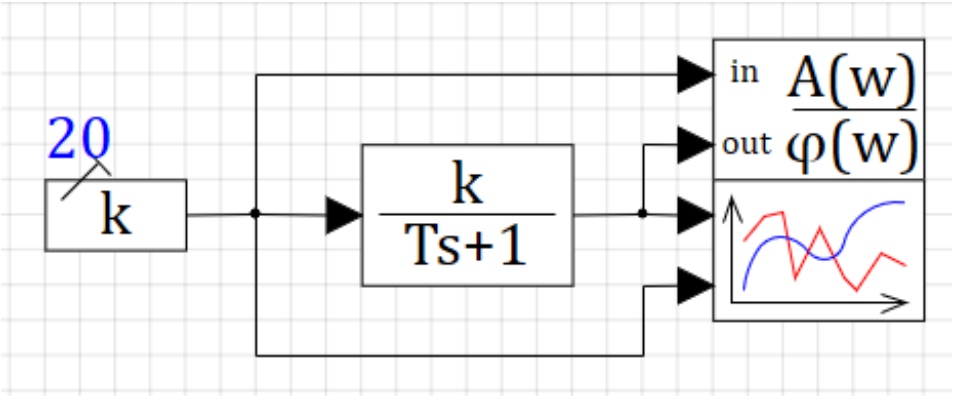
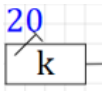
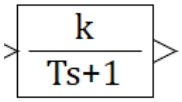


Рис. 7.1

Из библиотеки **Источники** вставить блок **Константа** 

и с помощью окна **Свойств** установить для его свойства **Значение** значение, равное номеру варианта плюс 20 (на рис. 7.1 установлено значение равное 20).

2. Из библиотеки **Динамические** вставить блок **Инерционное звено 1-го порядка** 

, который реализует математическую модель звена, динамика которого описывается линейным обыкновенным дифференциальным уравнением вида

$$T\frac{dy(t)}{dt}+y(t)=kx(t),$$

где $x(t)$ – входной сигнал блока; T – постоянная времени звена; k – коэффициент усиления; $y(t)$ – выходной сигнал из блока.

При нулевых начальных условиях динамика блока может быть представлена следующей передаточной функцией:

$$W(s)=\frac{k}{Ts+1}.$$

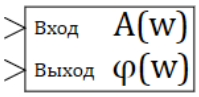
Размерности сигналов входа и выхода должны совпадать. Обязательное условие: $T \neq 0$.

Выполнить двойной щелчок ЛКМ по блоку **Инерционное звено 1-го порядка** и задать для него следующие значения свойств:

– **Коэффициенты усиления** – ***k***, на который умножается входная величина, равным **1**;

– **Постоянные времени** – ***T***, равным в секундах **0.01**;

– **Начальные условия** – ***x*0**, равным **0**.

3. Вставить блок **Построение частотных характеристик** 

из библиотеки **Анализ и оптимизация**. Данный блок позволяет строить на графике выбранные характеристики от частоты линейного динамического объекта напрямую по общеизвестным формулам или для предварительно автоматически линеаризованного нелинейного объекта.

У блока имеются два входа:

– **Вход**, который используется для подключения входного сигнала исследуемого объекта;

– **Выход**, который используется для подключения выходного сигнала исследуемого объекта.

Задать с помощью окна **Свойств** следующие свойства данного блока:

– **Типы характеристик** в окне **Выбор объектов из списка** в соответствии с рис. 7.2;

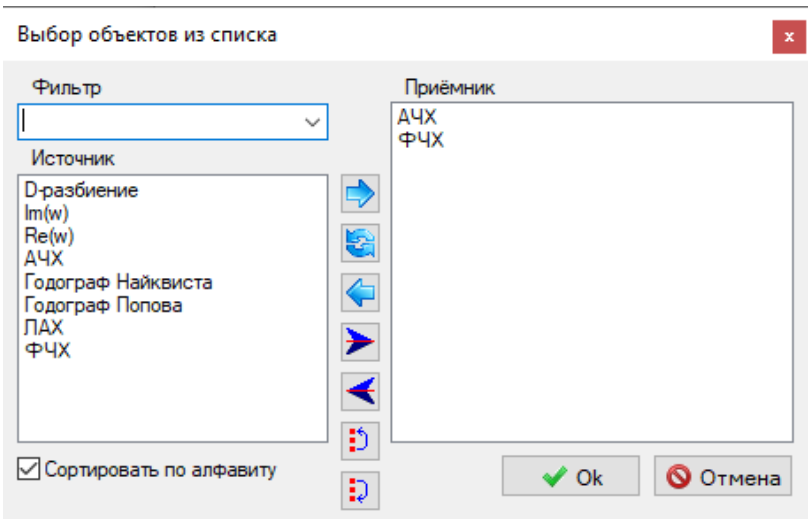


Рис. 7.2

– **Начальная круговая частота** – 0,5 Гц;

– **Конечная круговая частота** – 20/T = 20/0,01 с = 2000 Гц;

– **Количество точек вывода** – 100.

4. Добавить в модель блок **Временной график** из библиотеки **Вывод данных**.

Соединить блоки между собой в соответствии с рис. 7.1.

5. Задать в окне **Параметры проекта** следующие значения параметров расчета:

– **Конечное время** в пять раз больше постоянной времени (для схемы рисунок 1 – **0.05**);

– **Минимальный шаг** и **Максимальный шаг** интегрирования задать равным **0.0005**.

7. Запустить схему на моделирование. Результаты моделирования для схемы рис. 7.1 приведены на рис. 7.3–7.5.

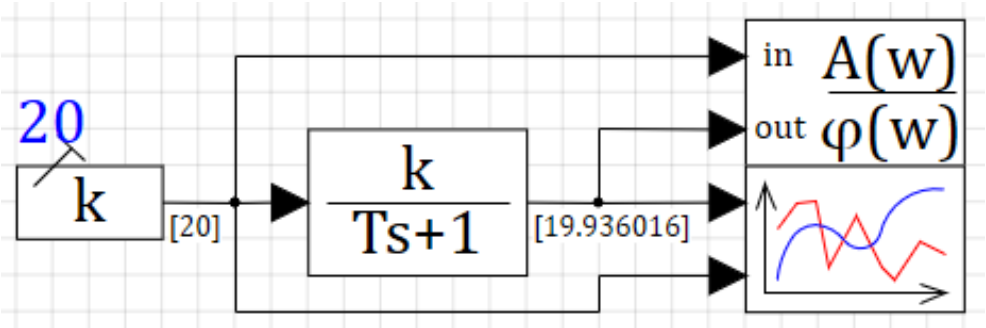


Рис. 7.3

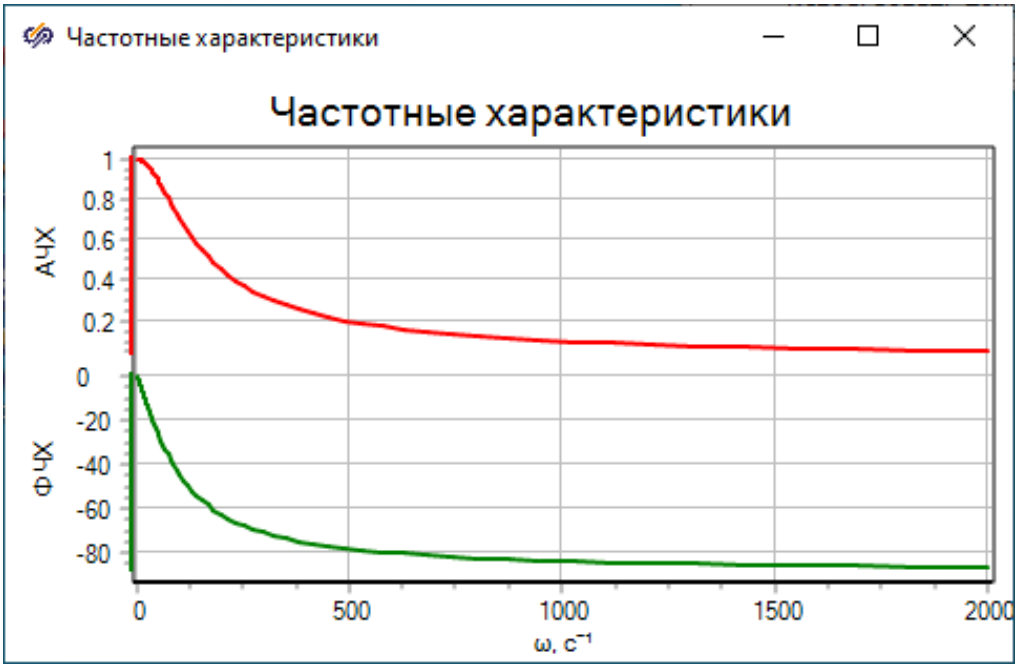


Рис. 7.4

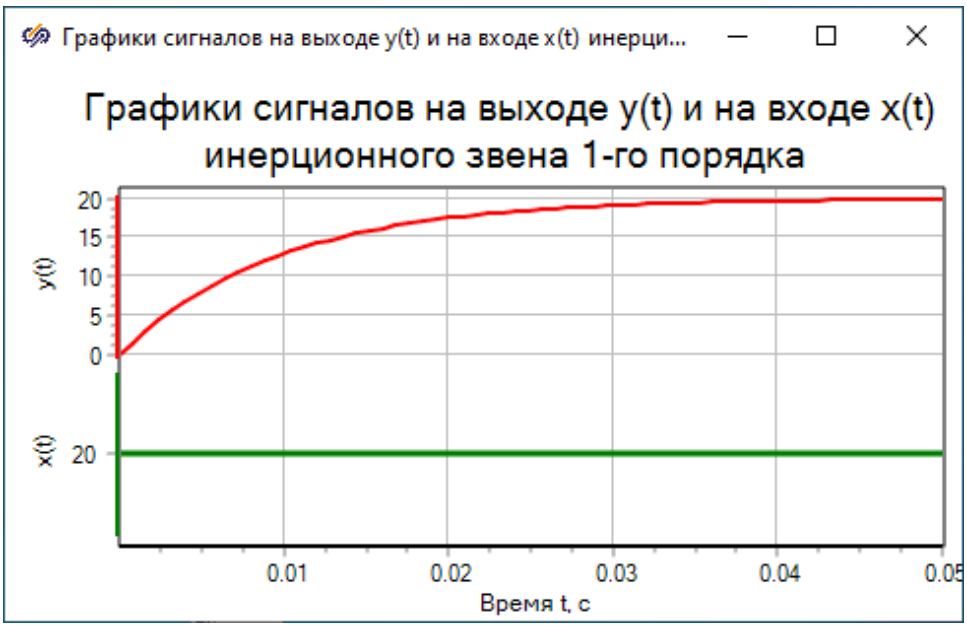


Рис. 7.5

8. Задать с помощью окна **Свойств** следующие свойства для блока **Инерционное звено 1-го порядка**:

– **Коэффициенты усиления *k***, равным номеру варианта $N + 1$;

– **Постоянные времени *T***, равным 0.01 ($N + 1$);

– **Начальные условия *x*0** задать равным 0.

Отчет

Вставить в отчет по лабораторной работе схему с результатами моделирования (рис. 7.3), а также графики и частотные характеристики (рис. 7.4–7.5) для вашего варианта.

9. Собрать в окне проектов системы SimInTech простейший последовательный колебательный контур (рис. 7.6), в котором при совпадении частоты входного сигнала с собственной резонансной частотой контура будет иметь место резонанс напряжений.

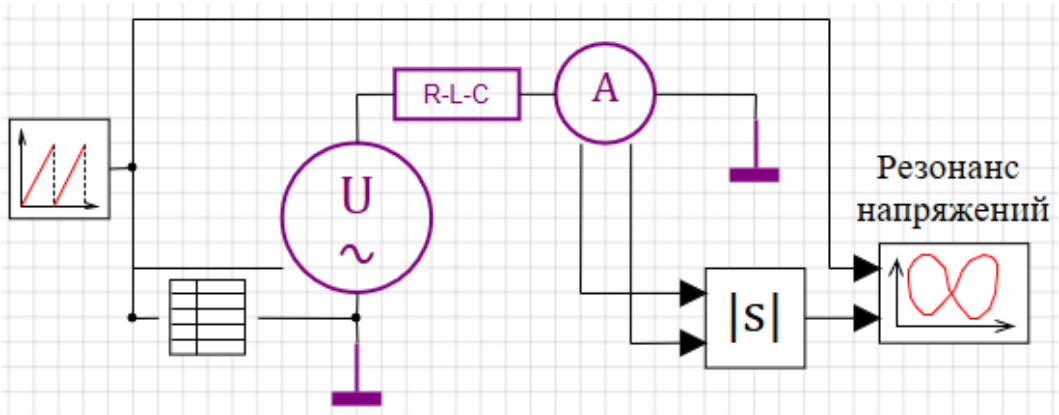


Рис. 7.6

Из библиотеки **ЭЦ – Статика v.2.0** выбрать следующие блоки:

– блок **Параметры контура** из закладки **Элементы топологии**;

– блок **Источник напряжения** из закладки **Источники**;

– блок **RLC-цепь** из закладки **Электротехнические элементы**;

– блок **Амперметр идеальный** из закладки **Измерители**.

Из библиотеки **Источники** выбрать блок **Пила**.

Из библиотеки **Обработка сигналов** выбрать блок **Модуль комплексной пары** |s|.

Из библиотеки **Вывод данных** добавить в модель блок **Фазовый портрет**.

10. Задать с помощью окна **Свойств** для блока **Источник напряжения** значения параметров, приведенные на рис. 7.7:

– **Напряжение (rms), В** равным **1** В;

– **Дополнительно → Задать частоту через порт – Да** (в результате слева блока появится входной порт **f**);

– **Дополнительно → Метод расчета – В комплексных числах**.

Свойства : U0

Свойства | Параметры | Общие | Порты | Визуальные слои

Название	Имя	Значение
Напряжение (rms), В	Urms	1
Частота, Гц	f	50
Угол, эл.гр.	fi	0
Действительная составляющая напр...	Ure	1
Мнимая составляющая напряжения, В	Uim	0
Сопротивление источника		
Вид цепи сопротивления источника	Typ...	нет
Дополнительные		
Задать напряжение через порт	U_in	☐ Нет
Задать частоту через порт	F_in	☑ Да
Цвет	obj...	8388736
Шрифт	obj...	Cambria
Метод расчета	me...	В комплексных числах

Рис. 7.7

Задать с помощью окна **Свойств** для блока **RLC-цепь** значения параметров *R*, *L*, *C*, приведенные на рис. 7.8.

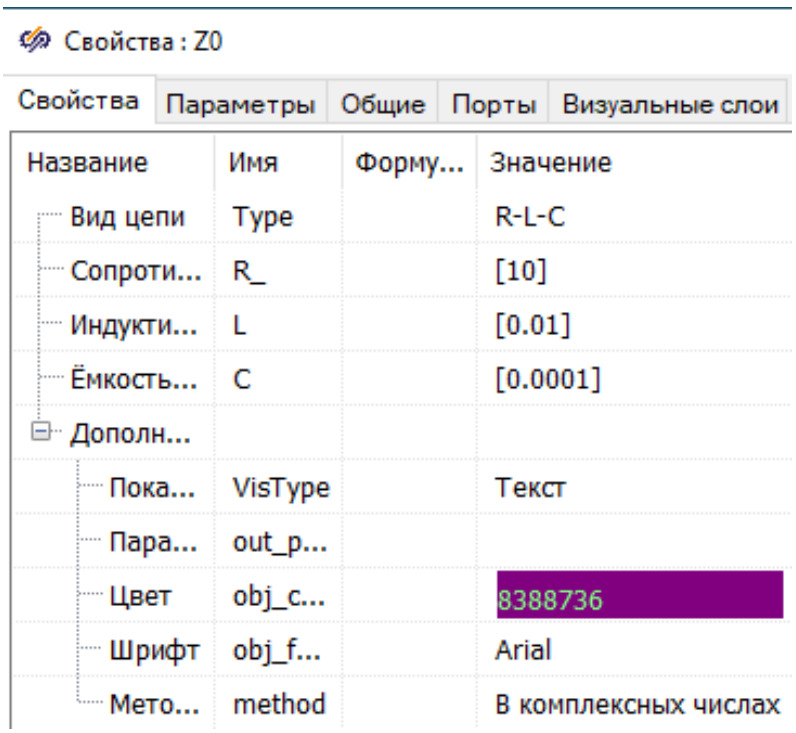


Рис. 7.8

Рассчитать значение собственной резонансной частоты для контура и соответствующее значение тока при резонансной частоте как

$$fp = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{1}{L\,C}} = 159\,\text{Гц}; \quad Ip = \frac{U}{R} = \frac{1}{10} = 0{,}1\,\text{А}.$$

Задать с помощью окна **Свойств** для блока **Пила** значения параметров **Период** и **Смещение**, приведенные на рис. 7.9, а значение параметра **Размах** – в пять раз больше значения резонансной частоты.

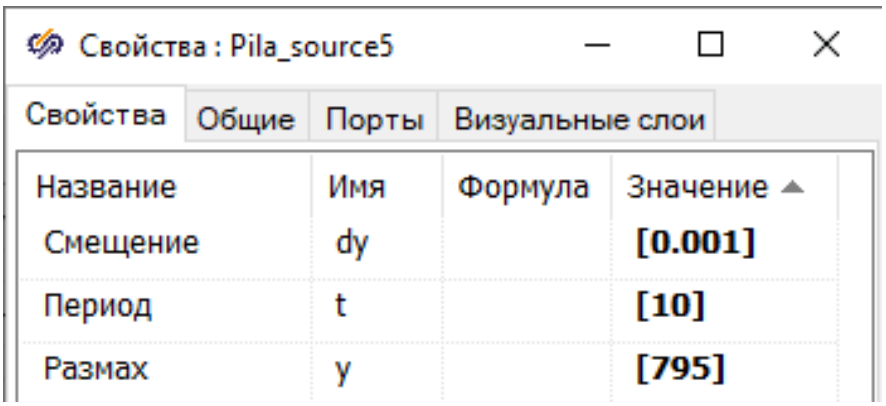


Рис. 7.9

Задать с помощью окна **Свойств** для блока **Параметры контура** значения параметров, приведенные на рис. 7.10.

Свойства : CPROPS0

Свойства | Общие | Порты | Визуальные слои

Название	Имя	...	Значение
Метод расчета	met...		В комплексных числах
Метод интегрирования	int_...		Неявный трапеций;
Номинальная частота контура, Гц	f_n...		[50]
Максимальное к-во итераций контура	iter...		5
Выполнять также на предварительн...	exe...		☑ Да
Параметры задаваемые из портов	in_...		Частота;
Включить отладочную печать	ena...		☐ Нет

Рис. 7.10

Обратите внимание, что при выборе в качестве параметра, задаваемого из портов, значения **Частота** слева блока **Параметры контура** появится входной порт **F**.

Соединить блоки между собой в соответствии с рис. 7.6.

11. Задать в окне **Параметры проекта** следующие значения параметров расчета:

– **Конечное время расчета** равным **10**;

– **Минимальный шаг** и **Максимальный шаг** интегрирования задать равным **0.01**.

12. Запустить схему на моделирование.

На рис. 7.11 приведены результаты моделирования в блоке **Фазовый портрет**.

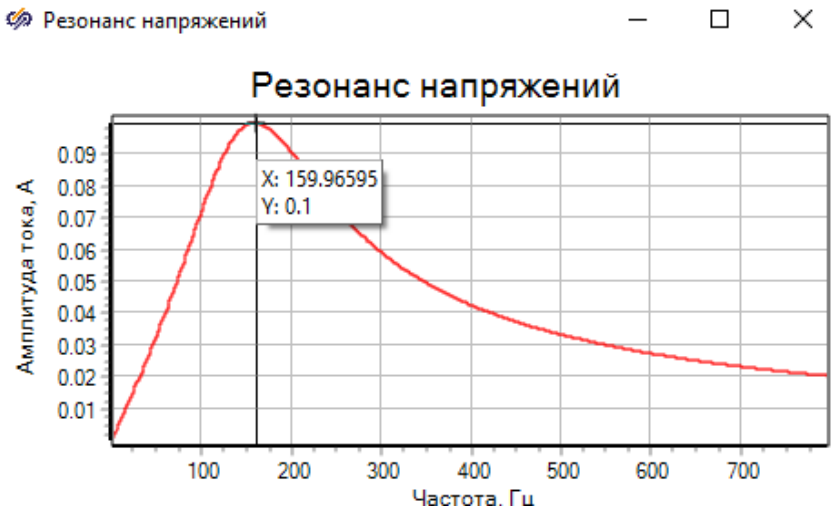


Рис. 7.11

С помощью курсора, выбранного из контекстного меню графического окна, можно определить примерное значение резонансной частоты, равное 159 Гц, и соответствующее значение тока 0,1 А.

Полученные значения совпадают с расчетными значениями для электрической цепи на рис. 7.6.

13. Задать с помощью окна **Свойств** для блока **RLC-цепь** значения параметров R, L, приведенные на рис. 7.8, а значение емкости конденсатора в фарадах, равным 0,0001, разделить на (N + 1), где N – номер варианта.

Рассчитать соответствующее значение резонансной частоты и задать с помощью окна **Свойств** для блока **Пила** значение параметра **Размах** в пять раз больше значения резонансной частоты.

Отчет

Вставить в отчет по лабораторной работе моделируемую схему с результатами моделирования для вашего варианта, а также графики с результатом моделирования в блоке **Фазовый портрет** для пп. 9–12. Провести анализ полученных графиков и сделать выводы.

Контрольные вопросы

1. В какой библиотеке находится, каково назначение и основные свойства блока **Константа**?
2. В какой библиотеке находится, каково назначение и основные свойства блока **Инерционное звено 1-го порядка**?
3. В какой библиотеке находится, каково назначение и основные свойства блока **Построение частотных характеристик**?
4. Как выбрать требуемый тип характеристики в блоке **Построение частотных характеристик**?
5. Какие настройки необходимо задать для блока **Метод расчета**?
6. В какой библиотеке находится, каково назначение и основные свойства блока **Пила**?
7. В какой библиотеке находится, каково назначение и основные свойства блока **Модуль комплексной пары**?
8. Как провести измерение резонансной частоты по результатам моделирования АЧХ в блоке **Фазовый портрет**?

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Справочная система SimInTech – Моделирование электрических схем. URL: http://simintech64/webhelp/index.html

2. Основы моделирования в SimInTech : метод. пособие / сост.: А. И. Ляшенко, Д. П. Вент, Н. В. Маслова. Новомосковск, 2018. 42 с.

Приложение

Таблица П.1

Исходные данные для заданий

Номер варианта	Номер рисунка	Исследуемая величина	Номер варианта	Номер рисунка	Исследуемая величина
1	П.1	$u_C(t)$	25	П.9	$u_C(t)$
2	П.2	$i_1(t)$	26	П.10	$i_2(t)$
3	П.3	$i_3(t)$	27	П.11	$i_1(t)$
4	П.4	$u_{R1}(t)$	28	П.12	$u_{R3}(t)$
5	П.5	$i_1(t)$	29	П.13	$i_2(t)$
6	П.6	$i_2(t)$	30	П.14	$i_1(t)$
7	П.7	$u_C(t)$	31	П.15	$u_C(t)$
8	П.8	$i_1(t)$	32	П.16	$i_2(t)$
9	П.9	$i_2(t)$	33	П.1	$u_{R2}(t)$
10	П.10	$u_{R1}(t)$	34	П.2	$i_2(t)$
11	П.11	$i_3(t)$	35	П.3	$i_1(t)$
12	П.12	$i_1(t)$	36	П.4	$u_{R3}(t)$
13	П.13	$u_C(t)$	37	П.5	$u_C(t)$
14	П.14	$u_L(t)$	38	П.6	$i_3(t)$
15	П.15	$i_1(t)$	39	П.7	$i_1(t)$
16	П.16	$u_{R3}(t)$	40	П.8	$u_L(t)$
17	П.1	$i_1(t)$	41	П.9	$i_2(t)$
18	П.2	$u_L(t)$	42	П.10	$u_{R2}(t)$
19	П.3	$u_C(t)$	43	П.11	$u_C(t)$
20	П.4	$i_2(t)$	44	П.12	$i_2(t)$
21	П.5	$i_3(t)$	45	П.13	$i_1(t)$
22	П.6	$u_{R1}(t)$	46	П.14	$i_3(t)$
23	П.7	$i_2(t)$	47	П.15	$i_2(t)$
24	П.8	$i_3(t)$	48	П.16	$u_{R2}(t)$

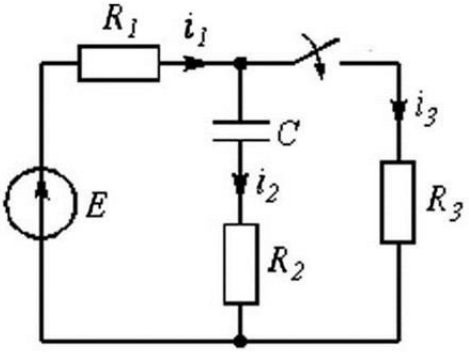


Рис. П.1

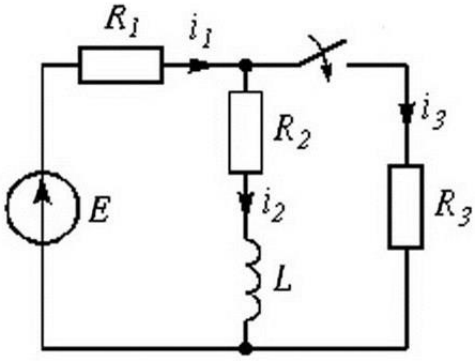


Рис. П.2

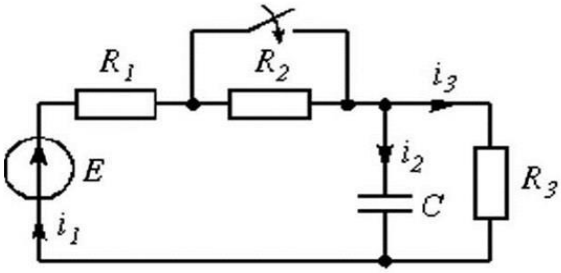


Рис. П.3

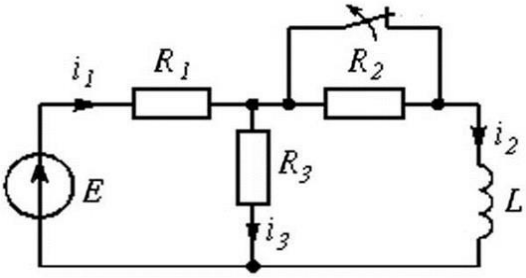


Рис. П.4

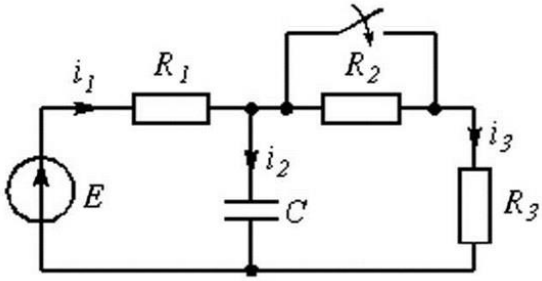


Рис. П.5

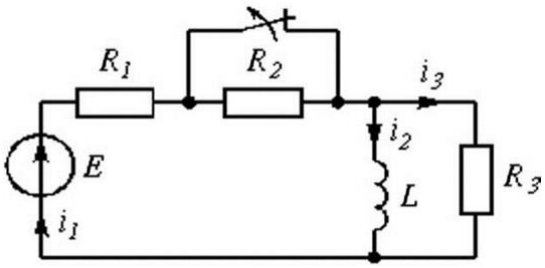


Рис. П.6

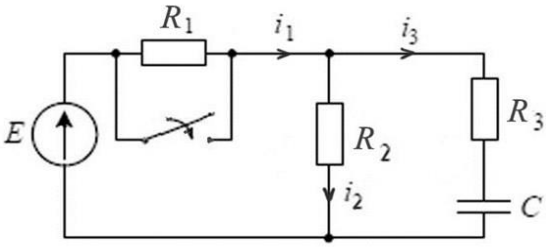


Рис. П.7

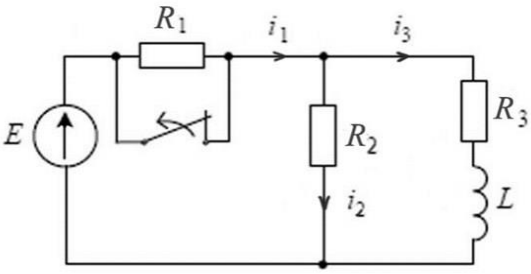


Рис. П.8

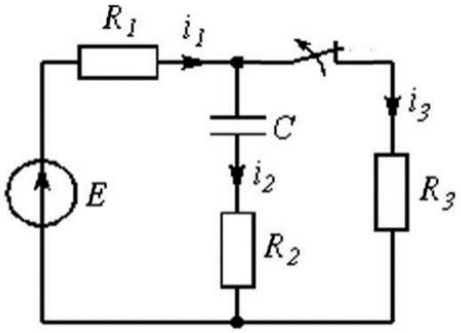


Рис. П.9

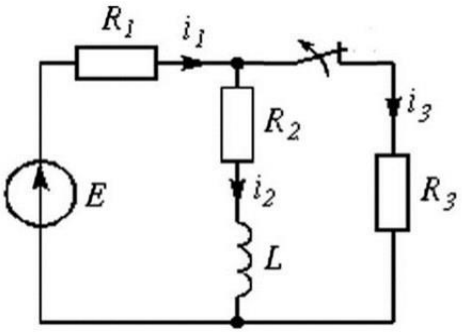


Рис. П.10

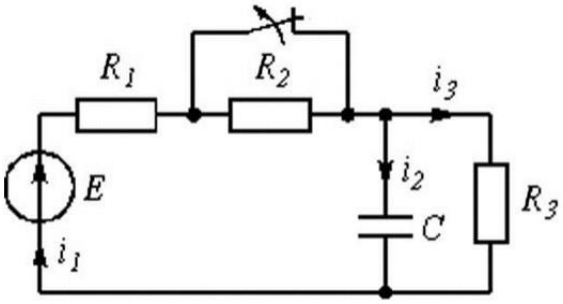


Рис. П.11

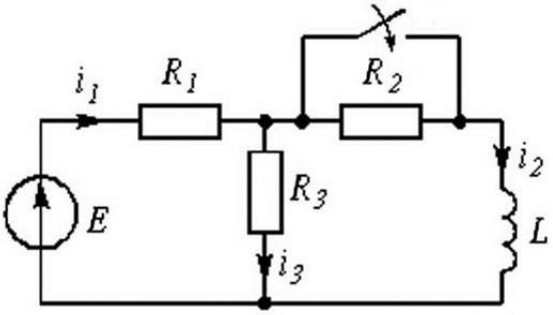


Рис. П.12

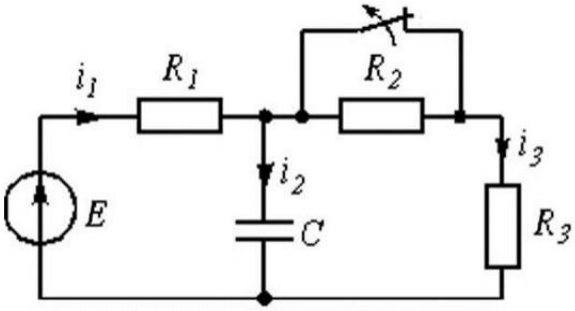


Рис. П.13

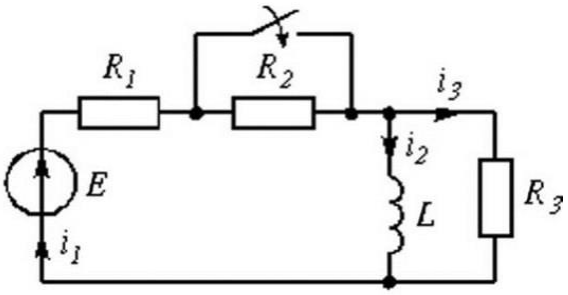


Рис. П.14

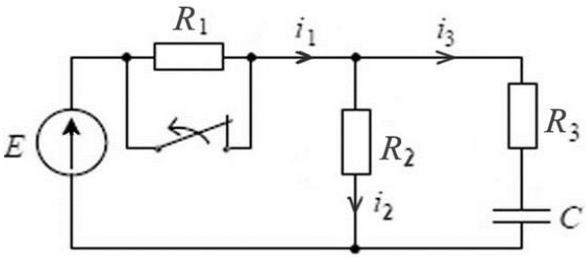


Рис. П.15

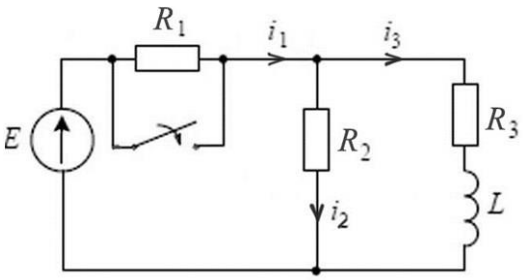


Рис. П.16

Учебное издание

Регеда Владимир Викторович,
Регеда Ольга Николаевна

Моделирование электрических цепей в среде SimInTech

Редактор *В. В. Чувашова*
Технический редактор *Н. В. Иванова*
Компьютерная верстка *Н. В. Ивановой*

Подписано в печать
Формат 60×84 $^{1}/_{16}$. Усл. печ. л. 5,58.
Тираж . Заказ № .

Издательство ПГУ
440026, Пенза, Красная, 40.
Тел.: (8412) 66-60-49, 66-67-77; e-mail: iic@pnzgu.ru