

Моделирование простых радиоэлектронных систем (схем) в среде MATLAB

Цель работы: изучение интерфейса и основных возможностей программного модуля **Simulink**; знакомство с разделами библиотеки **SimPowerSystems**, предназначенными для моделирования электро-энергетических объектов.

Рабочее задание

MATLAB позволяет проводить в диалоговом режиме визуальные исследования во времени (визуальное программирование) динамических характеристик нелинейных систем с помощью программного модуля **Simulink**. При этом модель исследуемой системы представляется в виде *S*-модели и сохраняется в файле с расширением *.slx* (для более ранних версий – с расширением *.mdl*).

Модели создаются по технологии **Drag-and-Drop** (перетяни и оставь) из отдельных блоков (модулей). Сами модули хранятся в библиотеках программного модуля **Simulink**, которые имеют иерархическую структуру и могут расширяться пользователем за счет разработки собственных блоков. Для наблюдения моделируемых процессов используются специальные блоки («обзорные окна»), входящие в состав библиотек **Simulink**.

1 Запустите программу MATLAB с помощью команды **Home⇒New⇒Simulink Model** (для версии с меню – это команда **File⇒New⇒Model**), в результате откроется новое пустое окно **untitled** (рисунок 5.1), в котором будет осуществляться сборка *S*-модели.

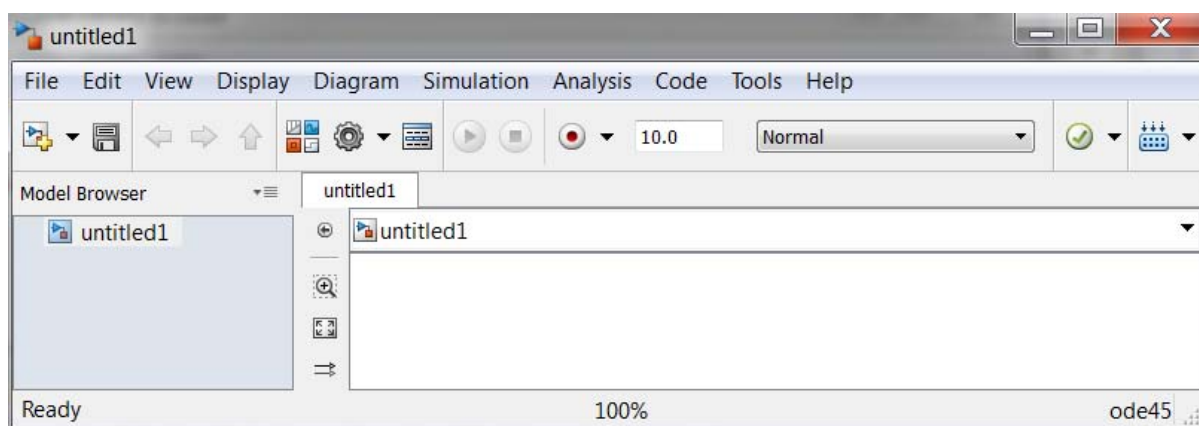




Рисунок 5.1

Выберите в открывшемся окне команду **File**⇒**Save As...** и сохраните файл под именем `model1` на диске в своей папке.

2 С помощью кнопки  (для версии с меню – это кнопка ) откройте окно библиотеки **Simulink Library Browser** (рисунок 5.2), в левой части которого представлен перечень **Simulink**-библиотек, входящих в состав установленной конфигурации программного модуля **Simulink**. В правой части окна на закладке **Library: Simulink** в зависимости от выбранной библиотеки помещаются соответствующие пиктограммы ее разделов. Чтобы раскрыть перечень разделов какой-либо из библиотек следует выполнить двойной щелчок на ее имени.

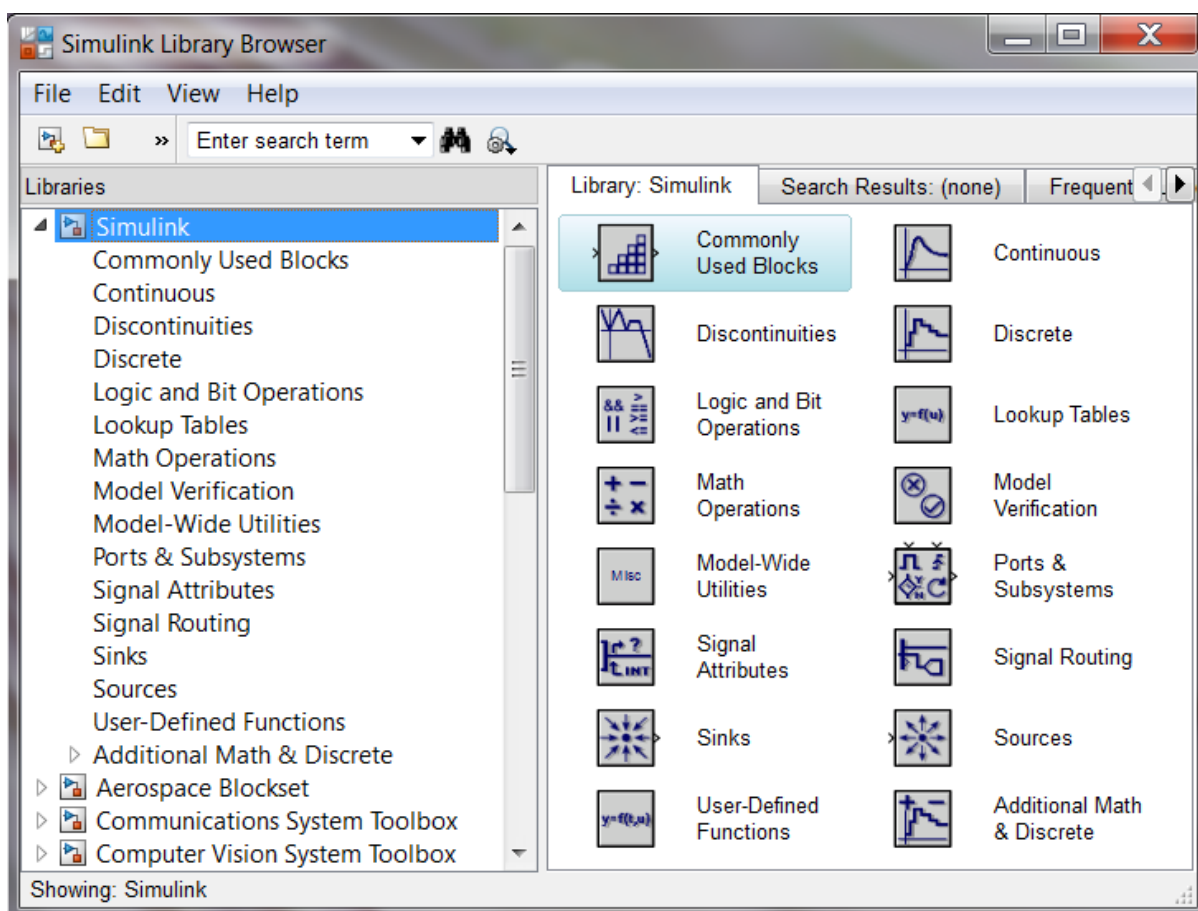


Рисунок 5.2

В зависимости от версии и выбранной конфигурации программного модуля **Simulink** окно библиотеки **Simulink Library Browser** может содержать разное число библиотек. Ядром пакета **Simulink** является одноименная библиотека **Simulink**, которая представляет собой набор визуальных объектов, предназначенных для по-

лучения функциональных блок-схем любого устройства. Остальные библиотеки при необходимости могут включаться пользователем в состав общей библиотеки.

3 Ознакомьтесь с основными блоками раздела **Sinks** (Приемники) библиотеки **Simulink**. На рисунке 5.3 показаны блоки раздела **Sinks**, которые используются как обзорные окна при моделировании. Они позволяют управлять процессом моделирования, обеспечивают сохранение промежуточных и исходных результатов моделирования. Блоки раздела **Sinks** имеют только входы и не имеют выходов.

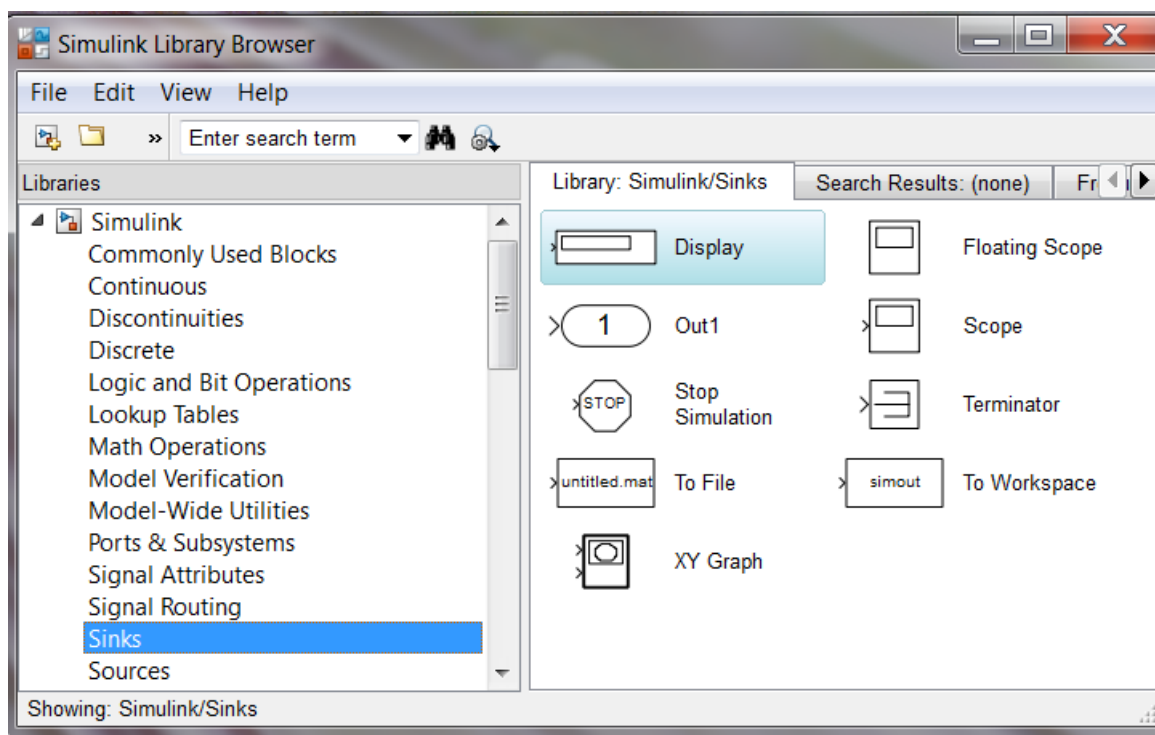


Рисунок 5.3

В качестве обзорных окон при моделировании выступают следующие блоки раздела **Sinks**:

- блок **Scope** с одним входом выводит в графическое окно график зависимости от времени подаваемой на его вход величины;
- блок **XY Graph** с двумя входами обеспечивает построение графика зависимости моделируемой величины, подаваемой на его нижний вход от величины, подаваемой на верхний вход;
- блок **Display** с одним входом предназначен для отображения численных значений входной величины.

Для сохранения результатов моделирования используются следующие блоки раздела **Sinks**:

– **To File** обеспечивает сохранение результатов моделирования на диске в MAT-файле;

– **To Workspace** сохраняет результаты моделирования в рабочем пространстве MATLAB.

Для прерывания процесса моделирования при выполнении тех или иных условий используется блок **Stop Simulation**, срабатывающий при поступлении на его вход ненулевого сигнала.

4 Ознакомьтесь с основными блоками раздела **Sources** (Источники) библиотеки **Simulink**. На рисунке 5.4 показаны блоки раздела **Sources**, предназначенные для формирования входных сигналов, которые обеспечивают работу S-модели в целом или отдельных ее частей при моделировании.

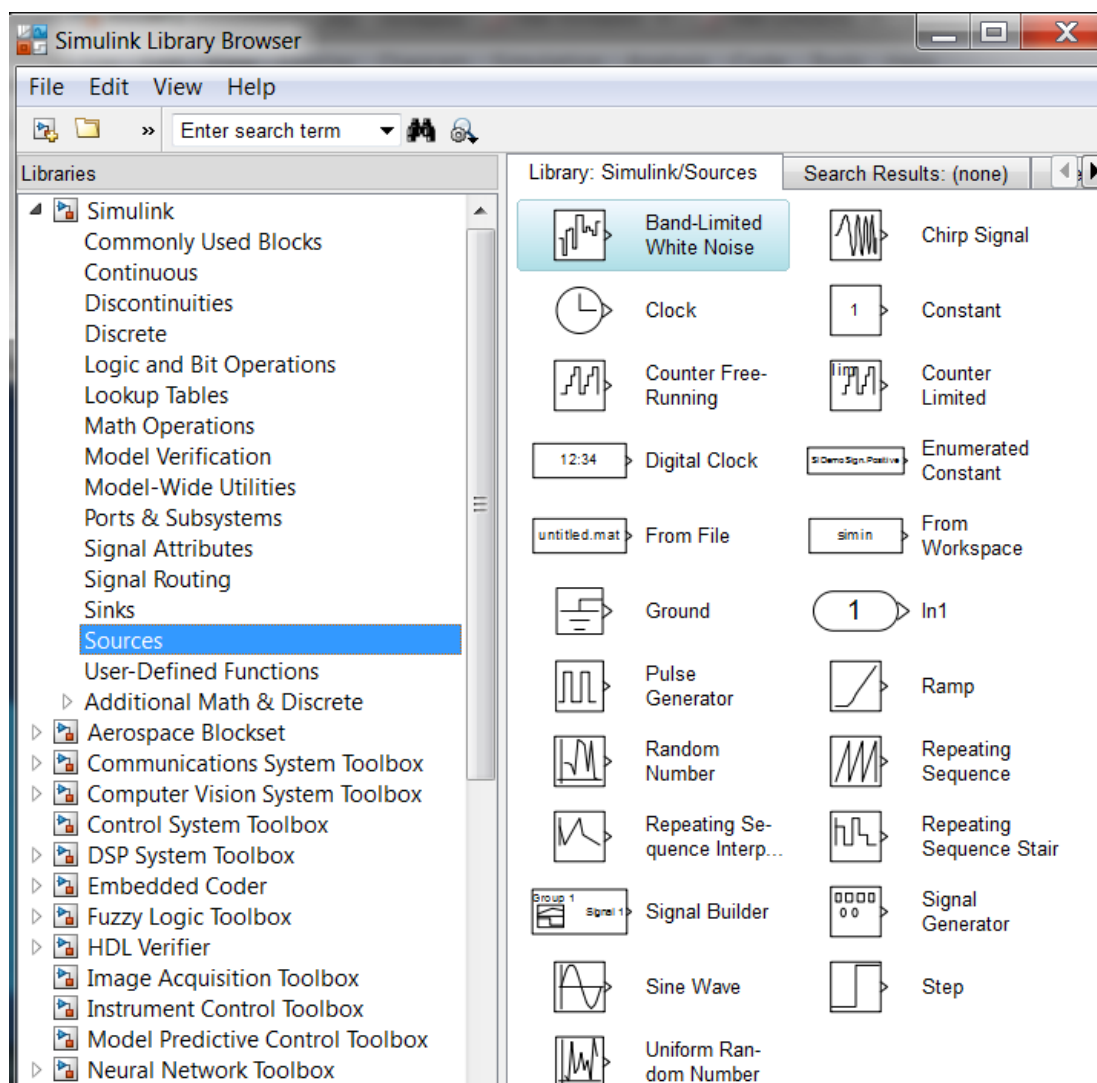


Рисунок 5.4

Они имеют по одному выходу, но не имеют входов.

В данной лабораторной работе будут использоваться следующие блоки-источники:

- **Sine Wave** генерирует гармонический сигнал;
- **Pulse Generator** – генератор непрерывных прямоугольных импульсов;
- **Ramp** создает линейно восходящий (или нисходящий) сигнал (пилообразный);
- **Signal Generator** создает непрерывный колебательный сигнал одной из волновых форм: синусоидальный, прямоугольный, треугольный или случайный;
- **Clock** (Часы) – источник непрерывного сигнала, пропорционального времени моделирования;
- **Random Number** – источник дискретного сигнала, значения которого являются случайной величиной, распределенной по нормальному (гауссовому) закону.

Блоки-источники могут настраиваться пользователем, за исключением блока **Clock**, работа которого основана на использовании аппаратного таймера компьютера.

5 Постройте блок-схему *S*-модели, содержащей блоки **Sine Wave** и **Scope**, перетянув блоки из соответствующих разделов библиотек. Установите указатель мыши в область выходного порта блока **Sine Wave** (при этом указатель принимает вид крестика) и, удерживая нажатой левую кнопку мыши, переместите указатель к входному порту блока **Scope**. После отпускания кнопки мыши появится соединительная линия со стрелкой на конце, указывающей направление передачи сигнала (рисунок 5.5).

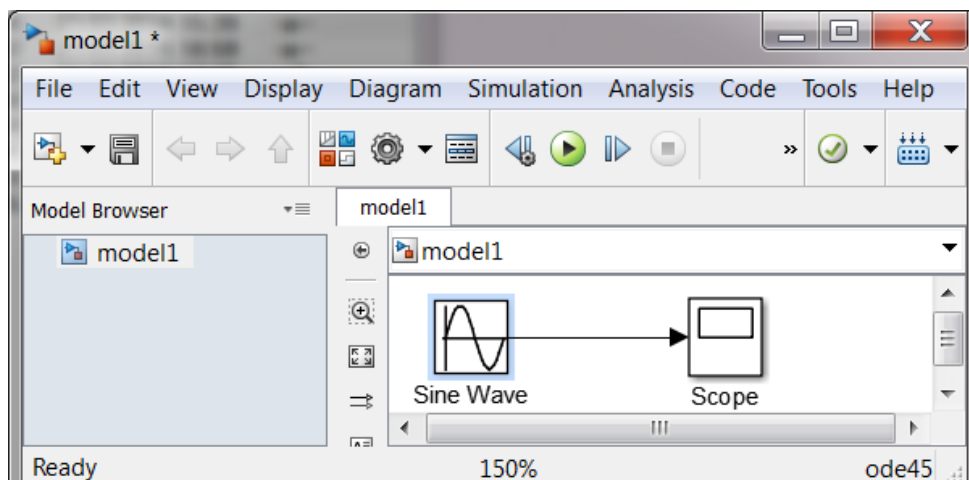


Рисунок 5.5

6 Выполните двойной щелчок по блоку **Sine Wave** и установите в появившемся окне (рисунок 5.6) значение амплитуды гармонического сигнала (**Amplitude**) равным трем, оставив остальные параметры без изменения. Закройте окно, нажав клавишу ОК.

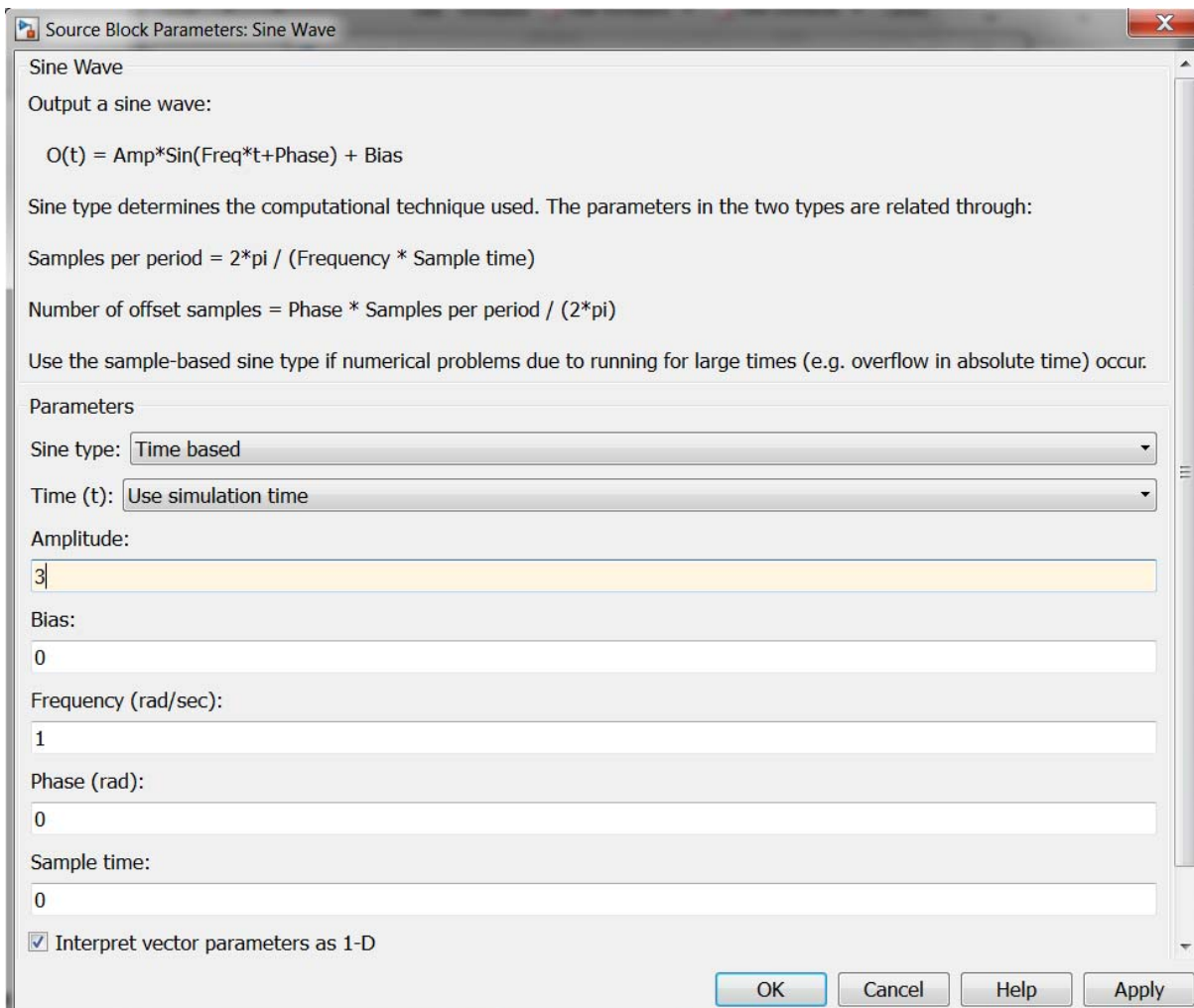


Рисунок 5.6

7 Установите параметры моделирования с помощью команды **Simulation**⇒**Model Cofiguration Parameters**⇒**Solve**. Задайте в области **Simulation time** значения начального (**Start time:**) и конечного (**Stop time:**) времени в соответствии с рисунком 5.7. В области **Solver options** (см. рисунок 5.7) выберите равномерный шаг дискретизации **Fixed step** и тип графика моделируемого процесса **ode1 (Euler)**. Задайте в области **Fixed step size** значение шага дискретизации равным «**0.01**».

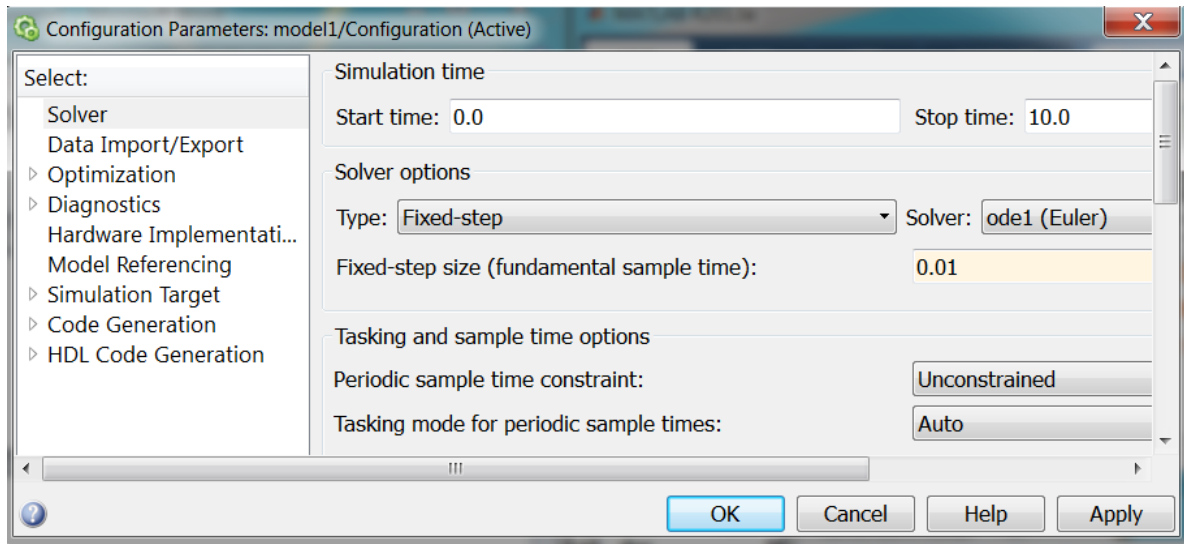


Рисунок 5.7

8 Начните моделирование с помощью команды **Simulation**⇒**Run**. Для получения изображения графика изменения во времени сигнала (рисунок 5.8) выполните двойной щелчок по блоку **Scope**.

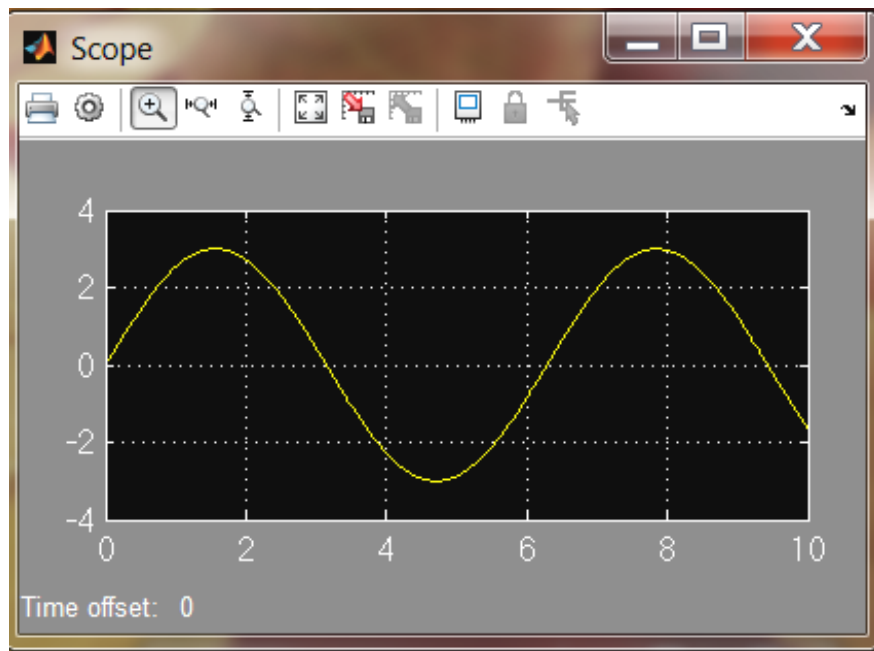


Рисунок 5.8

Параметры окна **Scope** можно настраивать с помощью кнопок, находящихся на панели инструментов в верхней части обзорного окна. Например, щелчок по второй кнопке приводит к появлению на экране диалогового окна '**Scope**' parameters (рисунок 5.9).

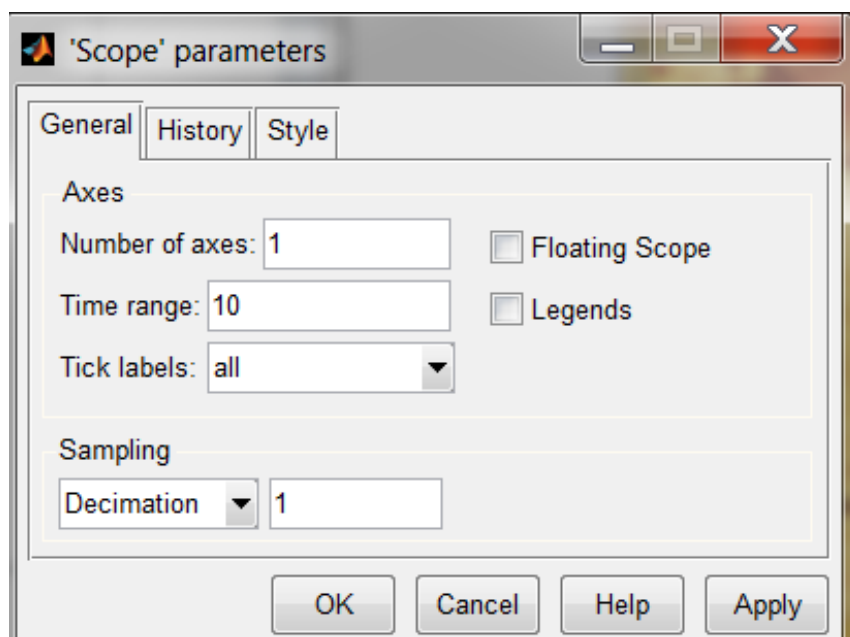


Рисунок 5.9

Установите в окне **'Scope' parameters** на вкладке **General**:

- количество графических полей (**Number of axes – 1**);
- интервал времени моделирования в секундах (**Time range – 10**);
- подписи для всех осей (**Tick Labels – all**).

Выберите из списка **Sumpling** в окне **'Scope' parameters** значение **Decimation** и задайте в соседнем правом окне значение «1», обозначающее количество интервалов дискретизации, через которые полученные данные моделирования будут использоваться для построения графиков.

Если выбрать из списка **Sumpling** в окне **'Scope' parameters** значение **Sumple time**, то в соседнем правом окне необходимо указать промежуток времени, кратный интервалу дискретизации, через который полученные данные моделирования будут использоваться для построения графиков.

Команды на вкладке **Data history** в окне **'Scope' parameters** позволяют задать максимальное количество элементов массива данных, используемых для построения графиков (рисунок 5.10).

Команды на вкладке **Style** в окне **'Scope' parameters** позволяют задать цвет для фигуры, фона и осей, тип, толщину и цвет линии, тип маркера в точках дискретизации, используемых для построения графиков в окне **Scope** (рисунок 5.11).

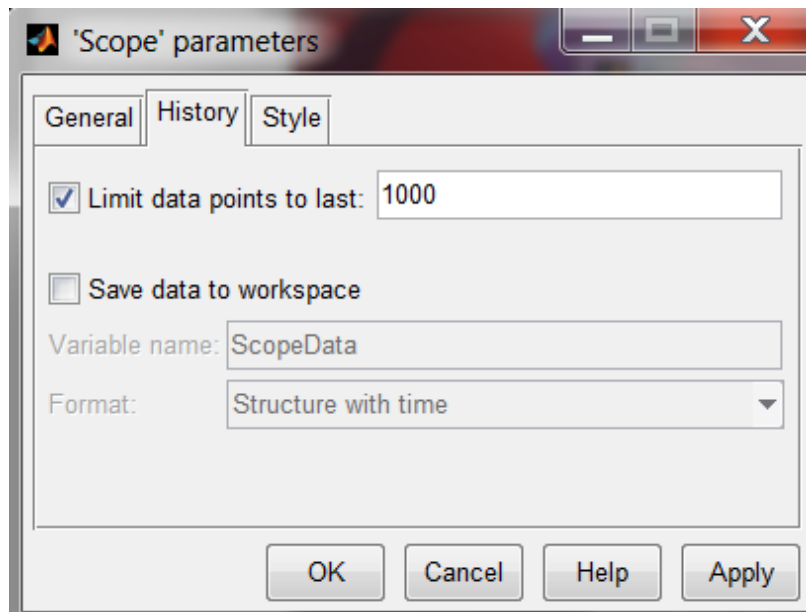


Рисунок 5.10

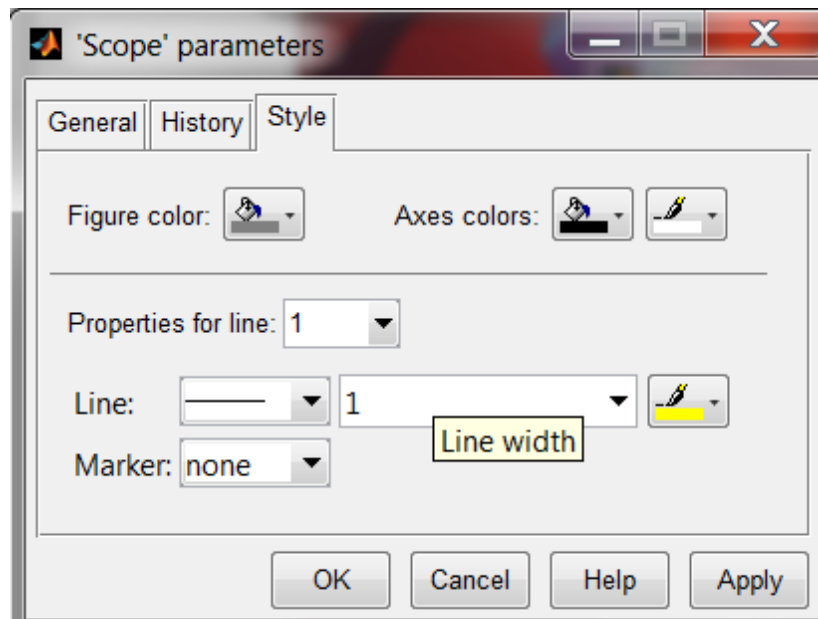



Рисунок 5.11

Средняя кнопка  на панели инструментов окна **Scope** позволяет автоматически устанавливать оптимальный масштаб осей.

9 Постройте блок-схему S -модели динамической системы, содержащей блок **Random Number** и блок **Scope** (рисунок 5.12) и посмотрите содержимое обзорного окна **Scope** (рисунок 5.13).

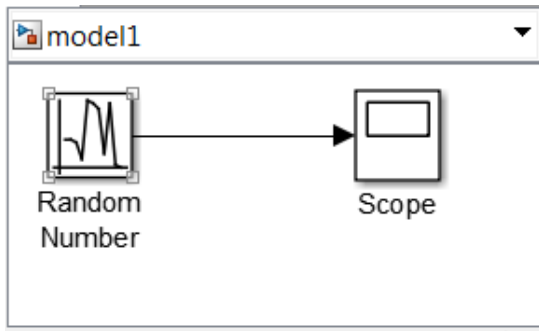


Рисунок 5.12

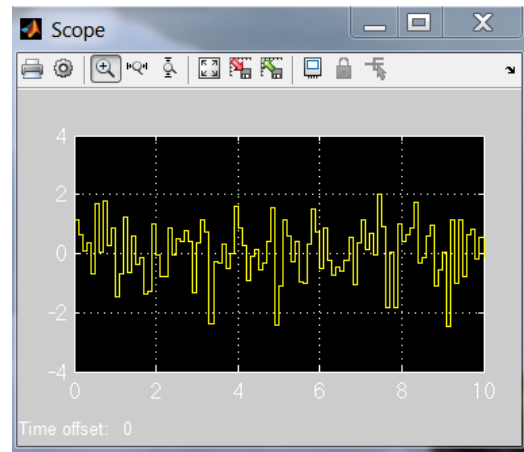


Рисунок 5.13

10 Постройте блок-схему *S*-модели динамической системы, содержащей блоки **Signal Generator**, **Clock** и **XY Graph** (рисунок 5.14).

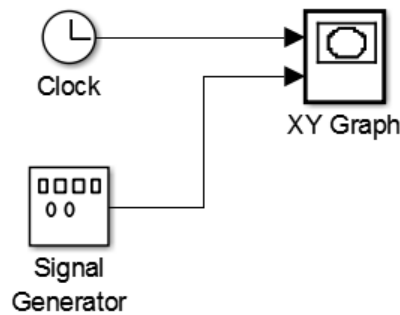


Рисунок 5.14

11 Откройте окно настройки параметров блока **Signal Generator**, выполнив по нему двойной щелчок (рисунок 5.15).

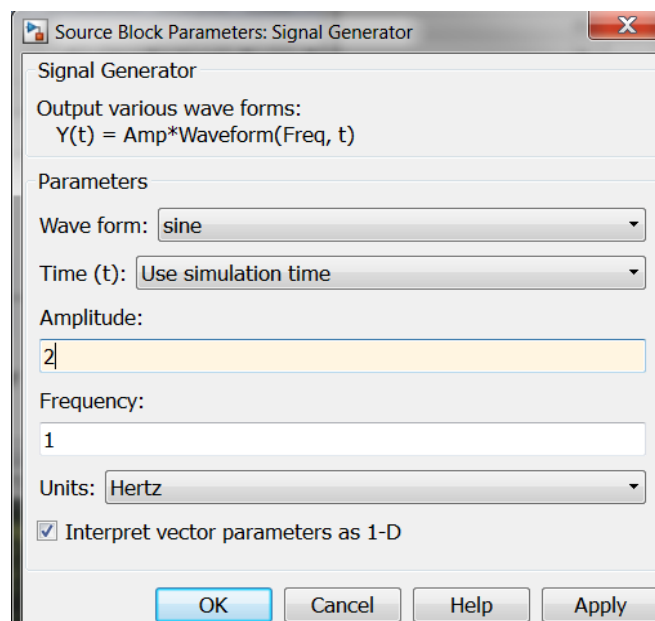


Рисунок 5.15

В области **Wave form**: задайте синусоидальный волновой сигнал (sine) с амплитудой (**Amplitude**), равной двум, и частотой (**Frequency**), равной 1 Гц.

12 Откройте окно настройки параметров блока **XY Graph**, выполнив по нему двойной щелчок. Задайте границы изменения обеих входных величин и интервал дискретизации (**Sample time**) в соответствии с рисунком 5.16. Закройте окно, нажав клавишу ОК.

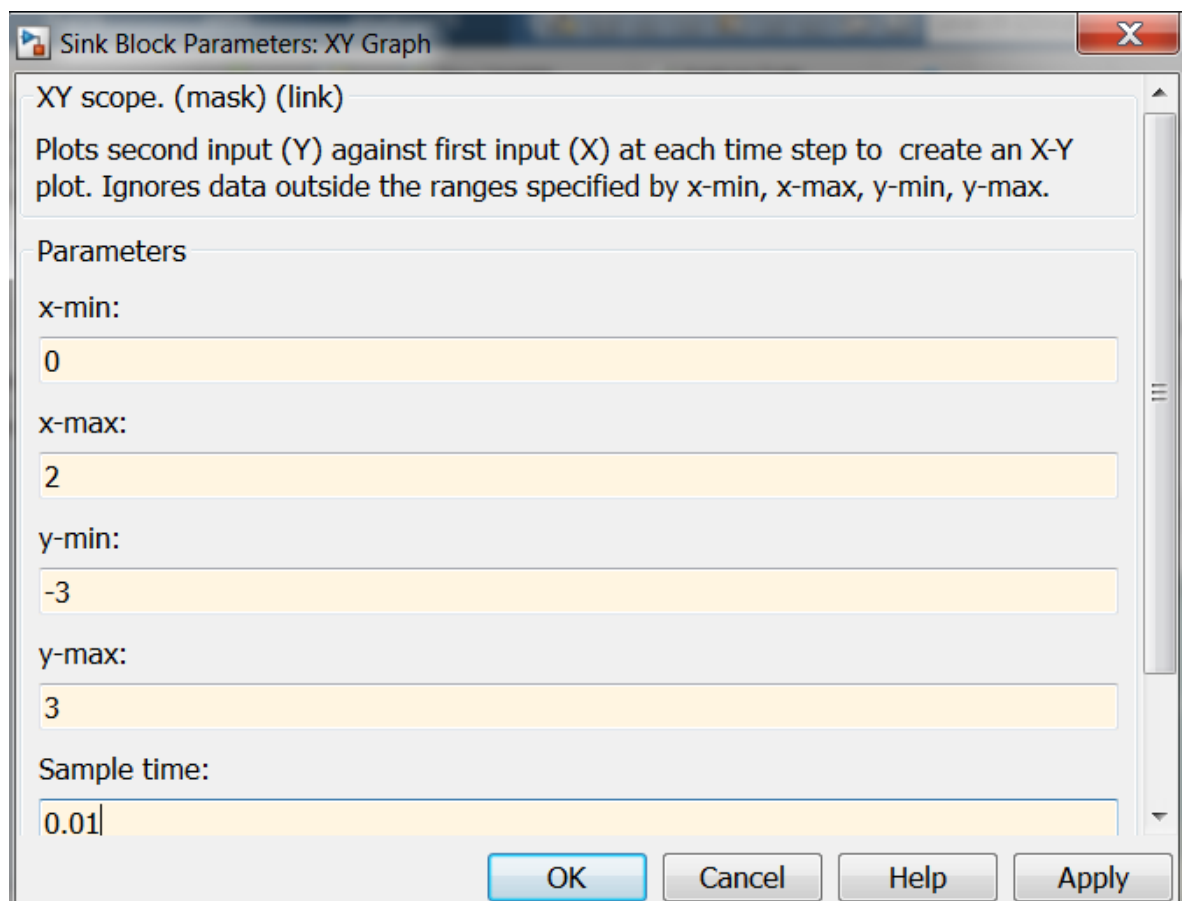


Рисунок 5.16

13 Начните моделирование с помощью команды **Simulation**⇒**Run**. В результате на экране появится новое окно блока **XY Graph** (рисунок 5.17).

Отчет

Включить в отчет по лабораторной работе содержимое рабочих окон с *S*-моделями, полученными при выполнении пп. 5–13, а также соответствующие обзорные окна блоков **Scope** и **XY Graph**.

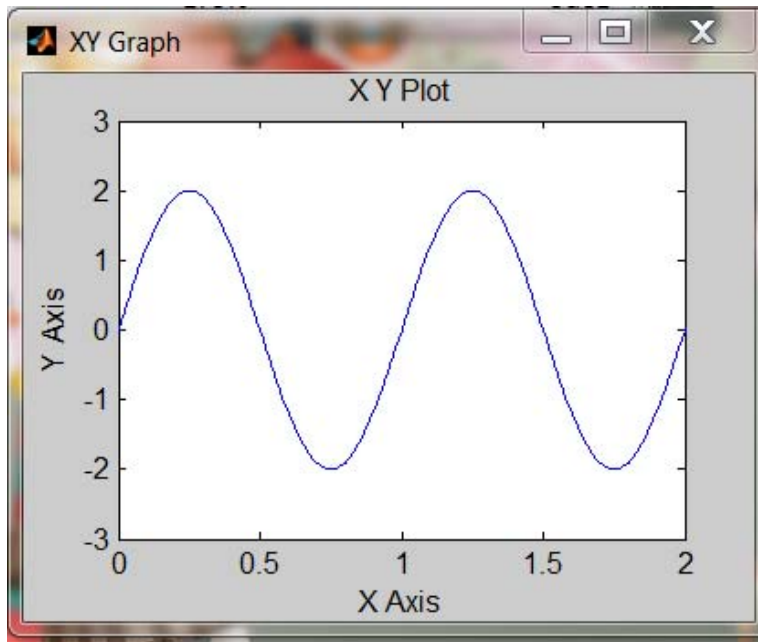


Рисунок 5.17

14 Ознакомьтесь с разделом библиотеки **SimPowerSystems**, которая представляет собой набор визуальных объектов для моделирования типовых устройств силовой электроэнергетики, таких как электрические двигатели, генераторы, трансформаторы, преобразователи, линии электропередач, а также элементы силовой электроники.

Элементы из разделов **Electrical Sources** и **Elements** библиотеки **SimPowerSystems** приведены на рисунках 5.18–5.19.

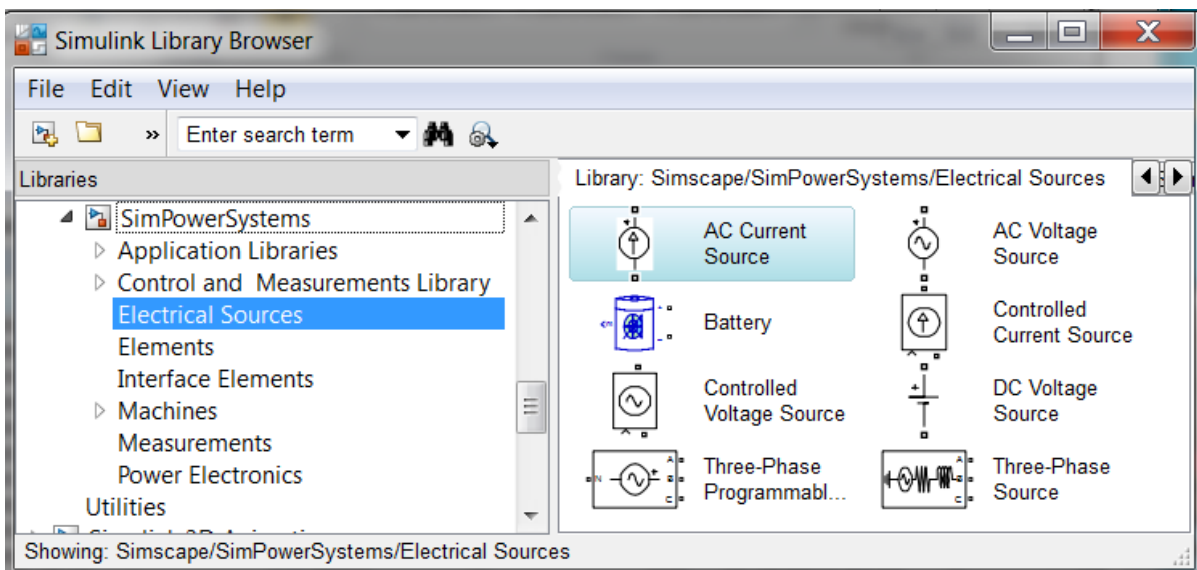


Рисунок 5.18

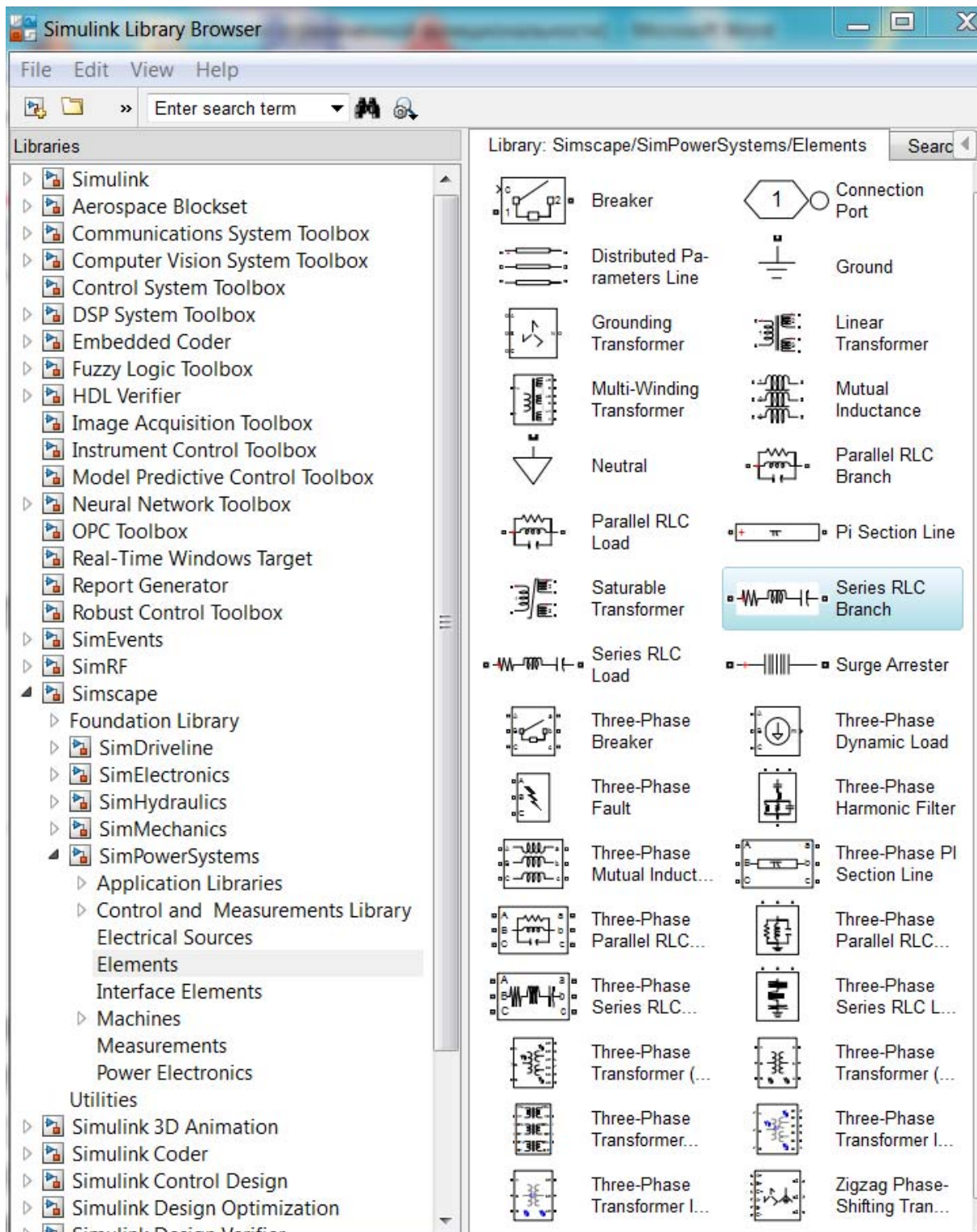


Рисунок 5.19

Обратите внимание, что модели в **SimPowerSystems** (P -модели с p -входами и p -выходами) имитируют процессы в электрических цепях и отличаются от обычных S -моделей (с m -входами и с m -выходами), в которых входные и выходные величины не имеют физиче-

ского содержания, а линии соединения переносят некоторый информационный сигнал. Поэтому P -блоки не могут непосредственно подключаться к S -блокам.

Для связи P -блоков с S -блоками используются лишь отдельные блоки библиотеки **SimPowerSystems**:

– в разделе **Measurements** (рисунок 5.20) размещаются блоки-измерители, имеющие p -входы и m -выходы (амперметры **Current Measurement**, вольтметры **Voltage Measurement** и т.д.). Эти блоки имеют p -входы для подключения измерителя к электрической цепи, а также по одному m -выходу (в блоке амперметра он обозначен «i», а в блоке вольтметра – «v»);

– в разделе **Electrical Sources** размещаются блоки источников электрических сигналов, имеющие m -входы и p -выходы, входы.

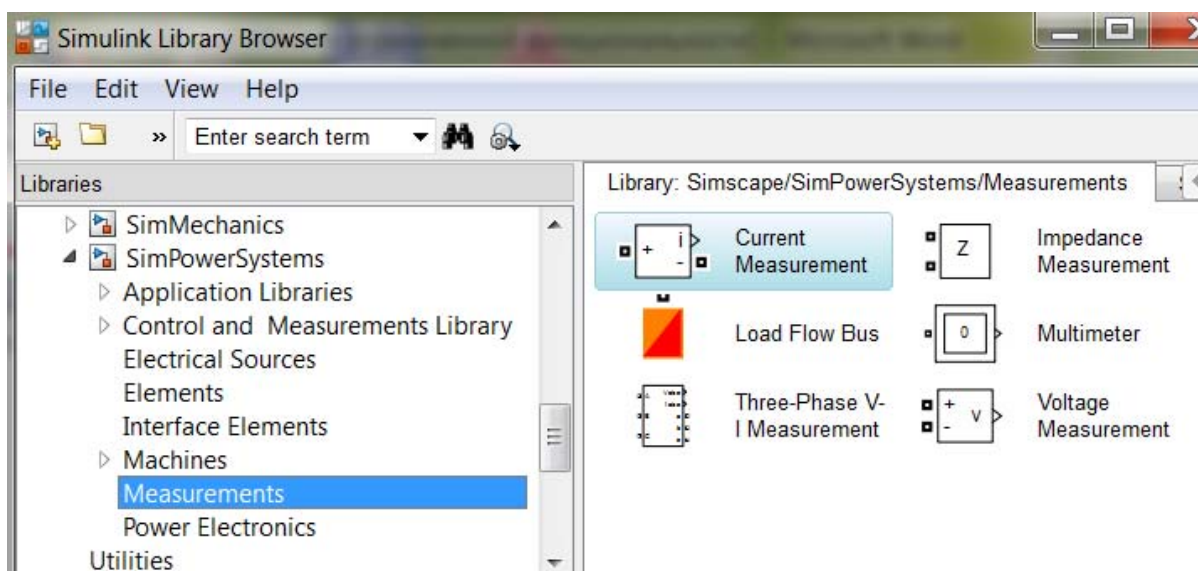


Рисунок 5.20

Другие блоки, предназначенные для преобразования, в данной работе не используются.

15 Создайте модель одноконтурной RLC -цепь (рисунок 5.21) с источником синусоидального напряжения **AC Voltage Source**. В качестве RLC -цепи используйте блок **Series RLC Branch**, представляющий собой последовательное соединение сопротивления, индуктивности и емкости, которым можно задать любые, в том числе нулевые и бесконечно большие значения параметров (системная константа inf).

Отредактируйте обозначения элементов на схеме в соответствии с рисунком 5.21.

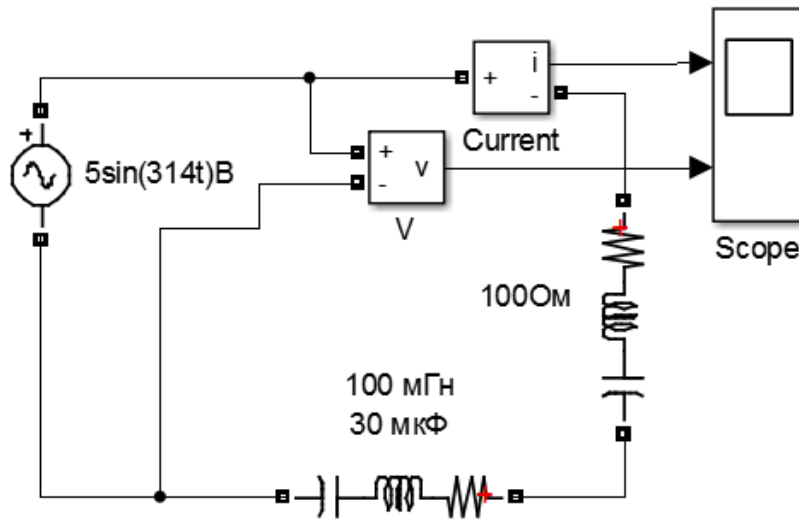


Рисунок 5.21

Для измерения сдвига по фазе между входным напряжением и током, протекающим в цепи, используйте двухканальный блок **Scope**, на входы которого подаются сигналы с m -выходов амперметра и вольтметра: блоки **Current Measurement** и **Voltage Measurement** соответственно. Задайте для блоков **AC Voltage Source** и **Series RLC Branch** значения параметров, указанные в соответствующем окне параметров (рисунок 5.22–5.24).

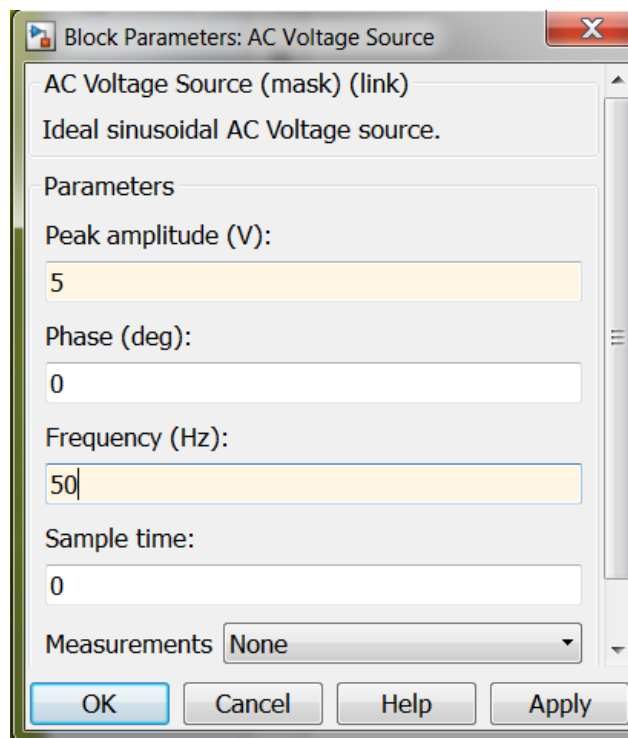


Рисунок 5.22

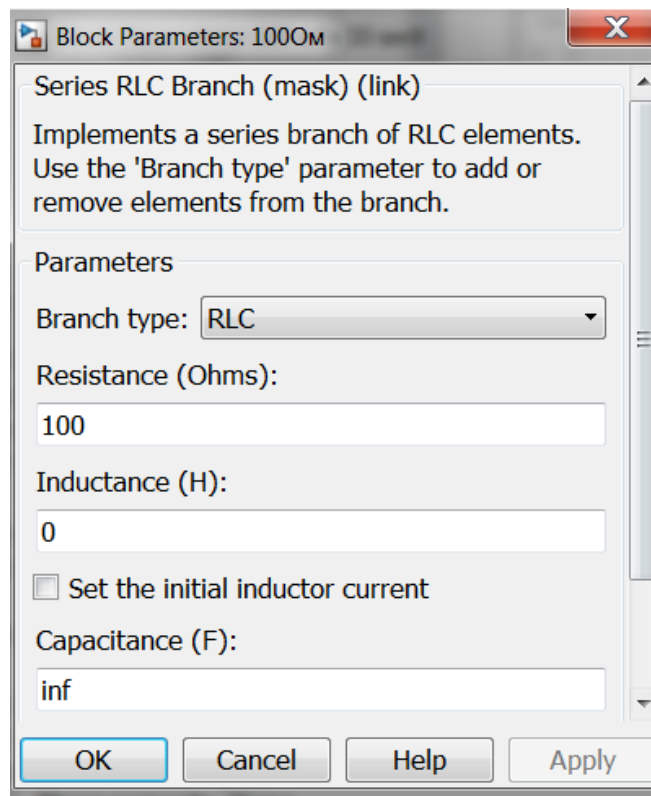


Рисунок 5.23

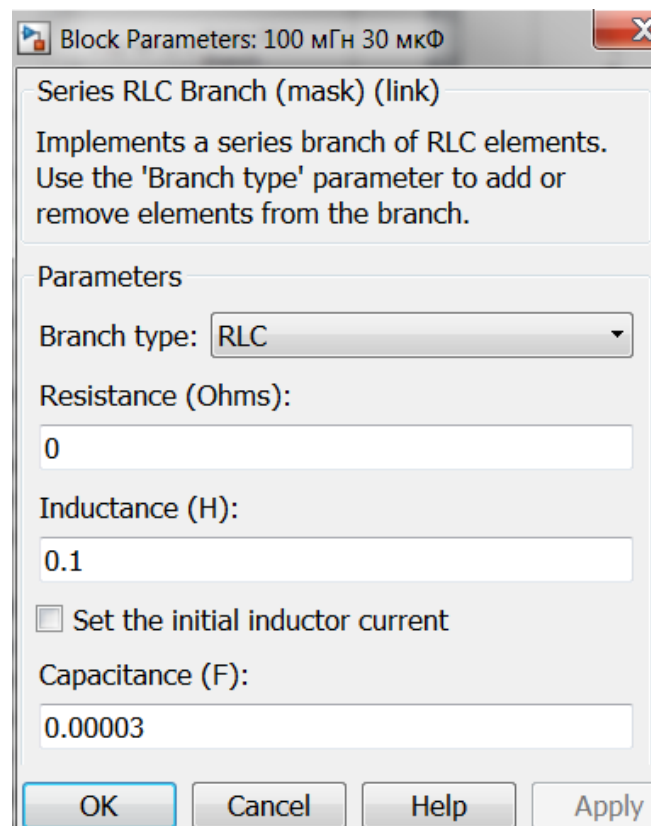


Рисунок 5.24

16 Установите требуемые параметры моделирования в соответствующем окне (см. рисунок 5.7). Начните моделирование с помощью команды **Simulation**⇒**Run**, а затем дважды щелкните на изображении блока **Scope**. В результате на экране появится новое окно **Scope** с изображениями графиков изменения во времени тока и напряжения (рисунок 5.25).

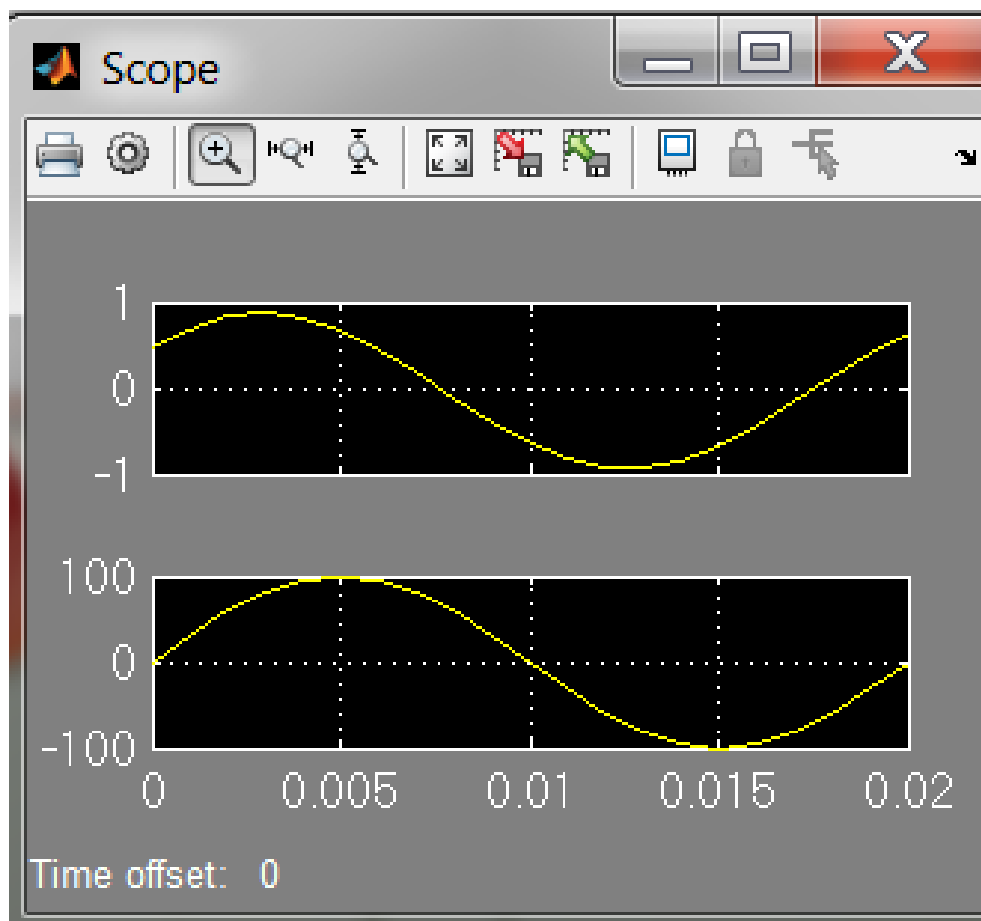


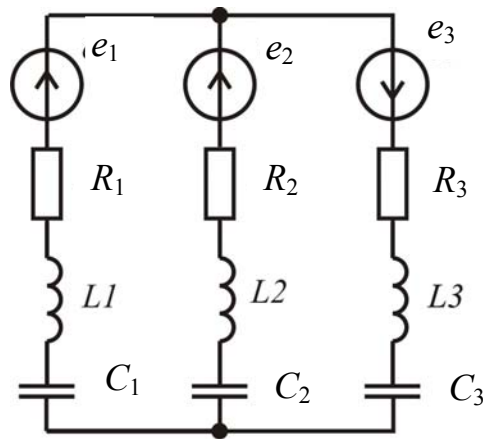
Рисунок 5.25

Отчет

Включить в отчет по лабораторной работе содержимое рабочих окон с моделями, собранными при выполнении пп. 14–16, а также соответствующие обзорные окна блоков **Scope**.

Индивидуальное задание

1 Рассчитать в среде MATLAB электрическую цепь, приведенную на рисунке, в которой в зависимости от номера варианта отсутствуют элементы, указанные в таблице знаком «→».



2 Параметры цепи в зависимости от номера варианта « N » имеют следующие значения:

$$e = E_m \sin(\omega * t + \psi),$$

где амплитудные значения ЭДС в вольтах равны соответственно $E_{1m} = N$, $E_{2m} = 2N$; $E_{3m} = 3N$;

- начальные фазы ЭДС ($\psi_1 = \psi_2 = \psi_3$) равны 0° ;
- частота всех источников ЭДС равна $f = N * 50$ в Гц;
- $R_1 = R_3 = (N + 20)$ Ом; $R_2 = (N + 30)$ Ом;
- $L_1 = L_3 = 0,2 / (N + 1)$ Гн; $L_2 = 0,3 / (N + 1)$ Гн;
- $C_1 = 50 / (N + 1)$ мкФ; $C_2 = C_3 = 100 / (N + 1)$ мкФ.

К расчетным значениям параметров применить обычное округление с помощью функции **round**.

3 Построить по результатам расчета электрической цепи соответствующую векторную диаграмму токов для любого из узлов.

4 Смоделировать в системе **Simulink** рассчитанную электрическую цепь и получить в обзорном окне изображение напряжений, указанных в таблице в зависимости от номера варианта.

| Номер варианта | e_1 | e_2 | e_3 | L_1 | L_2 | L_3 | C_1 | C_2 | C_3 | Изображение в обзорном окне | |
|-------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------------------------------|-------------|
| | | | | | | | | | | $u_{L2}(t)$ | $u_{R1}(t)$ |
| 1 | – | | | | | – | – | | | $u_{L2}(t)$ | $u_{R1}(t)$ |
| 2 | | – | | | – | | | – | | $u_{L3}(t)$ | $u_{R2}(t)$ |
| 3 | | | – | – | | | | | – | $u_{C1}(t)$ | $u_{R3}(t)$ |
| 4 | – | | | – | | | | | – | $u_{C2}(t)$ | $u_{R1}(t)$ |
| 5 | | – | | | | – | – | | | $u_{L1}(t)$ | $u_{R3}(t)$ |
| 6 | | | – | | – | | | – | | $u_{C1}(t)$ | $u_{R2}(t)$ |
| 7 | – | | | | – | | | – | | $u_{L1}(t)$ | $u_{R2}(t)$ |
| 8 | | – | | – | | | | | – | $u_{C2}(t)$ | $u_{R1}(t)$ |
| 9 | | | – | | | – | – | | – | $u_{L2}(t)$ | $u_{R3}(t)$ |
| 10 | – | | | | – | – | | | | $u_{C2}(t)$ | $u_{R2}(t)$ |
| 11 | | – | | – | | | – | | | $u_{C3}(t)$ | $u_{R3}(t)$ |
| 12 | | | – | | | | | – | – | $u_{L3}(t)$ | $u_{R1}(t)$ |
| 13 | – | | | | | | | – | – | $u_{L1}(t)$ | $u_{R3}(t)$ |
| 14 | | – | | | – | – | | | | $u_{C1}(t)$ | $u_{R1}(t)$ |
| 15 | | | – | – | | | – | | | $u_{L2}(t)$ | $u_{R2}(t)$ |
| 16 | – | | | | | | – | – | | $u_{C3}(t)$ | $u_{R3}(t)$ |
| 17 | | – | | | | – | | | – | $u_{L2}(t)$ | $u_{R2}(t)$ |
| 18 | | | – | – | – | | | | | $u_{L3}(t)$ | $u_{R1}(t)$ |
| 19 | – | | | – | – | | | | | $u_{C1}(t)$ | $u_{R1}(t)$ |
| 20 | | – | | | | | – | – | | $u_{C3}(t)$ | $u_{R2}(t)$ |
| 21 | | | – | | | – | | | – | $u_{L1}(t)$ | $u_{R3}(t)$ |
| 22 | – | | | | | | | | | $u_{C1}(t)$ | $u_{R1}(t)$ |
| 23 | | – | | | | | | | | $u_{L2}(t)$ | $u_{R3}(t)$ |
| 24 | | | – | | | | | | | $u_{C2}(t)$ | $u_{R2}(t)$ |

5 Составить отчет по индивидуальному заданию, включив в него титульный лист, содержимое командного окна MATLAB с результатами расчета, свою схему, смоделированную в системе **Simulink**, график с векторной диаграммой и содержимое обзорного окна.