

Лабораторная работа № 4

Визуальное моделирование динамических систем в среде MATLAB-Simulink

Цель работы: изучение интерфейса и основных возможностей программного модуля Simulink и знакомство с разделами библиотеки SimPowerSystems, предназначенными для моделирования электроэнергетических объектов.

Рабочее задание

MATLAB позволяет проводить в диалоговом режиме визуальные исследования во времени (визуальное программирование) характеристик различных систем, с помощью программного модуля **Simulink**. При этом модель исследуемой системы представляется в виде структурной модели и сохраняется в файле с расширением **.slx** (для более ранних версий MATLAB – 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. При этом в зависимости от особенностей имитации процессов различают S-модели и P-модели. В S-моделях входные и выходные величины не имеют физического содержания, а линии соединения переносят некоторый информационный сигнал. P-модели имитируют процессы в электрических цепях.

Для наблюдения моделируемых процессов используются специальные блоки («обзорные окна»), входящие в состав библиотек **Simulink**.

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

Выбрать в открывшемся окне команду **File⇒Save As...** и сохранить файл под именем **model_1** на диске в своей папке.

2 С помощью кнопки  (для версии с меню – это кнопка ) открыть окно библиотеки **Simulink Library Browser** (рисунок 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.

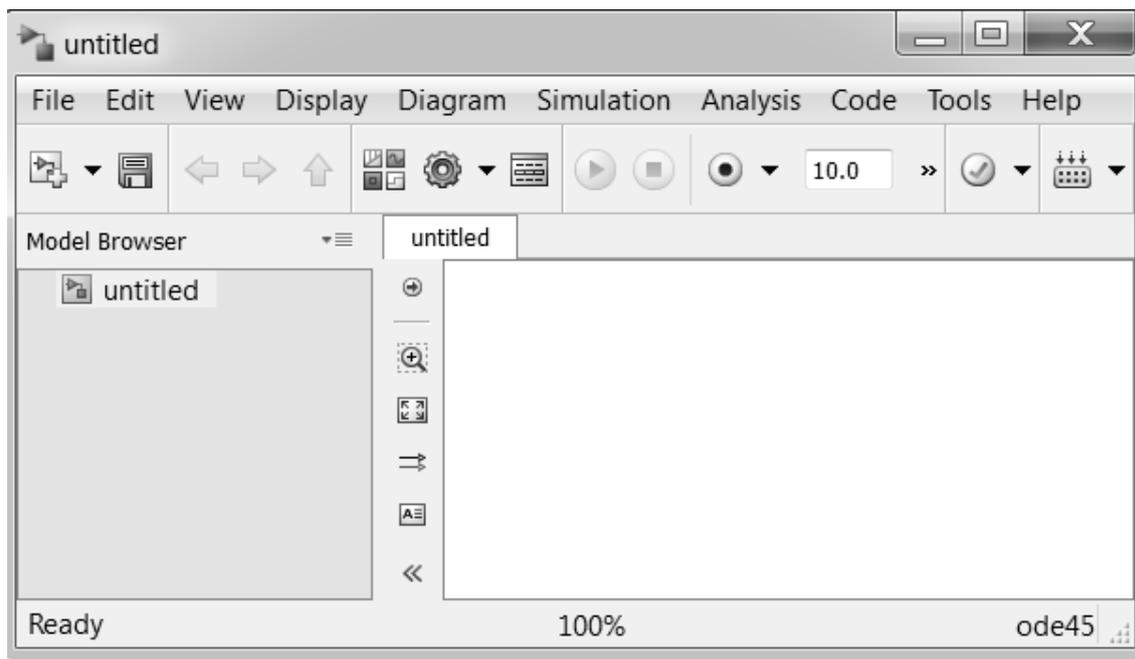


Рисунок 1

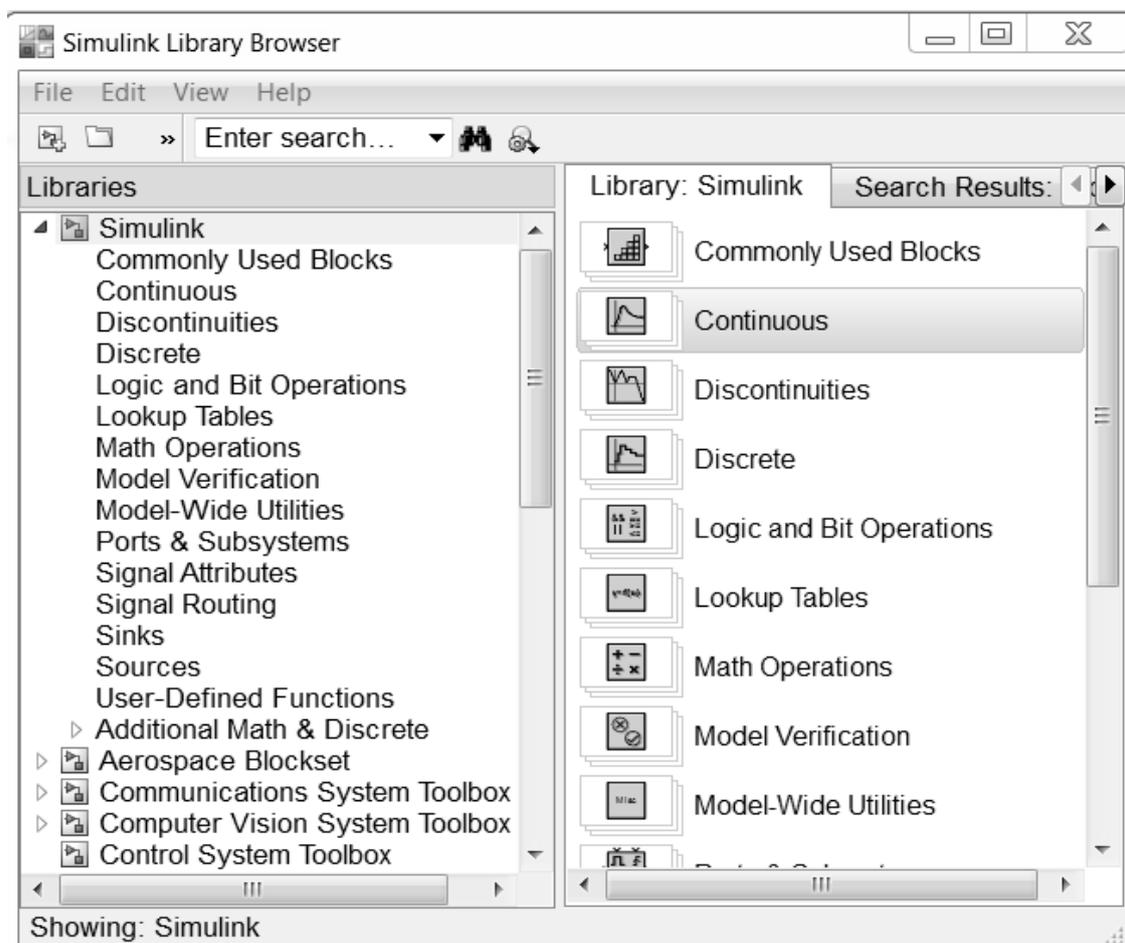


Рисунок 2

3 Ознакомьтесь с основными блоками раздела **Sinks** (Приемники) библиотеки **Simulink**. На рисунке 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.

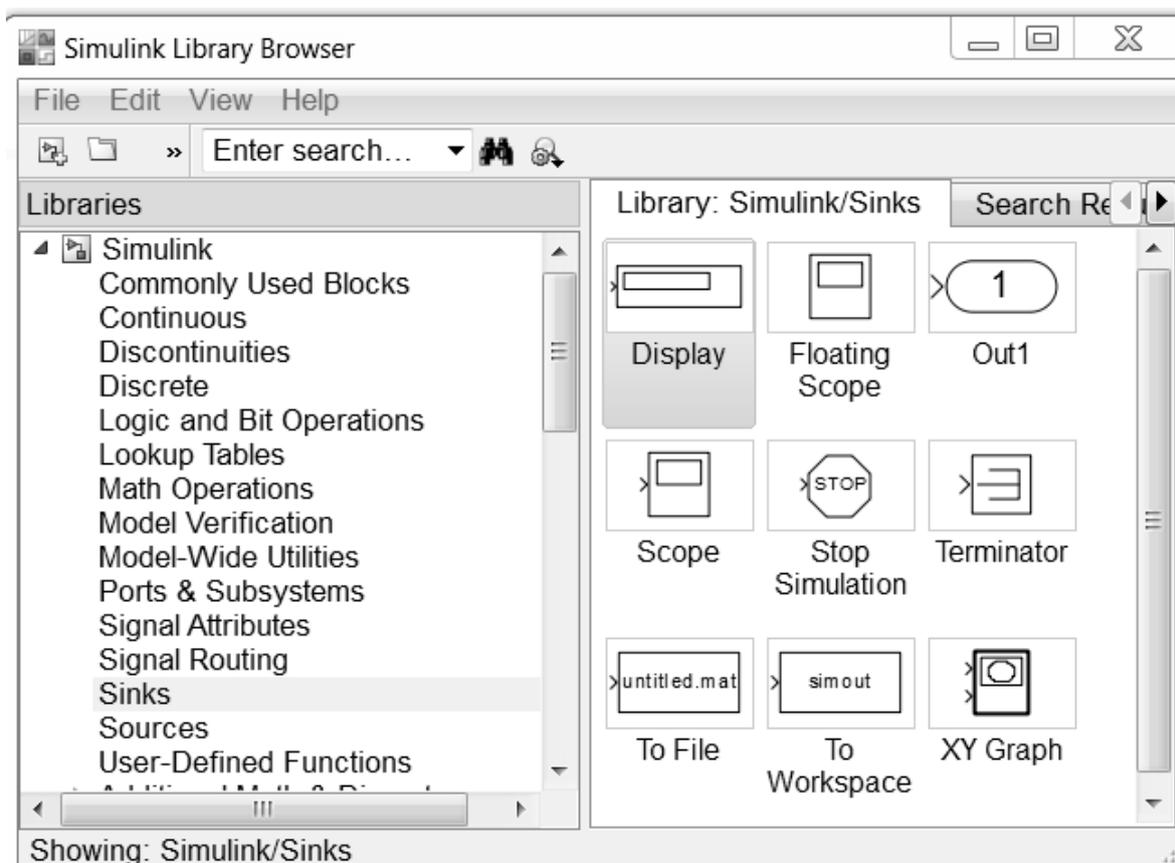


Рисунок 3

В данной лабораторной работе в качестве обзорных окон при моделировании используются следующие блоки раздела **Sinks**:

- блок **Scope** с одним входом – выводит в графическое окно график зависимости от времени подаваемой на его вход величины;
- блок **Display** с одним входом – предназначен для отображения численных значений входной величины.

4 Ознакомьтесь с основными блоками раздела **Sources** (Источники) библиотеки **Simulink** (рисунок 4), которые предназначены для формирования входных сигналов и обеспечивают работу S-модели в целом или отдельных ее частей при моделировании. Они имеют по одному выходу, но не имеют входов. Блоки-источники могут настраиваться пользователем.

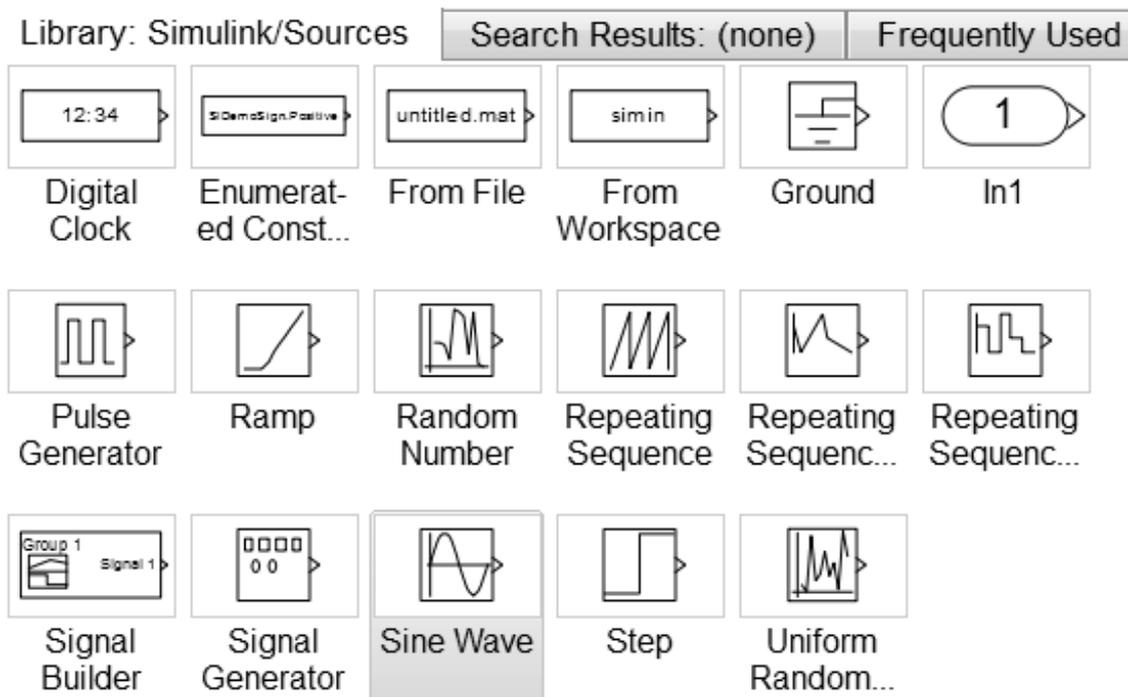


Рисунок 4

В данной лабораторной работе будут использоваться следующие блоки-источники:

- **Sine Wave** – генерирует непрерывный гармонический сигнал;
- **Signal Generator** – создает непрерывный колебательный сигнал одной из форм: синусоидальной, прямоугольной, треугольной или случайной;
- **Pulse Generator** – генерирует непрерывный прямоугольный сигнал;
- **Constant** – генерирует сигнал, постоянный по времени.

5 Построить блок-схему S-модели, содержащей следующие блоки библиотеки **Simulink: Sine Wave** из раздела **Sources**, дифференцирующий блок **Derivative** из раздела **Continuous** и **Scope** из раздела **Sinks** (рисунок 5).

Добавить блок можно с помощью команды **Add to (Имя модели)** контекстного меню, вызываемого нажатием правой кнопки мыши (ПКМ), или перетаскиванием блока между открытыми окнами при нажатой левой кнопки мыши (ЛКМ).

Если требуется развернуть блок, то нужно выделить блок, нажать ПКМ и выбрать в появившемся контекстном меню команду **Rotate&Flip**, которая имеет несколько вариантов исполнения:

- **Clockwise** – разворот блока на 90° по часовой стрелке (Ctrl+R);
- **Counterclockwise** – разворот блока на 90° против часовой стрелки (Ctrl+Shift+R);

- **Flip Block** – разворот блока в другую сторону (Ctrl+I);
- **Flip Block Name** – перенос надписи с другой стороны блока.

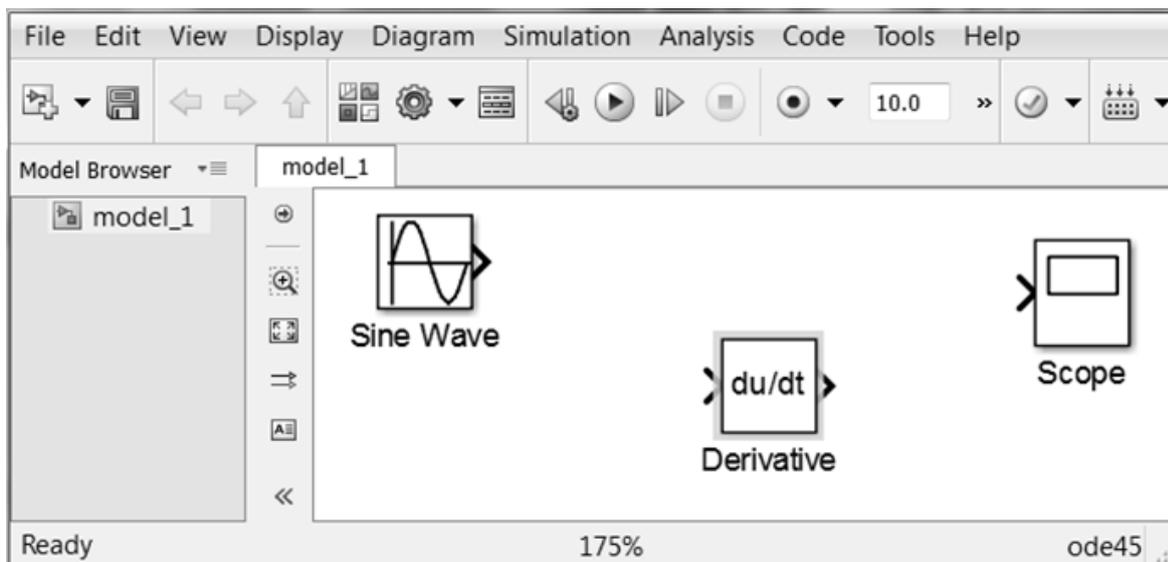


Рисунок 5

Для соединения между блоками нужно нажать ЛКМ на блоке-источнике и, удерживая кнопку **Ctrl**, нажать ЛКМ на блоке-приемнике или протащить нажатую ЛКМ от выхода одного блока к входу другого.

5.1 Выполнить двойной щелчок по блоку **Sine Wave** и установить в появившемся окне свойств следующие значения:

- амплитуда гармонического сигнала **Amplitude** – **5**;
- смещение или постоянная составляющая **Bias** – **0**;
- частота колебаний ω , рад/с **Frequens (rad/sec)** – **1**;
- начальная фаза, рад **Phase** – **0**.

Так как моделируется непрерывная система, то установим значение шага модельного времени **Sample time** – **0**. При моделировании дискретных систем **Sample time** > 0 . При **Sample time** = **-1** значение шага модельного времени устанавливается таким же, как в предыдущем блоке. Все остальные установки в окне свойств блока **Sine Wave** оставить без изменения.

5.2 Выполнить двойной щелчок по блоку **Scope**. В результате откроется окно **Scope**, для настройки свойств которого необходимо нажать на его панели инструментов кнопку . В результате откроется диалоговое окно '**Scope**' parameters (рисунок 6), на вкладке **General** которого необходимо задать следующие значения параметров:

- количество графических полей **Number of axes**: – **2**;

– верхняя граница модельного времени, откладываемого по оси абсцисс **Time range:** – 2π (определим исходя из заданного значения угловой частоты блока **Sine Wave** $\omega = 2\pi f = 2\pi/T = 1$ рад/с, что соответствует периоду гармонического сигнала в секундах $T = 2\pi/\omega = 2\pi/1 = 2\pi$);

– подписи для всех осей **Tick labels:** – **all**.

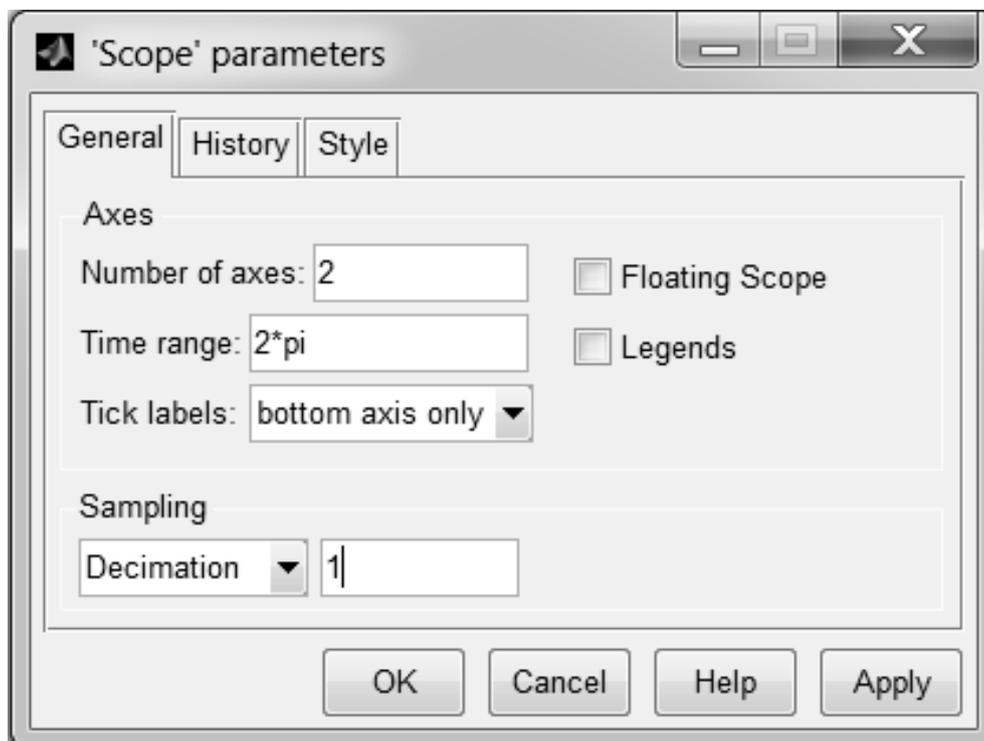


Рисунок 6

Следует иметь в виду, что если размер заданного интервала моделирования T_m будет установлен больше значения **Time range**, то в окне **Scope** будет отображен только график, соответствующий последнему отрезку времени, равному $T_m - n \cdot \text{Time range}$, где n – целое число.

Выбрать в окне **'Scope' parameters** из списка **Sampling** (Дискретизация) значение **Decimation** (Прореживание) и задать в соседнем правом окне значение «1», обозначающее количество интервалов дискретизации, через которые полученные данные моделирования будут использоваться для построения графиков. Если в списке **Sampling** выбрать значение **Sample 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 **History** в окне **'Scope' parameters** (рисунок 7) позволяют задать максимальное количество элементов мас-

сива данных, используемых для построения графиков. Данные, которые используются для построения графика в окне **Scope**, можно записать в рабочее пространство MATLAB, если установить флажок **Save data to workspace**. При этом в поле **Variable name** (Имя переменной) можно изменить имя переменной, а в поле **Format** (формат) выбрать один из трех форматов записи данных: **Array** (Массив, матрица), **Structure** (Структура) или **Structure with time** (Структура с временем).

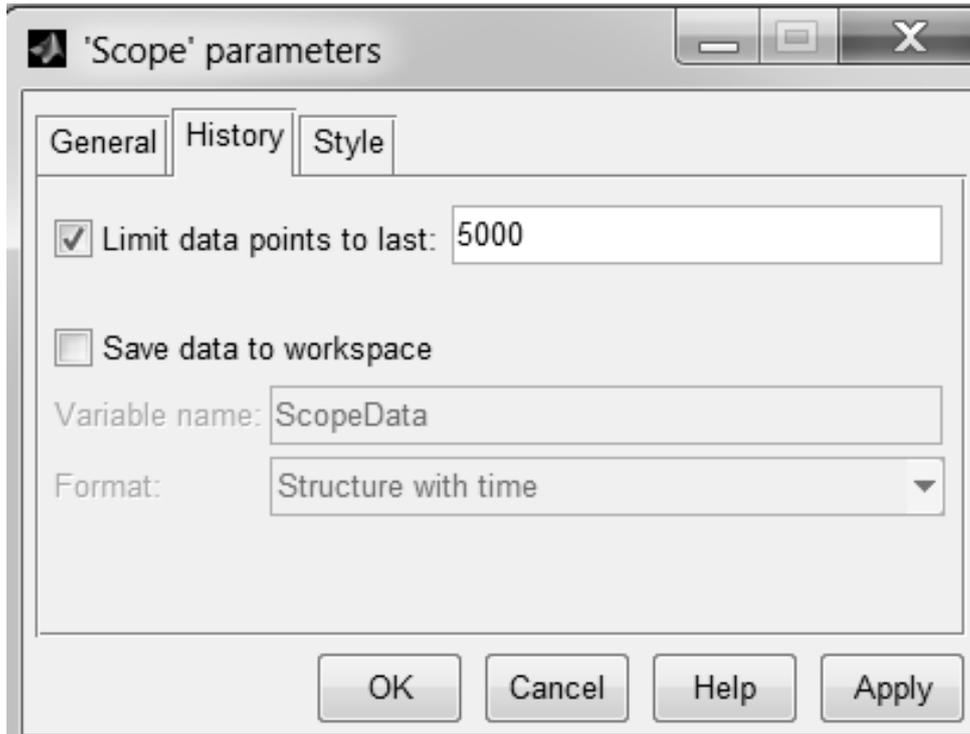


Рисунок 7

Команды на вкладке **Style** в окне **'Scope' parameters** (рисунок 8) 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**.

Установить белый цвет фигуры **Figure color:** и фона **Axes color:**, а цвет осей – черным. Задать в области **Line:** для обеих линий толщину **2** и черный цвет.

5.3 Соединить блоки между собой в соответствии с рисунком 9. Для этого установить указатель мыши в области выходного порта блока **Sine Wave** (при этом указатель принимает вид крестика) и, удерживая нажатой ЛКМ, переместить указатель к верхнему входному порту блока **Scope**. После отпускания кнопки мыши появится линия связи со стрелкой на конце, указывающей направление передачи сигнала. Нижний входной порт блока **Scope** соеди-

нить с выходным портом блока **Derivative**. Входной порт блока **Derivative** направить на нужное место первой линии связи при нажатой ЛКМ и отпустить. В результате на линии связи появится узел в виде точки.

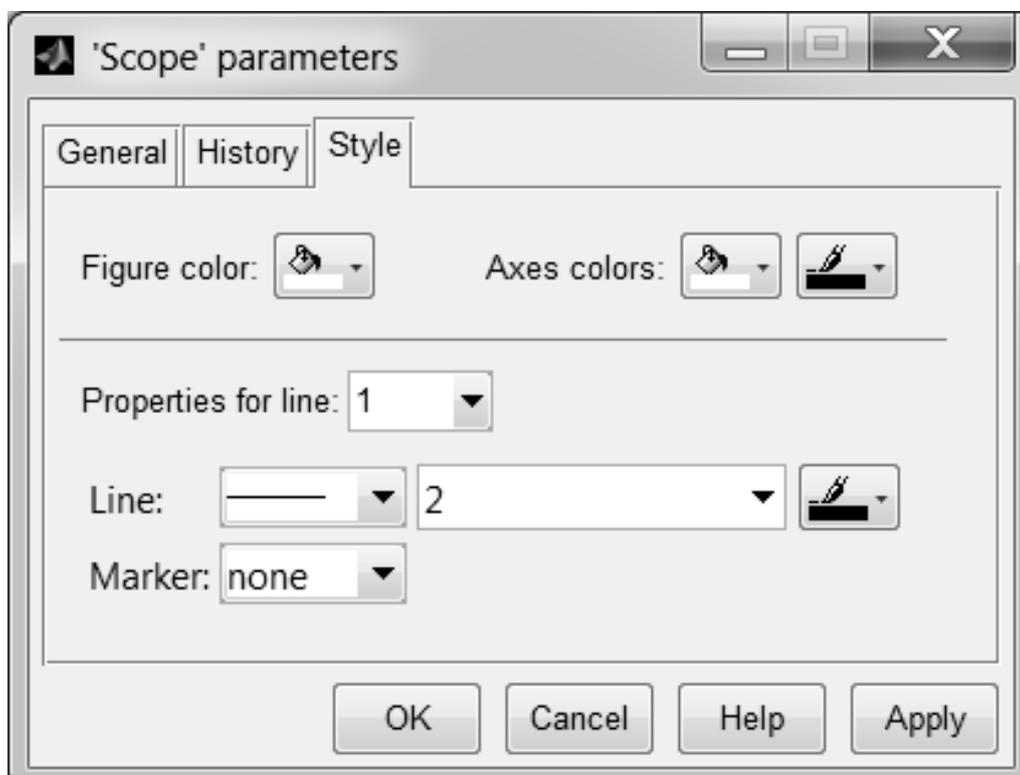


Рисунок 8

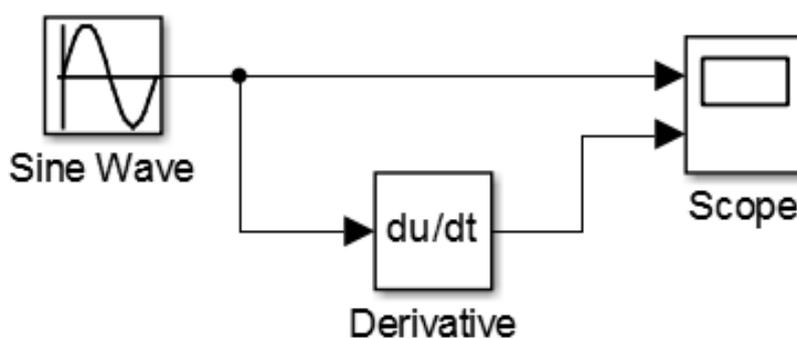


Рисунок 9

5.4 Перед запуском полученной блок-схемы на моделирование сначала необходимо установить требуемые параметры моделирования, выбрав команду **Simulation**⇒**Model Configuration Parameters**

или нажав на панели инструментов клавишу . В результате откроется окно настройки параметров, группа **Solver** которого показана на рисунке 10.

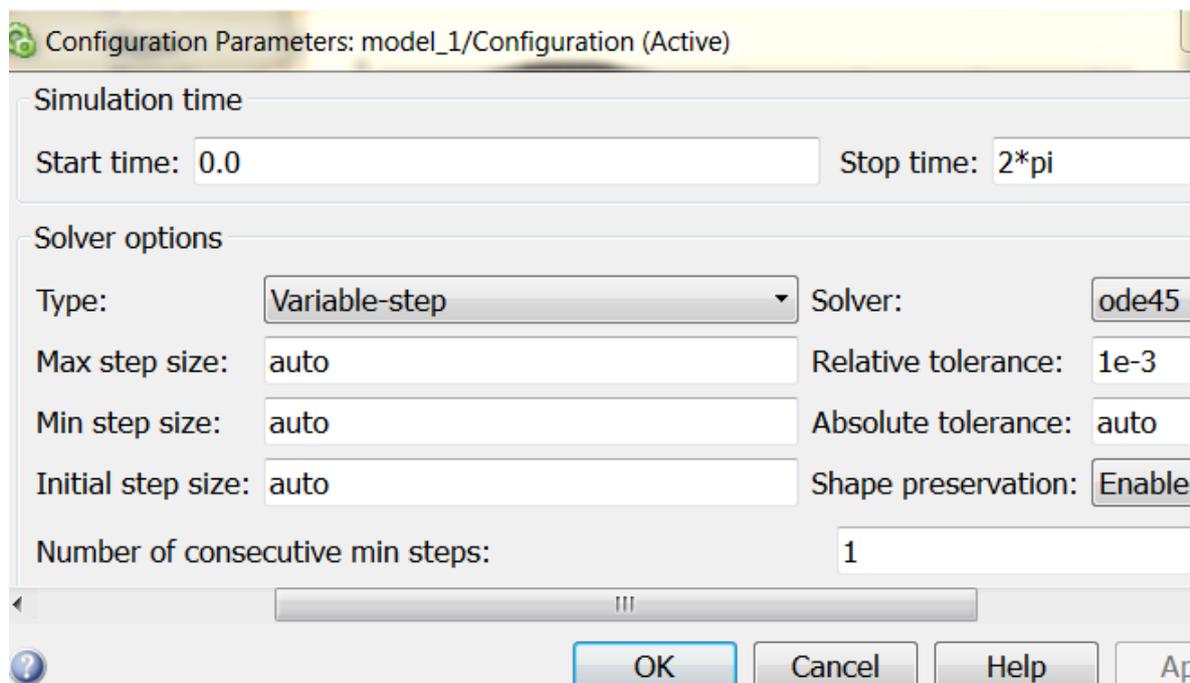


Рисунок 10

Задать в области **Simulation time** значения начального времени моделирования **Start time: 0.0** и конечного времени моделирования **Stop time: 2*pi**. Величина конечного времени выбрана из условия проведения моделирования в течение одного периода гармонического сигнала, частота которого в рассматриваемом случае равна 1 рад/с. Однако следует иметь в виду, что текущее физическое время и время моделирования не являются одинаковыми понятиями. Время моделирования зависит от сложности модели, метода решения и быстродействия компьютера.

Выбор метода моделирования и его параметров осуществляется в области **Solver options**.

Опция **Type:** задает тип решения:

- с переменным шагом (**Variable-step**), который рекомендуется при расчете непрерывных систем;
- с фиксированным шагом (**Fixed-step**), который рекомендуется при расчете дискретных систем.

Лучшие результаты чаще всего дает решение с переменным шагом, так как при увеличении скорости изменения результатов в процессе решения автоматически уменьшается шаг и наоборот [1]. Кроме того, программа с переменным шагом в отличие от программы с постоянным шагом выполняет контроль ошибок моделирования и определение пересечения нуля.

Опция **Solver:** задает несколько вариантов методов моделирования. Первый вариант (**discrete**) используется для расчета дис-

кретных систем. Остальные методы используются для расчета непрерывных систем. При моделировании с переменным шагом по умолчанию устанавливается метод общего назначения **ode45** (одношаговый явный метод Рунге – Кутты 4-го и 5-го порядков точности).

Выбрать способ моделирования **Variable-step**. При этом системой по умолчанию устанавливаются значения **auto**:

– для максимального шага расчета, который определяется как

$$\text{Max step size} = (\text{StopTime} - \text{StartTime})/50;$$

– минимального шага расчета **Min step size**;

– начального значения шага моделирования **Initial step size**.

Для выбранного на рисунке 10 диапазона при моделировании с переменным шагом моделирования максимальный шаг расчета в секундах равен $(2\pi - 0)/50 = \pi/25 \approx 0,126$.

5.5 Начать моделирование с помощью команды **Simulation**⇒

Run . На рисунке 11 представлены результаты моделирования, показывающие гармонические сигналы на входе и на выходе дифференцирующего блока **Derivative**.

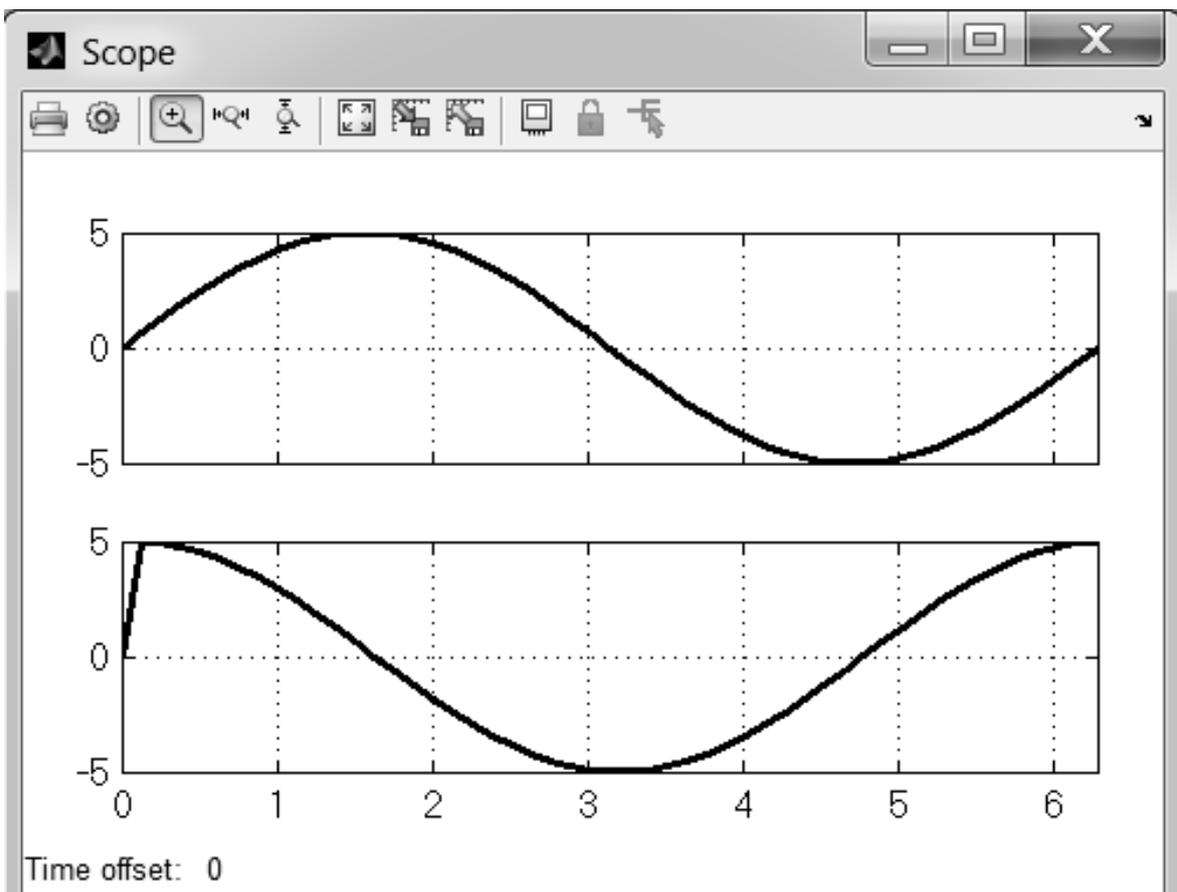


Рисунок 11

Из графиков видно, что для обоих сигналов амплитуда равна 5, период синусоидального сигнала в секундах равен $T = 2\pi \approx 6,28$, что соответствует частоте синусоидального сигнала в герцах равной $f = 1/T = 1/(2\pi)$ и угловой частоте в радианах в секунду $\omega = 2\pi f = 1$. Синусоидальный сигнал $\sin(t)$ на входе дифференцирующего блока преобразуется на его выходе в сигнал $\cos(t)$, так как дифференциал от синуса равен косинусу.

5.6 Установить в диалоговом окне **'Scope' parameters**: на закладке **Style** тип маркера **Marker**: в точках дискретизации, используемого для построения графика в окне **Scope**, в виде круга.

Начать моделирование с помощью команды **Simulation** \Rightarrow **Run**. На рисунке 12 представлены результаты моделирования. Расстояние между двумя соседними маркерами соответствует интервалу дискретизации, через который полученные данные моделирования используются для построения графиков.

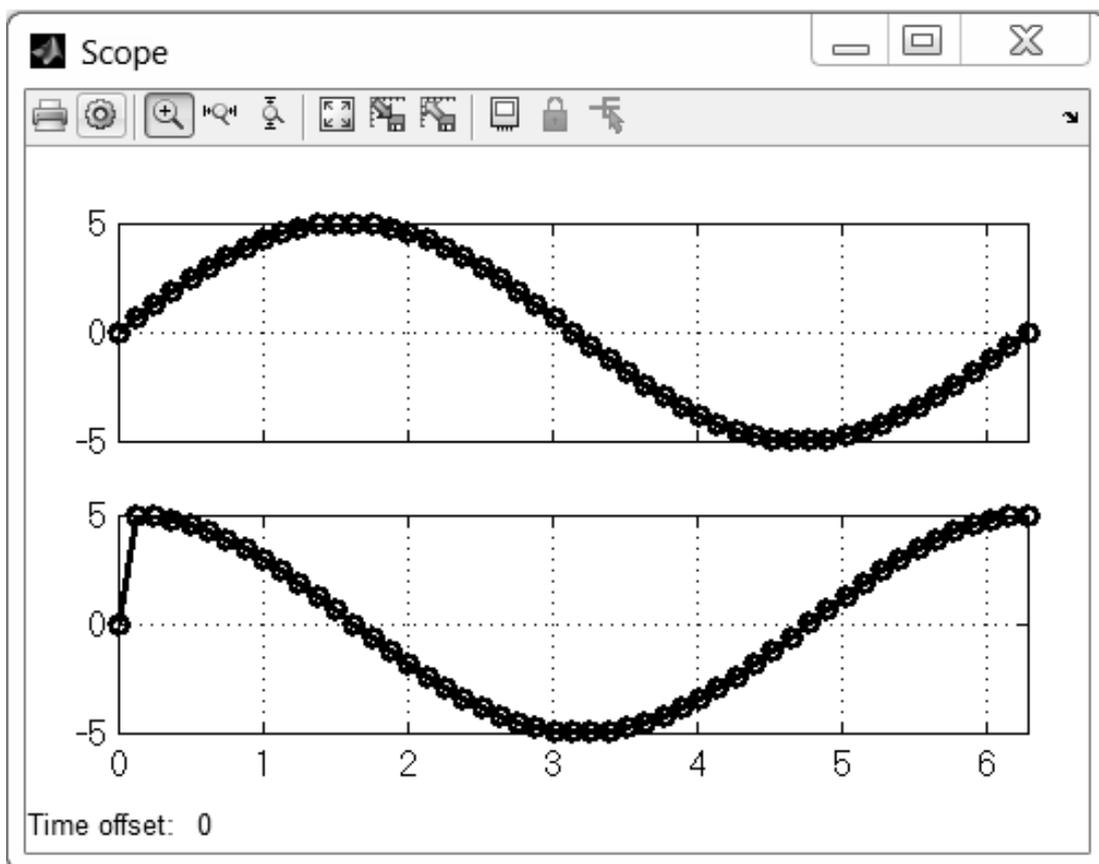


Рисунок 12

5.7 Установить в диалоговом окне **'Scope' parameters**: на закладке **General** для списка **Sampling** значение **Decimation**, равным «5», что соответствует шагу дискретизации для построения графика, равному $5\pi/25 = \pi/5 \approx 0,63$.

Начать моделирование с помощью команды **Simulation**⇒**Run**. На рисунке 13 представлены результаты моделирования. Расстояние между двумя соседними маркерами соответствует интервалу дискретизации, примерно равному **0,63**.

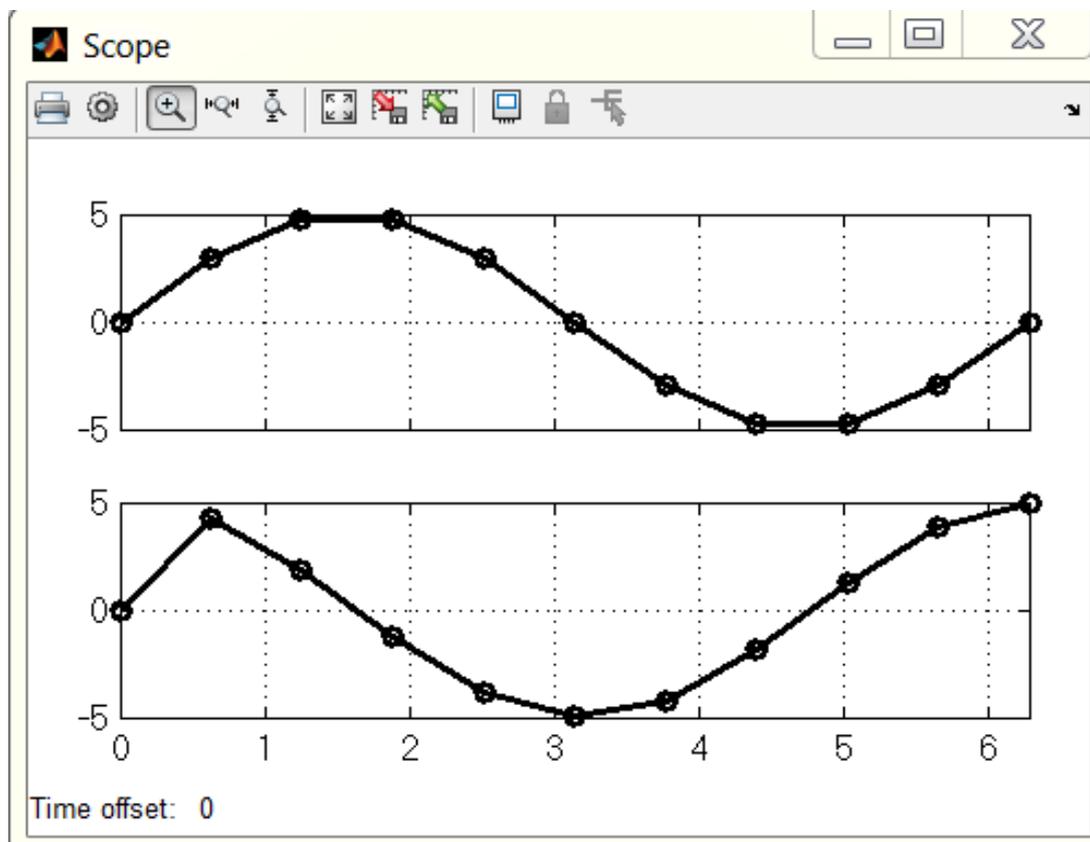


Рисунок 13

Отчет

5.8 Смоделировать схему, приведенную на рисунке 9, установив для нее частоту колебаний (в радианах в секунду) и амплитуду, равные номеру варианта.

Подобрать параметры моделирования таким образом, чтобы на графике в блоке **Scope** отображался один период. Включить в отчет по лабораторной работе содержимое рабочего окна с моделью и окна параметров входящих в нее блоков. Представить результаты моделирования в обзорном окне блока **Scope** для значения его параметра **Decimation**, равного 1 и 5. Провести анализ полученных графиков зависимостей и сделать выводы.

6 Построить блок-схему S-модели, содержащей следующие блоки библиотеки **Simulink: Pulse Generator** из раздела **Sources**, интегрирующий блок **Integrator** из раздела **Continuous**, блок **Mux** из раздела **Commonly Used Blocks** и **Scope** из раздела **Sinks** (рисунок 14).

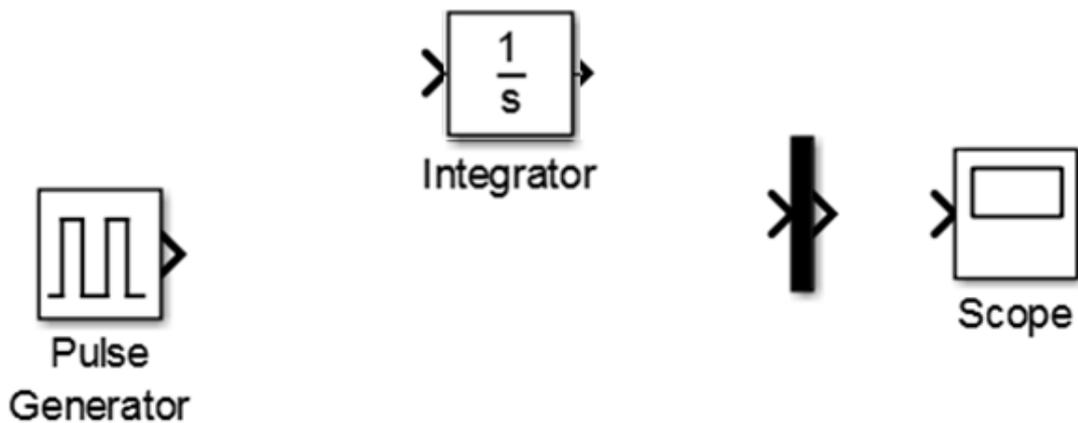


Рисунок 14

6.1 Выполнить двойной щелчок по блоку **Pulse Generator** и установить в появившемся окне следующие значения параметров:

- тип импульсов (**Pulse type:**) – непрерывный импульс, аргумент время (**Time based**);
- время (**Time(t):**) – **Use simulation time**;
- амплитуда (**Amplitude**) – **1**;
- период в секундах (**Period**) – **2**;
- ширина импульса в процентах от периода (**Pulse width**) – **50**;
- величина задержки первого импульса относительно $t = 0$ (**Phase delay**) – **0**.

6.2 Выполнить двойной щелчок по блоку **Integrator** и установить в появившемся окне следующие значения:

- источник начального значения выходного сигнала (**Initial condition source:**) – внутренний (**Internal**);
- начальное значение выходного сигнала (**Initial condition:**) – **0**;
- верхний уровень ограничения выходного сигнала (**Upper saturation limit**) – **inf** (бесконечность);
- нижний уровень ограничения выходного сигнала (**Lower saturation limit:**) – **-inf** (минус бесконечность).

6.3 Выполнить двойной щелчок по блоку мультиплексор (смеситель) **Mux**, предназначенному для объединения входных сигналов в вектор, и установить в появившемся окне следующие значения:

- количество входов (**Number of Inputs:**) – **2**;
- способ отображения (**Display option:**) – **bar** (вертикальный узкий прямоугольник черного цвета).

6.4 Соединить блоки в соответствии с рисунком 15.

6.5 Выполнить двойной щелчок по блоку **Scope** и установить на вкладке **Style** окна '**Scope**' parameters белый цвет фигуры **Figure color:** и фона **Axes color:**, а цвет осей – черным.

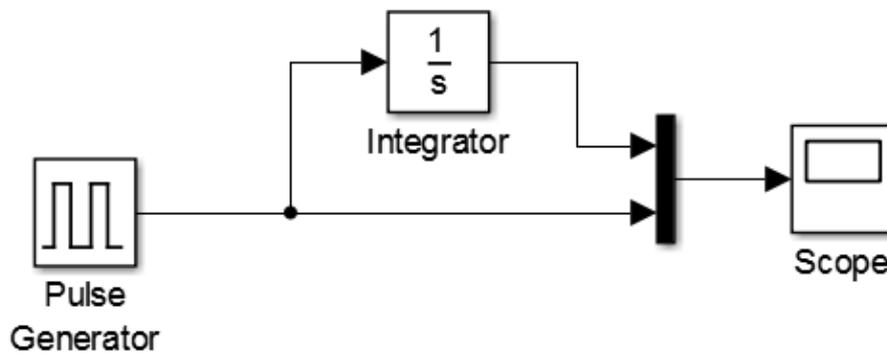


Рисунок 15

Задать в области **Line:** для первой линии тип линии – сплошная, толщину – **2**, цвет – черный, тип маркера **Marker** в точках дискретизации – в виде круга.

Задать в области **Line:** для второй линии тип линии – пунктирная, толщину – **2**, цвет – черный, тип маркера **Marker** в точках дискретизации – **none**.

Для информативности на вкладке **General** в окне **'Scope' parameters** необходимо установить флажок **Legends**.

6.6 Перед выполнением моделирования сначала необходимо установить требуемые параметры моделирования, выбрав команду **Simulation⇒Model Configuration Parameters**.

Задать в области **Simulation time** окна настройки параметров:

- значения начального времени моделирования **Start time: 0.0** и конечного времени моделирования **Stop time: 10** (величина конечного времени выбрана из условия проведения моделирования в течение пяти периодов гармонического сигнала);

- тип решения (**Type: Fixed-step** (решение с фиксированным шагом));

- метод моделирования (**Solver: ode1** (метод Эйлера));

- значение фиксированного шага **Fixed-step size – 0.5**, что соответствует 21 точке моделирования.

6.7 Начать моделирование с помощью команды **Simulation⇒Run**. На рисунке 16 представлены результаты моделирования. Выходной векторный сигнал мультиплексора **Mux** поступает на вход блока **Scope**, в результате на его экране строятся два графика: сплошная линия соответствует выходному сигналу блока **Integrator**, а пунктирная линия соответствует выходному сигналу блока **Pulse Generator**.

Нажать на среднюю кнопку  на панели инструментов окна **Scope**, которая позволяет автоматически устанавливать оптимальный масштаб осей. При этом результаты моделирования преобразуются к виду, представленному на рисунке 17.

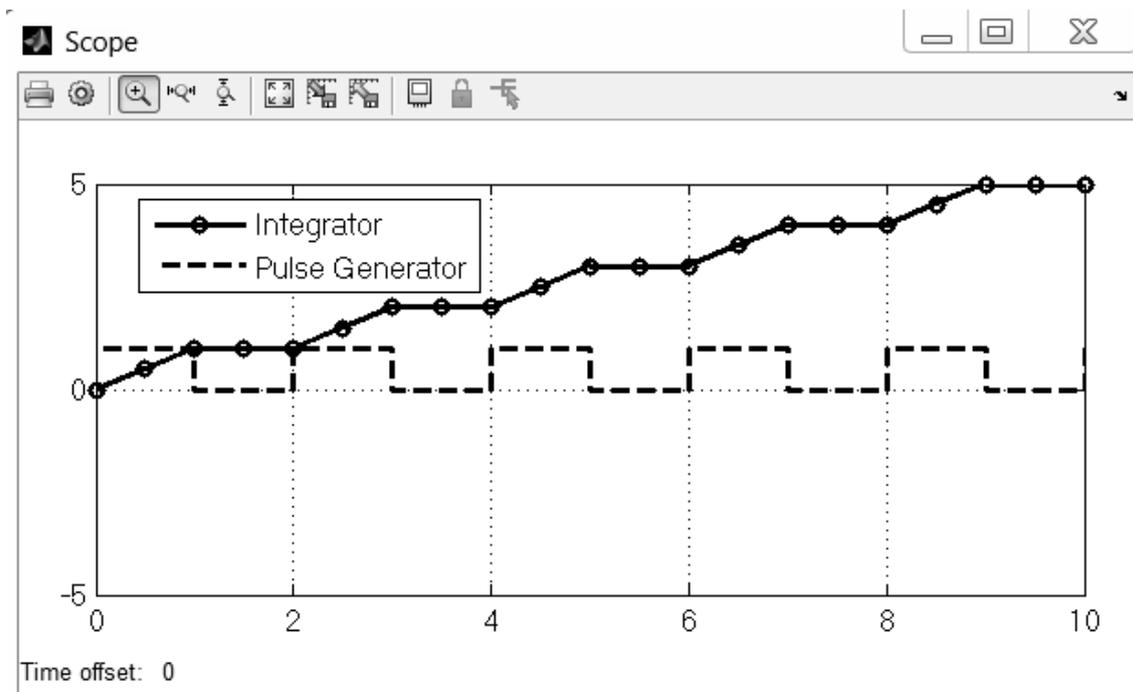


Рисунок 16

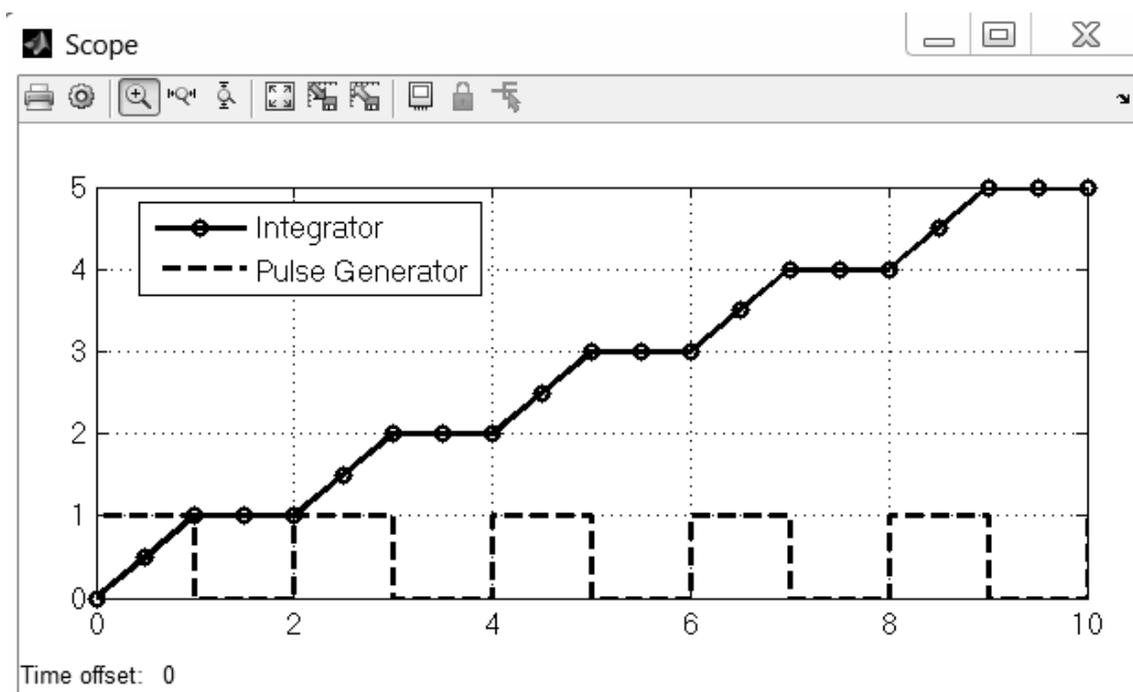


Рисунок 17

Отчет

6.8 Смоделировать схему, приведенную на рисунке 15, установив для нее амплитуду и период прямоугольных импульсов (в секундах), равные номеру варианта.

Подобрать параметры моделирования таким образом, чтобы на графике в блоке **Scope** отображалось пять периодов. Включить в отчет по лабораторной работе содержимое рабочего окна с моде-

лю и окна параметров входящих в нее блоков. Представить результаты моделирования в обзорном окне блока **Scope** для значения его параметра **Decimation**, равного 1. Провести анализ полученных графиков зависимостей и сделать выводы.

7 Построить блок-схему S-модели, содержащей следующие блоки библиотеки **Simulink: Signal Generator** и **Constant** из раздела **Sources**; блок усилителя **Gain**, блок суммирования **Sum** и блок мультиплексора **Mux** из раздела **Commonly Used Blocks**; блок **Abs** из раздела **Math Operations**; блок **Scope** из раздела **Sinks** (рисунок 18).

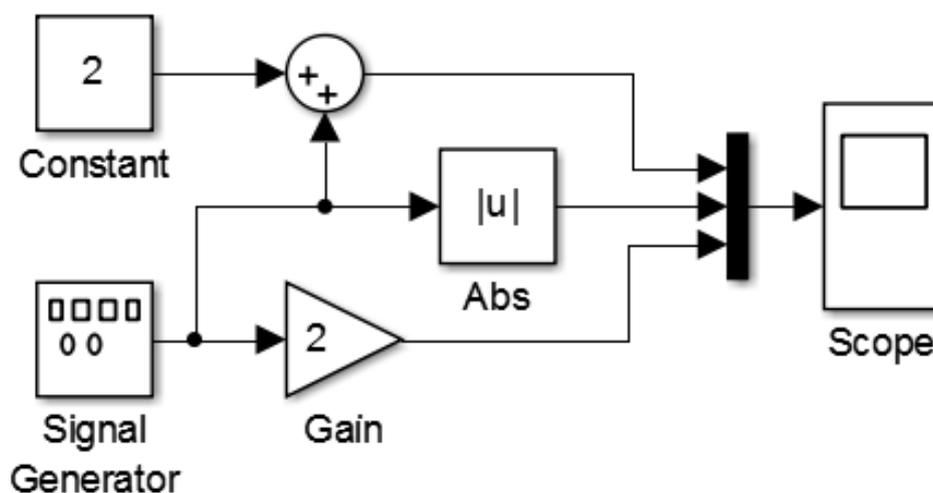


Рисунок 18

7.1 Выполнить двойной щелчок по блоку **Constant** и установить в появившемся окне значение постоянного выходного сигнала (**Constant value:**), равное «2».

7.2 Выполнить двойной щелчок по блоку **Signal Generator** и установить в появившемся окне следующие значения:

- форма волны (**Wave form:**) – **sine**;
- время (**Time(t):**) – **Use simulation time**;
- амплитуда гармонического сигнала (**Amplitude:**) – **1**;
- частота колебаний (**Frequency:**) – **1**;
- единица измерения частоты (**Units:**), герц – **Hertz**.

7.3 Выполнить двойной щелчок по блоку усилителя **Gain** и установить в появившемся окне значение коэффициента усиления (**Gain:**), равное «2».

7.4 Значения параметров блока **Abs**, который вычисляет абсолютное значение входного сигнала, и блока суммирования **Sum** оставить по умолчанию.

Примечание – По умолчанию форма блока **Sum** в виде круга, сверху, слева и снизу которого расположены суммирующие входы,

а справа выход. Другие настройки блока **Sum** можно задать в окне его свойств. Параметр **List of signs** (лист сигналов) определяет количество входов сумматора (в зависимости от количества символов) и их действие. При этом функциональные значения символов следующие:

- | – вход блока не задействован;
- + – прямой вход (сигнал суммируется);
- – инверсный вход (сигнал вычитается).

По умолчанию через пробел установлены следующие символы:

| + +.

7.5 Выполнить двойной щелчок по блоку мультиплексор **Mux** и установить в появившемся окне количество входов (**Number of inputs:**), равное «3».

7.6 Перед выполнением расчета установить параметры моделирования с помощью команды **Simulation**⇒**Model Cofiguration Parameters**.

Задать в области **Simulation time** окна настройки параметров:

- значения начального времени моделирования **Start time: 0.0** и конечного времени моделирования **Stop time: 2** (величина конечного времени выбрана из условия проведения моделирования в течение двух периодов гармонического сигнала);

- тип решения (**Type:**) **Fixed-step** (решение с фиксированным шагом);

- метод моделирования (**Solver:**) **ode1** (метод Эйлера);

- значение фиксированного шага **Fixed-step size – 0,02**, что соответствует 100 точкам моделирования.

7.7 Запустить программу на моделирование. На рисунке 19 представлены результаты моделирования блока **Scope**.

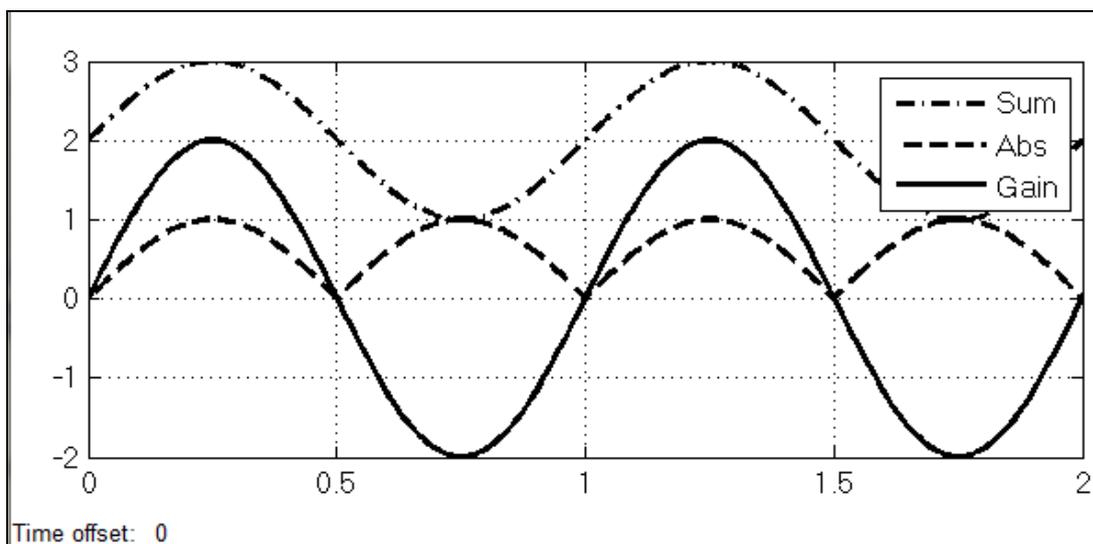


Рисунок 19

Выходной векторный сигнал блока мультиплексора **Mux** поступает на вход блока **Scope**. В результате на его экране в одних осях строятся три графика:

- штрих-пунктирная линия соответствует выходному сигналу блока суммирования **Sum**, равному $1\sin(2\cdot\pi\cdot 1\cdot t) + 2$;
- пунктирная линия соответствует выходному сигналу блока **Abs**, равному $|1\sin(2\cdot\pi\cdot 1\cdot t)|$;
- сплошная линия соответствует выходному сигналу блока усилителя **Gain** (коэффициент усиления которого равен «2»), равному $2\sin(2\cdot\pi\cdot 1\cdot t)$.

Отчет

7.8 Смоделировать схему, приведенную на рисунке 18, установив для нее частоту колебаний (в герцах) и амплитуду гармонического сигнала, равные номеру варианта.

Подобрать параметры моделирования таким образом, чтобы на графике в блоке **Scope** отображалось два периода. Включить в отчет по лабораторной работе содержимое рабочего окна с моделью и окна параметров входящих в нее блоков. Представить результаты моделирования в обзорном окне блока **Scope** для значения его параметра **Decimation**, равного 1. Провести анализ полученных графиков зависимостей и сделать выводы.

8 Ознакомиться с разделом библиотеки **SimPowerSystems** (рисунок 20), которая представляет собой набор визуальных объектов, для имитационного моделирования типовых электротехнических устройств (устройств силовой электроэнергетики, таких как электрические двигатели, генераторы, трансформаторы, преобразователи, а также линии электропередач, элементы силовой электроники и т.д.). При этом имеется возможность сочетать в одной модели как имитационные, так и структурные блоки.

Элементы из раздела **Electrical Sources** библиотеки **SimPowerSystems** (рисунок 21) включают в себя различные источники энергии, такие как:

- **DC Voltage Source** и **AC Voltage Source** – идеальный источник постоянного и переменного напряжения;
- **AC Current Source** – идеальный источник переменного тока;
- **3 Phase Source** – трехфазный источник напряжения;

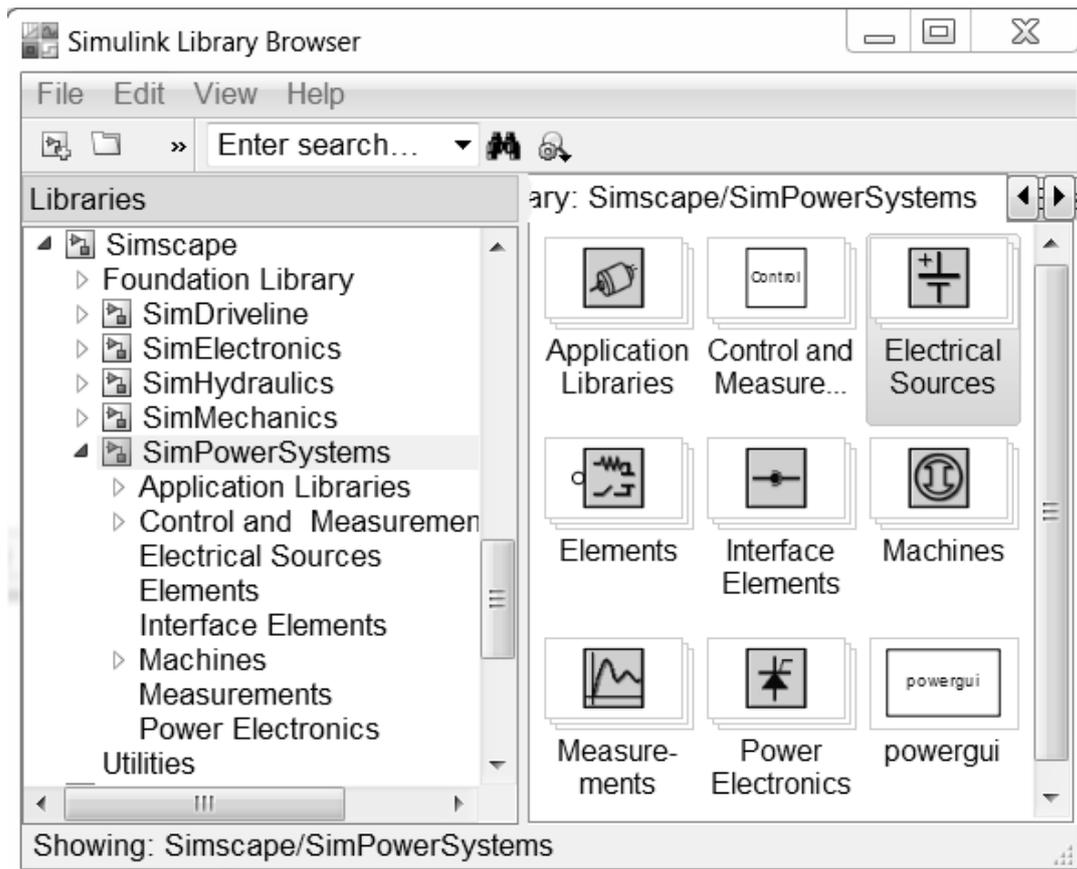


Рисунок 20

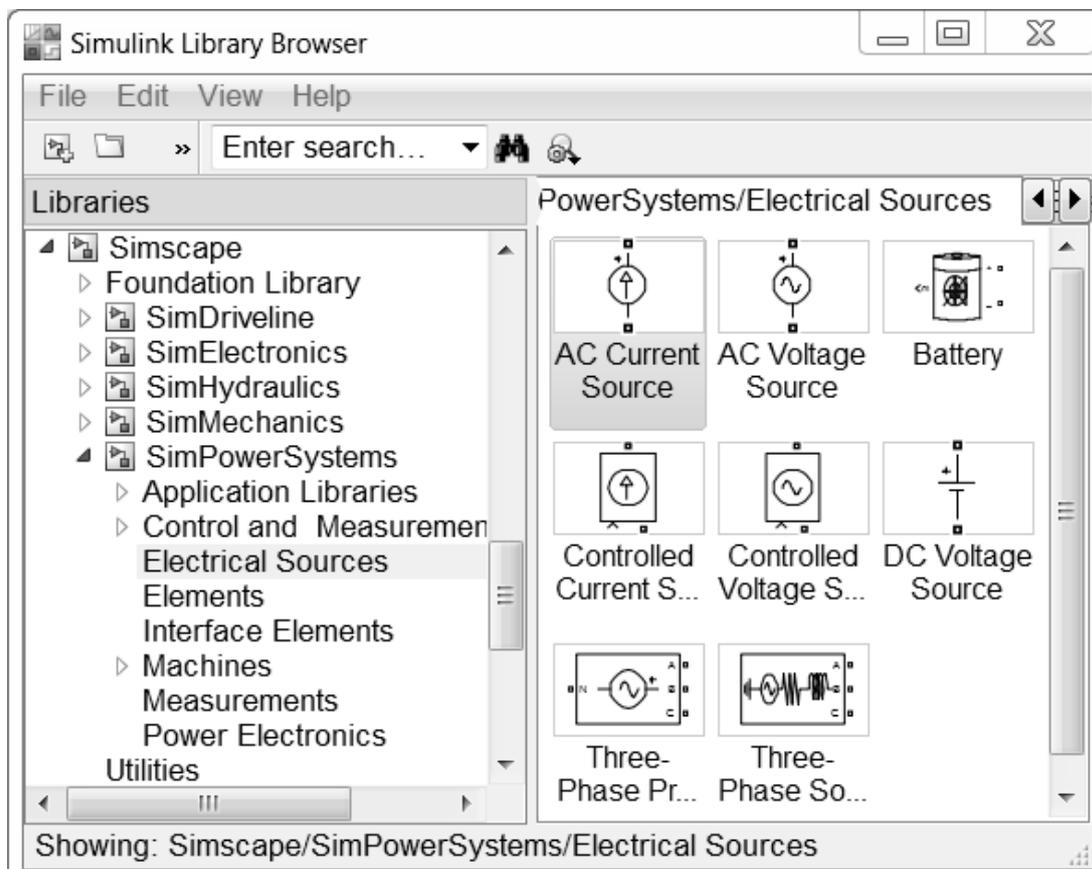


Рисунок 21

– элементы из раздела **Elements** библиотеки **SimPowerSystems** (рисунок 22), включающие в себя различные электротехнические элементы;

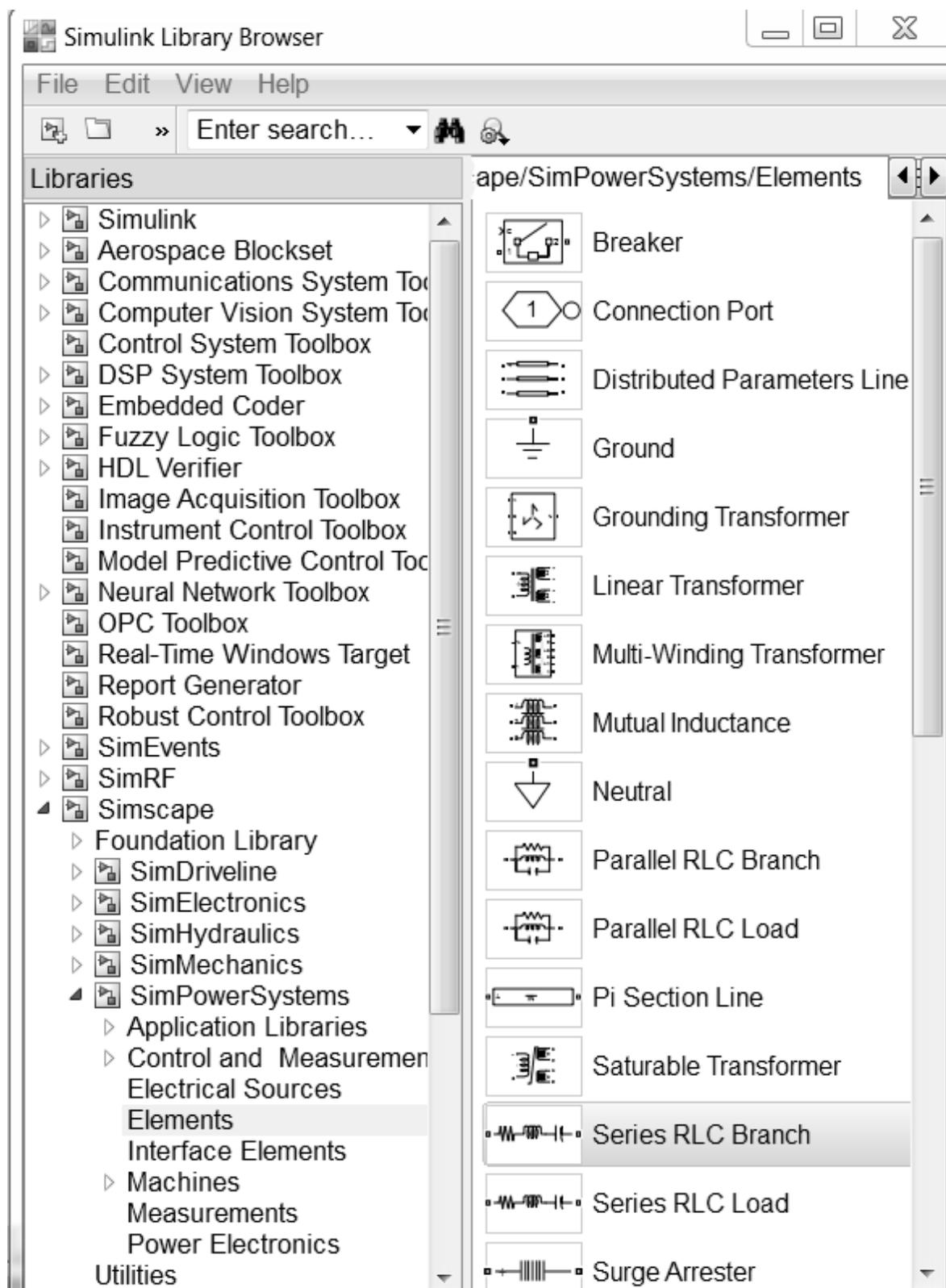


Рисунок 22

– блоки **Series RLC Branch** и **Parallel RLC Branch** – последовательная и параллельная RLC цепь, параметры которой задаются через сопротивление в омах, индуктивность в генри и емкость в фарадах;

– блоки **Series RLC Load** и **Parallel RLC Load** – последовательная и параллельная RLC нагрузка, параметры которой задаются через мощность цепи при номинальном напряжении и частоте.

Кроме того, в библиотеку входят аналогичные трехфазные элементы, а также взаимные индуктивности, различные линии электропередач и трансформаторы, заземление, нейтраль и т.д.

Обратите внимание, что модели в **SimPowerSystems** (P-модели с p- входами и p- выходами) имитируют процессы в электрических цепях и позволяют выполнять моделирование на принципиальном уровне. Они отличаются от S-моделей (с m- входами и с m- выходами) из других библиотек Simulink, в которых входные и выходные величины не имеют физического содержания, а линии соединения переносят некоторый информационный сигнал. С помощью S-блоков создаются модели на функциональном уровне.

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 23) 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.

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

Кроме того, для работы **SimPowerSystems**-модели необходим блок **Powergui**, который размещается в разделе библиотеки **SimPowerSystems** (см. рисунок 20). Блок **Powergui** помещается в модель в любое место и не подключается к другим элементам. Он позволяет задать начальные значения переменных модели, выполнить расчет установившегося режима, осуществить инициализацию схемы, содержащей электрические машины, найти полное сопротивление (импеданс) цепи и т.д.

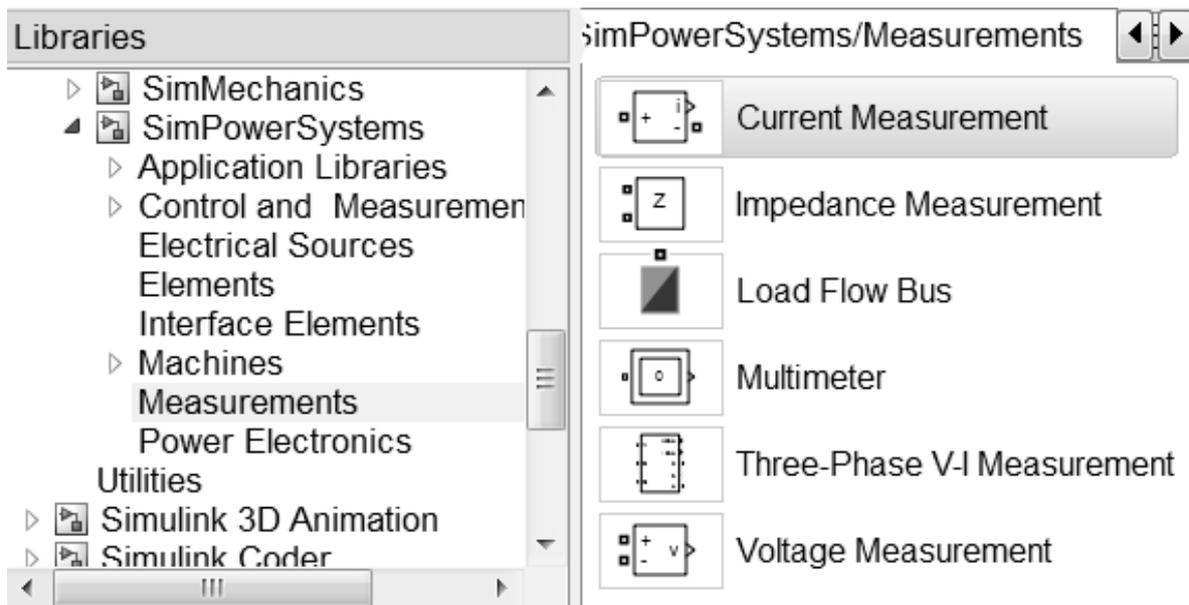


Рисунок 23

8.1 Создать модель одноконтурной RLC-цепи (рисунок 24) с источником синусоидального напряжения **AC Voltage Source**.

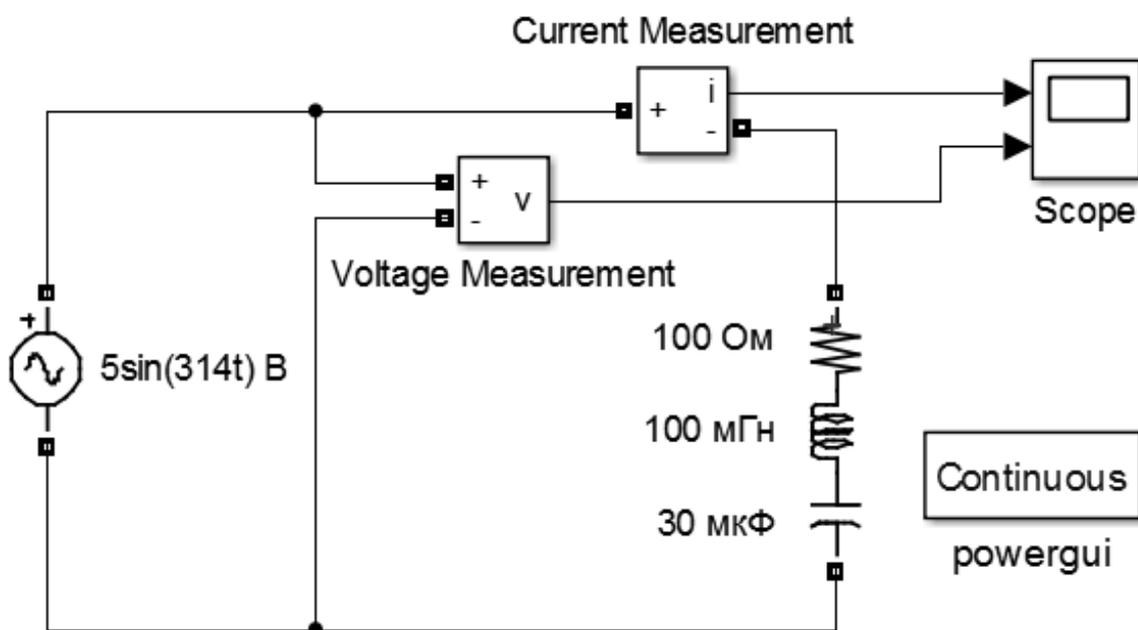


Рисунок 24

В качестве RLC-цепи использовать 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 24, выполнив щелчок ЛКМ по текстовой надписи элемента.

Задать для блоков **AC Voltage Source** и **Series RLC Branch** значения параметров, указанные в соответствующем окне параметров (рисунки 25–26).

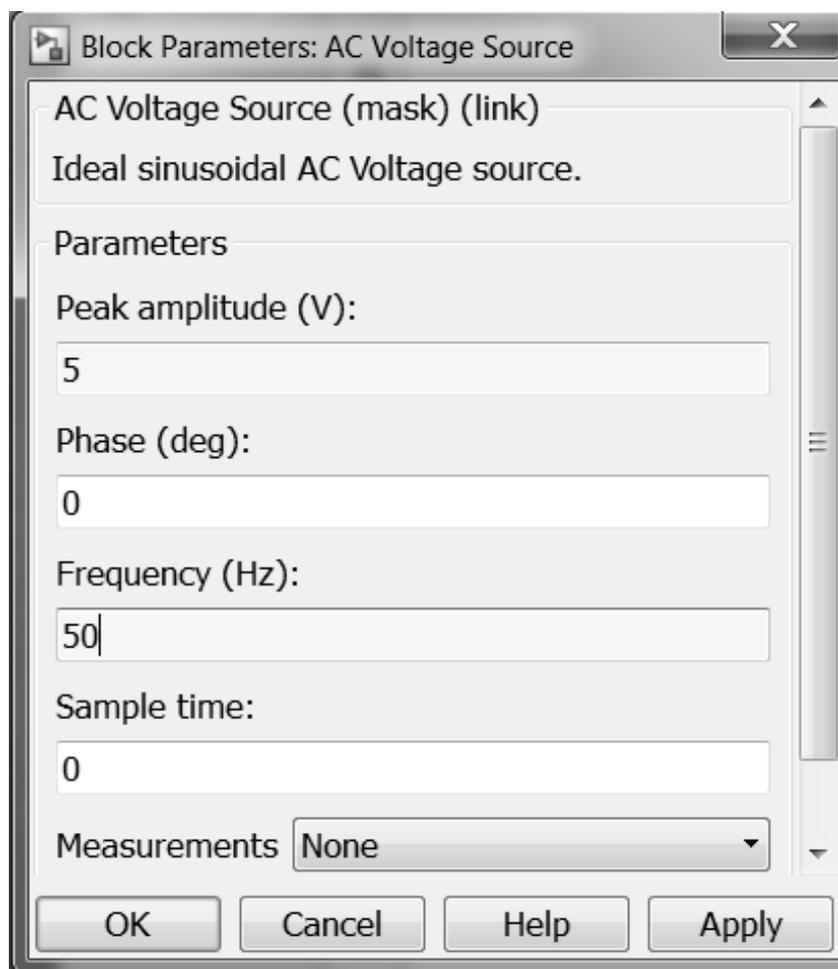


Рисунок 25

Для получения графиков зависимости тока в этой цепи и входного напряжения, а также для измерения сдвига по фазе между входным напряжением и током, используем двухканальный блок **Scope**, на входы которого подаются сигналы с *m*-выходов амперметра и вольтметра: блоки **Current Measurement** и **Voltage Measurement** соответственно.

8.2 Установить требуемые параметры моделирования с помощью команды **Simulation**⇒**Model Configuration Parameters**⇒**Solve**. Задать в области **Simulation time** значения начального времени моделирования (**Start time:**), равное «0» и конечного времени моделирования (**Stop time:**), равное «0.02». Выбрать в области **Solver options** (Параметры расчета) равномерный шаг дискретизации **Fixed step** и тип графика моделируемого процесса **ode1 (Euler)**.

Задать в области **Fixed step size** значение шага дискретизации равным «**0.0001**», что соответствует выбору 200 точек дискретизации.

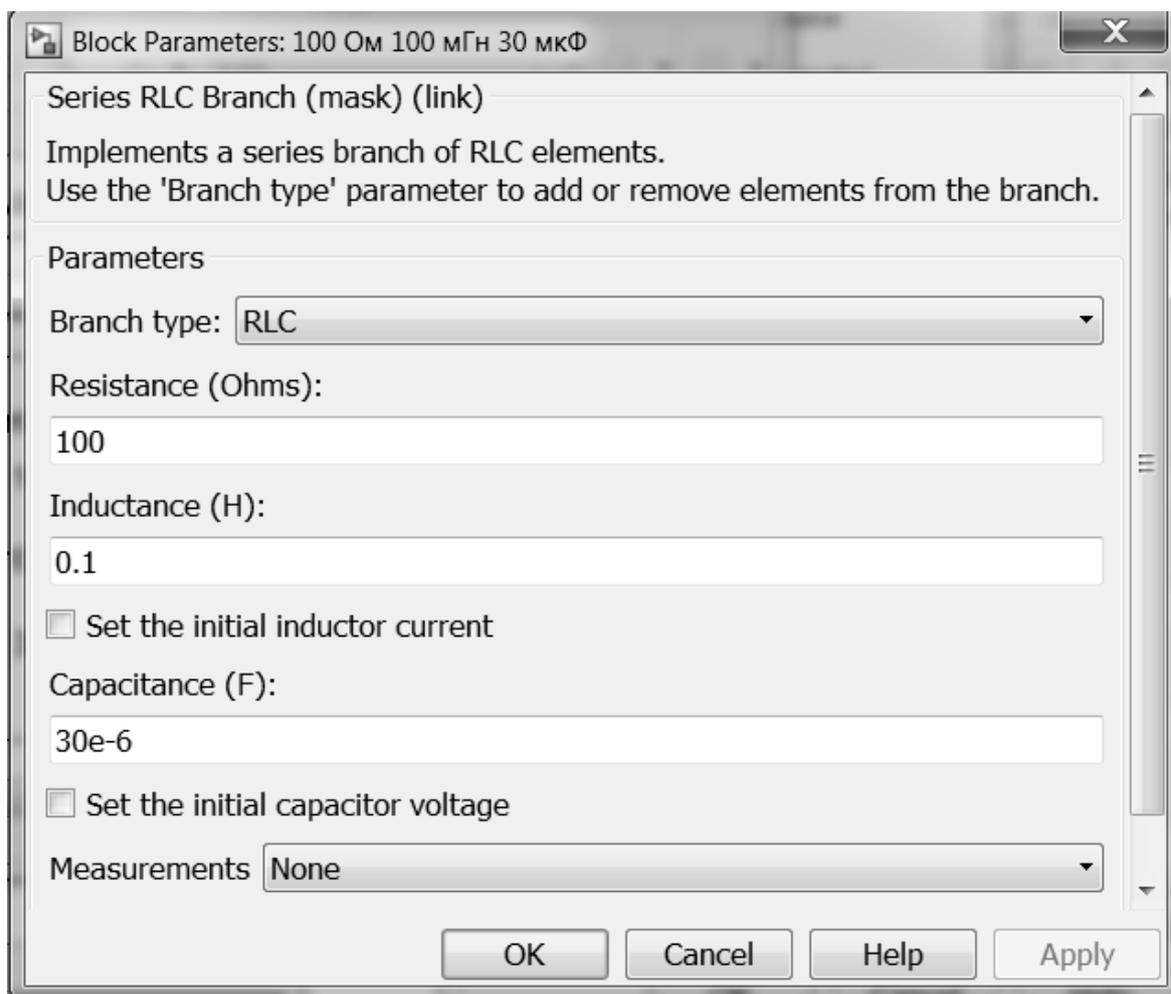


Рисунок 26

8.3 Начать моделирование с помощью команды **Run**, а затем дважды щелкнуть на изображении блока **Scope**. В результате на экране появится новое окно **Scope** с изображениями графиков изменения во времени тока и напряжения.

Установить оптимальный масштаб осей в окне **Scope** и проанализировать полученное в нем изображение (рисунок 27).

Из верхнего графика видно, что амплитудное значение тока в цепи примерно равно 40 мА. Из нижнего графика видно, что амплитудное значение входного напряжения в цепи равно 5 В.

Сдвиг по фазе между напряжением и током равен примерно 35° с минусом, что соответствует резистивно-емкостному характеру сопротивления цепи.

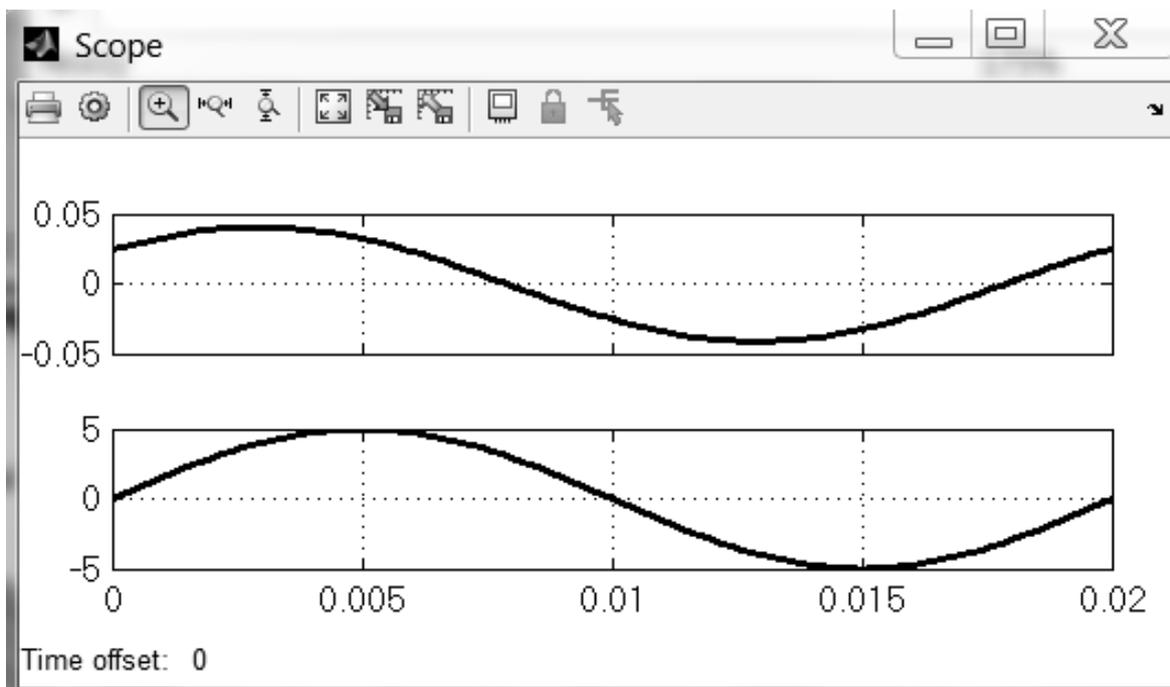


Рисунок 27

Отчет

8.4 Смоделировать схему, приведенную на рисунке 24, установив в ней значения амплитуды и частоты колебаний (в герцах) для источника синусоидального напряжения, равные номеру варианта.

Подобрать параметры моделирования таким образом, чтобы на графике в блоке **Scope** отображался один период колебаний гармонического сигнала. Включить в отчет по лабораторной работе содержимое рабочего окна с моделью и окна параметров входящих в нее блоков. Представить результаты моделирования в обзорном окне блока **Scope** для значения его параметра **Decimation**, равного 1. Провести анализ полученных графиков зависимостей и сделать выводы.

Отчет

8.5 Смоделировать схему, приведенную на рисунке 28, установив в ней значения амплитуды и частоты колебаний (в герцах), равные номеру варианта.

Подобрать параметры моделирования таким образом, чтобы на графиках в блоке **Scope** отображался один периода колебаний.

Блок **Fourier** находится в разделе **Control and Measurements Library** ⇒ **Measurements** библиотеки **SimPowerSystems** (рисунок 29).

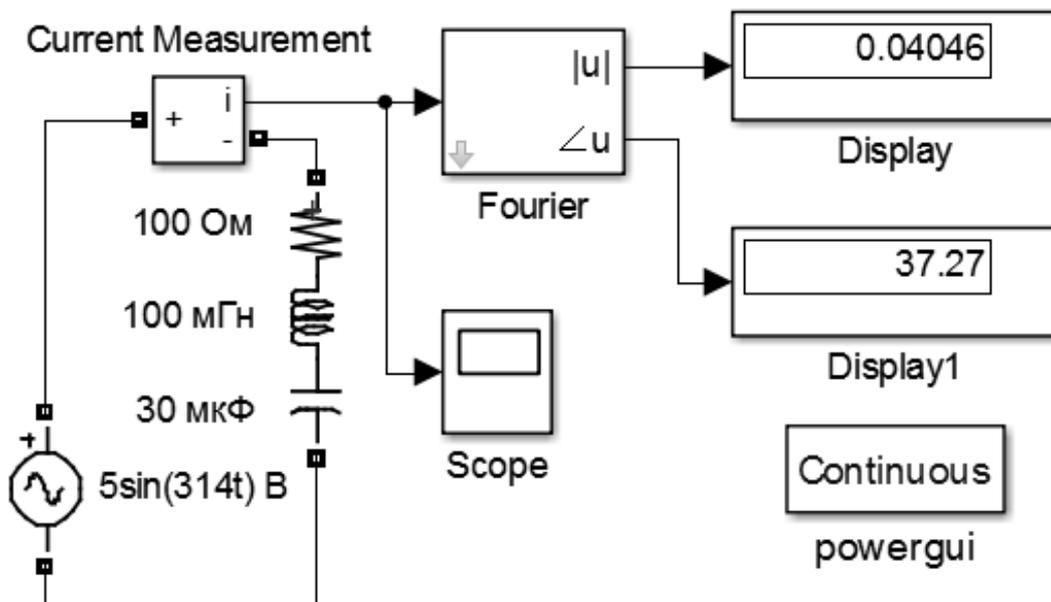


Рисунок 28

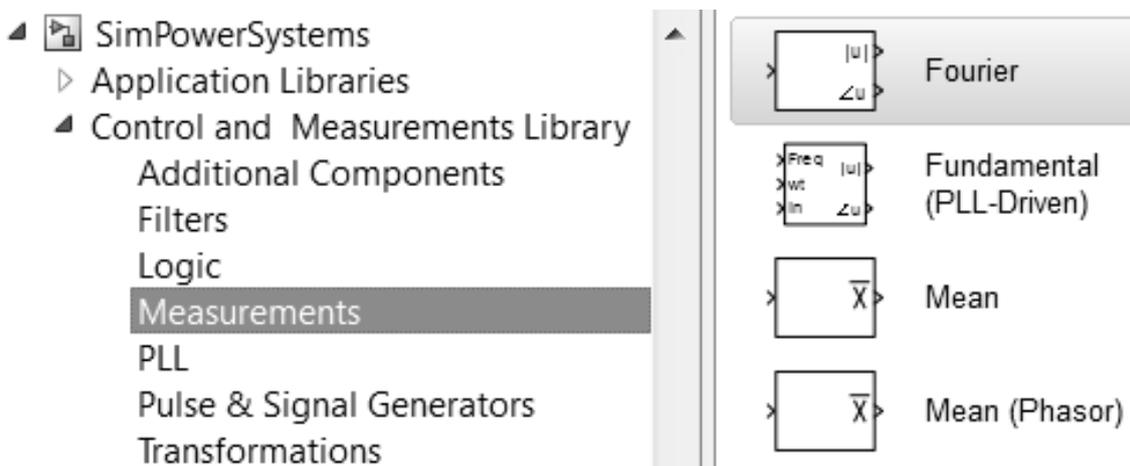


Рисунок 29

Задать в окне свойств блока **Fourier** значение частоты колебаний в герцах (**Fundamental frequency (Hz):**), равное номеру варианта, и номер гармоники (**Harmonic n (0=DC, 1=fundamental):**), равный «1».

Задать в окне свойств блоков **Display** и **Display1** формат вывода «**short**».

Включите в отчет по лабораторной работе содержимое рабочего окна с моделью и результатами моделирования на экране блоков **Display** и **Display1**, окна параметров входящих в модель блоков, а также обзорное окно блока **Scope**. Проведите анализ полученного графика зависимости и показаний блоков **Display** и **Display1**. Сделайте выводы.

Контрольные вопросы

1. Что такое **Simulink Library Browser**?
2. Каким образом строятся блок-схемы в программном модуле **Simulink**?
3. Как в модель добавить новый блок? Как скопировать блок в окне модели?
4. Как соединить блоки между собой?
5. Как сделать, чтобы один и тот же сигнал поступал на несколько блоков?
6. Как удалить блок или связь между блоками?
7. Каким образом можно поворачивать блоки?
8. Какие настройки имеются у обзорного окна **Scope** и блока **Display**?
9. Какие настройки имеются у блоков-источников **Constant**, **Sine Wave**, **Signal Generator** и **Pulse Generator**?
10. Для чего предназначены блоки **Integrator**, **Derivative**, **Gain**, **Sum**, **Abs** и **Mux**?
11. Какие настройки необходимо задать в окне **Configuration Parameters** перед запуском модели?
12. Из каких соображений выбирается время моделирования?
13. Как выбирается значение шага при выборе моделирования с фиксированным шагом?
14. Чему равно максимальное значение шага при выборе моделирования с переменным шагом?
15. Чем отличаются Р-модели из раздела **SimPowerSystems** от обычных S-моделей **Simulink** и каким образом осуществляется связь между ними?
16. Как настраиваются параметры блоков **Series RLC Branch** и **AC Voltage Source** и какие значения они могут принимать?
17. Для чего предназначены блоки из раздела **Measurements**?
18. Каково назначение блока **Powergui**?
19. Какие настройки имеются у блока **Fourier**?