Национальный исследовательский университет «МЭИ»

Кафедра Теоретических Основ Электротехники

Компьютерная лабораторная работа № 5

Моделирование работы цепей синусоидального тока в Simulink

Выполнил:	
Группа:	
Проверил:	

Москва 2017

Лабораторная работа № 5. Моделирование работы цепей синусоидального тока в Simulink

1. Цель работы

Ознакомление с принципами моделирования цепей синусоидального тока при помощи SimElectronics и SimPowerSystems.

2. Теоретическая справка

О значениях периодических ЭДС, напряжений и токов судят по их среднеквадратическим значениям за период. Среднеквадратическое значение (root mean square value или RMS value) рассчитывают через мгновенное значение следующим образом:

$$U = \sqrt{\frac{1}{T}\int_0^T u^2 dt}.$$

Среднеквадратическое значение еще называют действующим значением, поскольку оно пропорционально среднему за период значению мощности в активном сопротивлении. Для синусоидальных величин действующее значение связано с амплитудой (magnitude) следующим соотношением: $U = U_m/\sqrt{2}$. Большая часть приборов, используемых для измерения периодических напряжений и токов, показывает действующее значение.

Активной мощностью P (active power) в электрической цепи при периодических процессах называют среднее значение мощности за период:

$$P = \frac{1}{T}\int_0^T pdt = \frac{1}{T}\int_0^T uidt,$$

где $p=ui$ – мгновенная мощность.

Для синусоидальных токов и напряжений при $u(t) = U_m \sin(\omega t + \varphi_u)$, $i(t) = I_m \sin(\omega t + \varphi_i)$ активная мощность равна

$$P = UIcos(\varphi_u - \varphi_i).$$

Множитель $cos\varphi = cos(\varphi_u - \varphi_i)$ называют коэффициентом мощности. Максимальное приближение коэффициента мощности к единице говорит о наибольшем использовании генерирующих и передающих электрическую энергию устройств. Электрические машины, трансформаторы, линии электропередачи рассчитаны на определенное номинальное напряжение U и ток I. Потребление энергии со сниженным коэффициентом мощности приводит к недоиспользованию мощности этих устройств.

Величину $S = UI$ называют полной мощностью. Она характеризует наибольшую возможную активную мощность, когда $\varphi_u = \varphi_i$. Для удобства вводят в рассмотрение реактивную мощность (reactive power) $Q = UIsin(\varphi_u - \varphi_i)$, которая позволяет определить характер работы электрического устройства – потребителя энергии. Для измерения активной и реактивной мощности имеются специальные измерительные приборы – ваттметры. Так, реактивная мощность применяется для расчета коэффициента мощности. Также понятие реактивной мощности широко используется при расчете электрических сетей и электроэнергетических систем.

Интерактивная среда Simulink предназначена в большей степени для моделирования процессов, изменяющихся во времени. Для цепей синусоидального тока Simulink предоставляет набор соответствующих блоков. Синусоидальные источники тока и ЭДС имеют маркировку «AC» (alternating current – переменный ток). В настройках источников надо указать амплитуду, частоту и начальную фазу тока или напряжения. К выбору элементов добавляются конденсатор (capacitor) и катушка индуктивности (inductor). Инструменты для измерения включают те же измерительные приборы (амперметр, вольтметр, мультиметр). Кроме них есть измерители мощности: в SimPowerSystems это блок Power, в SimElectronics – Power Sensor.

Работа с комплексными числами в Simulink обеспечивается как на базовом уровне (см. библиотеку Math Operations), так и в модулях моделирования электрических цепей. В SimElectronics для перевода токов и напряжений из временного сигнала в комплексные числа можно использовать блок Fourier. В SimPowerSystems мультиметр (Multimeter) выводит результаты расчета сразу в виде комплексных чисел (рис. 1). В таблице 1 приведены названия и обозначения различных величин, операций при работе с комплексными числами.

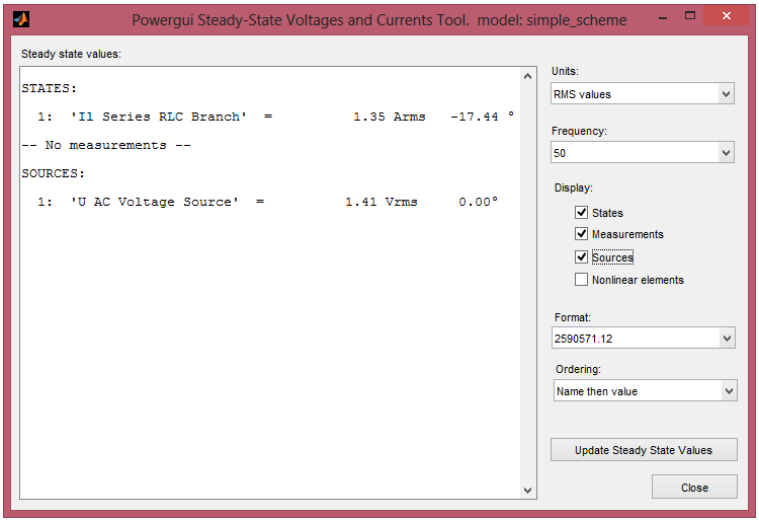


Рис. 1. Измерения мультиметра в цепях синусоидального тока

Таблица 1

Обозначение	**Описание**
Peak value, Peak Amplitude	Амплитуда
RMS value, RMS	Среднеквадратическое (действующее) значение
Freq, Frequency	Частота
Phase (degres), ∠x	Фаза (в градусах)
abs, |x|, magnitude	Абслютное значение (как правило относится к амплитуде)

Схема, набранная в SimPowerSystems показана на рис. 2. Используемые элементы перечислены в таблице 2.

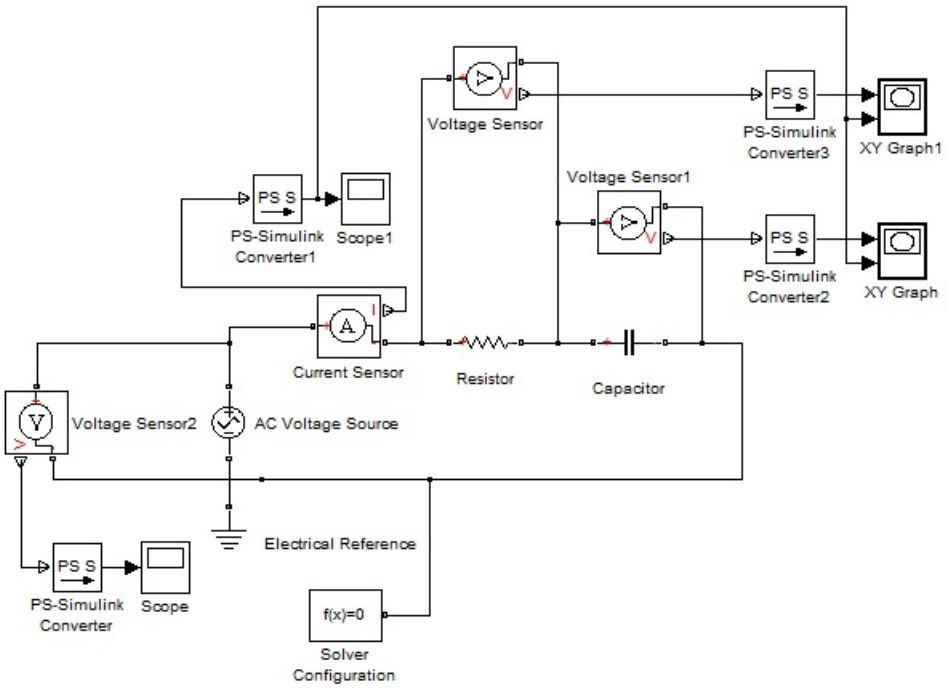
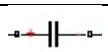
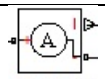
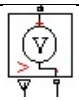


Рис. 2. Схема, набранная в SimElectronics

Таблица 2

Название	Блок	Путь	Описание
Синусоидальная ЭДС		Simscape>>Foundation Library>>Electrical>> Electrical Sources	AC Voltage Source – это переменный идеальный источник напряжения $u(t) = U_m \sin(\omega t + \varphi)$, где U_m – амплитуда напряжения (peak ampliltude), $\omega = 2\pi f$– угловая частота, а $f = 50$ Гц – частота напряжения (frequency), φ – фаза напряжения (phase).
Конденсатор		Simscape>>Foundation Library>>Electrical>> Electrical Elements	Кроме емкости (capacitance) конденсатора можно задать последовательное сопротивление (series resistance) и параллельную проводимость (parallel conductance) для учета реальных характеристик элемента.
Резистор		Simscape>>Foundation Library>>Electrical>> Electrical Elements	Задается сопротивление резистора (resistance)
Заземление		Simscape>>Foundation Library>>Electrical>> Electrical Elements	Electrical Reference обозначает нулевой потенциал (землю).
Амперметр		Simscape>>Foundation Library>>Electrical>> Electrical Sensors	Блок Current Sensor представляет собой идеальный амперметр.
Вольтметр		Simscape>>Foundation Library>>Electrical>> Electrical Sensors	Блок Voltage Sensor представляет собой идеальный амперметр.

Решатель	f(x)=0	Simscape>>Utilities	Блок Solver Configuration определяет параметры для решения модели. Он должен быть подключен к каждой схеме.
Преобразователь физического сигнала	PS S	Simscape>>Utilities	Блок PS-Simulink Converter преобразует физический сигнал с измерительных приборов в схеме в сигнал Simulink. Этот блок используется для связи физического сигнала с блоками Simulink, например с построителями графиков.
Временной график	Scope	Simulink>>Sinks	Блок Scope отображает на графике зависимость данных от времени. Блок открывается двойным нажатием на него.
XY график	XY Graph	Simulink>>Sinks	Блок XY Graph отображает на графике зависимость одной величины от другой. График прорисовывается в процессе имитации. В нем задаются пределы по осям x и y.

Схема, набранная в SimPowerSystems показана на рис. 3. Используемые элементы перечислены в таблице 3.

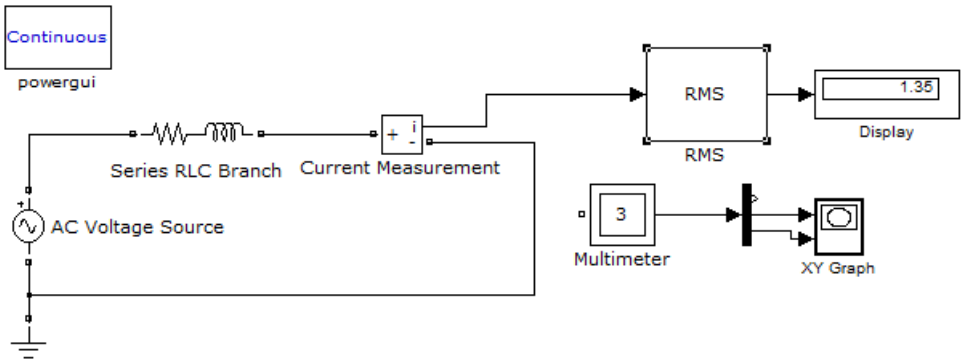
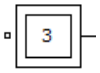
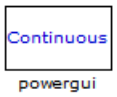
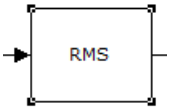
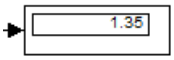


Рис. 3. Схема, набранная в SimPowerSsytems

Таблица 3.

Название	Блок	Путь	Описание
Переменная ЭДС		SimPowerSystems>> Electrical Sources	AC Voltage Source – аналогично таблице 1.
RL-ветвь		SimPowerSystems>> Elements	Блок Series RLC Branch позволяет определить любой набор из R, L и C элементов.
Заземление		SimPowerSystems>> Elements	Ground обозначает нулевой потенциал (землю).
Амперметр		SimPowerSystems>> Measurements	Блок Current Measurement представляет собой идеальный амперметр. Сигналы с измерительных приборов в SimPowerSystems не требуют преобразования (как в SimScape).

Мультиметр		SimPowerSystems>> Measurements	Блок Multimeter измеряет величины токов и напряжений во всех элементах, в которых выбрано измерение в меню Measurements.
Решатель		SimPowerSystems	Блок Powergui определяет параметры для решения модели, позволяет решать задачи электрических цепей различными методами. Он должен быть размещен над каждой моделью.
Действующее значение		SimPowerSystems>> Extra Library>> Measurements	Измерение действующего напряжения для заданной частоты (частота указывается в свойствах блока)
Цифровой дисплей		Simulink>>Sinks	Блок Display отображает одно значение входного сигнала.
XY график		Simulink>>Sinks	См. табл. 1
Разветвитель		Simulink>> Commonly Used Blocks	Блок Demux разъединяет общий сигнал на несколько сигналов. Обратную операцию выполняет блок Mux.

Необязательно ограничиваться элементами, перечисленными в таблицах, исследуйте библиотеки элементов самостоятельно.

Для запуска симуляции в SimElectronics следует выбрать время расчета в панели инструментов сверху в окошке, где по умолчанию указано 10.0 с (рис. 4). Для запуска симуляции в SimPowerSystems следует выбрать расчет Steady-State (расчет установившегося режима) в решателе powergui.

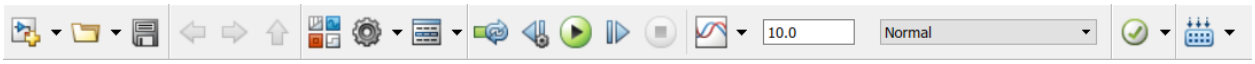


Рис. 4. Панель инструментов

3. Вопросы для самопроверки

1. Каким образом происходит набор схемы в Simulink?
2. Как вычисляется действующее значение переменного тока (напряжения)? Выведите его для синусоидального сигнала?
3. Что такое активная и реактивная мощность?
4. Что характеризует коэффициент мощности?

4. Подготовка к работе

Для схемы (таблица 4) проведите расчет цепи вручную. Определите величины, которые вы будете моделировать в расчетном задании (ток и напряжение на участке с индуктивностью L_1, мощности источников, коэффициент мощности приемников). Параметры элементов приведены в таблицах 5 и 6. Параметры источников следующие:

$$e(t) = 220 \cdot \sin(\omega t + 30°),$$

$$j(t) = 2 \cdot \sin(\omega t - 45°),\ \omega = 2\pi f,\ f = 50\text{Гц}.$$

Таблица 4

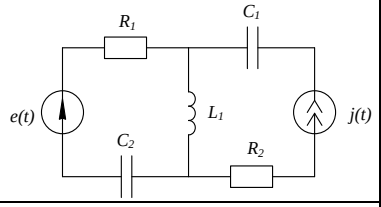
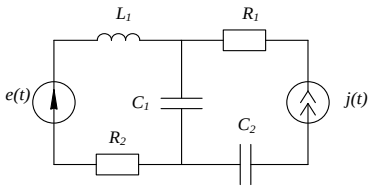
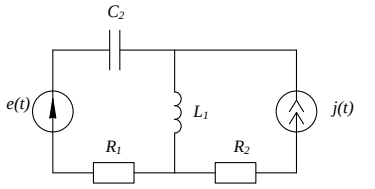
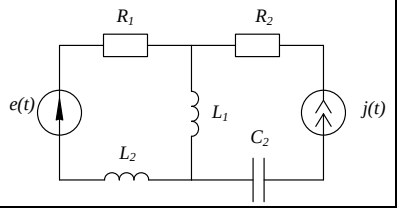
Номер бригады (номер компьютера)	Схема	Номер бригады (номер компьютера)	Схема
1, 5, 9, … 4n+1		2, 6, 10, … 4n+2	
3, 7, 11, … 4n+3		4, 8, 12, … 4n	

Таблица 5

Номер группы	1, 6, 11, 16	2, 7, 12, 17	3, 8, 13, 18	4, 9, 14	5, 10, 15
R_1, Ом	50	75	100	125	150
C_1, мкФ	100	110	120	130	140
L_1, Гн	0,3	0,4	0,5	0,4	0,3

Таблица 6

Номер бригады (номер компьютера)	1, 7, 13, 19	2, 8, 14, 20	3, 9, 15, 21	4, 10, 16, 22	5, 11, 17	6, 12, 18
R_2, Ом	160	140	120	100	80	60
C_2, мкФ	50	75	100	125	150	175
L_2, Гн	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8

5. Рабочее задание

1. Проведите расчет цепи в обоих модулях и SimScape, и SimPowerSystems, взяв для моделирования интервал времени, равный трем периодам.
2. Постройте зависимость от времени тока и напряжения на участке с индуктивностью L_1. Определите их действующее значение, амплитуду и начальную фазу. Создайте график зависимости тока от напряжения на участке с индуктивностью L_1.
3. Проведите вычисления значения тока и напряжения в комплексной форме, взяв соответствующие блоки в библиотеке Simulink>>Math Operations.
4. Исследуйте возможность поиска по библиотекам. Определите активную и реактивную мощность, выдаваемую источниками. Проведите расчет коэффициента мощности приемников энергии. Зная, что в цепи выполняется баланс мощностей, можно сократить число измерительных приборов, установив их только на источники.

6. Вопросы к защите

1. Объясните форму вольтамперной характеристики катушки индуктивности. В чем ее отличие от вольтамперной характеристики конденсатора?

2. Какие ошибки возникали при сборке схемы и почему?
3. Каким образом обеспечивается взаимосвязь между физической моделью электрической цепи и блоками вычисления Simulink. Какие дополнительные расчеты можно проводить в Simulink?
4. Перечислите возможности Simulink.