Национальный исследовательский университет «МЭИ»





Кафедра Теоретических Основ Электротехники

**Компьютерная лабораторная работа № 3**

 **Моделирование цепей синусоидального тока в Simulink**

|  |  |
| --- | --- |
| Выполнил: |  |
| Группа: |  |
| Проверил: |  |

Москва 2018

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

**1. Цель работы**

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

**2. Теоретическая справка**

Одной из основных величин, характеризующих периодические ЭДС, напряжения и токи, является действующее значение. В ТОЭ действующее значение периодического тока определяет активные потери, то есть необратимое преобразование электромагнитной энергии в другие виды энергии (тепло). Большая часть приборов, используемых для измерения периодических напряжений и токов, показывает действующее значение. Действующее значение определяется как среднеквадратическое значение за период (root mean square value или RMS value), например, для периодического напряжения:

.

Для синусоидальных напряжений и токов действующее значение связано с амплитудой (magnitude) следующим соотношением: , . Электрические машины, трансформаторы, линии электропередачи рассчитаны на определенное номинальное напряжение *U* и ток *I*.

Активной мощностью *P* (active power) в электрических цепях при периодических процессах называют среднее значение мгновенной мощности за период:

где – мгновенная мощность.

Для синусоидальных токов и напряжений , активная мощность равна

Множитель называют коэффициентом мощности. Максимальное приближение коэффициента мощности к единице говорит о наибольшем использовании генерирующих и передающих электрическую энергию устройств. Потребление энергии со сниженным коэффициентом мощности приводит к недоиспользованию мощности этих устройств.

Величину называют полной мощностью. Она характеризует наибольшую возможную активную мощность, когда . Для учета процессов, не связанных с необратимым преобразованием энергии, вводят в рассмотрение реактивную мощность (reactive power) , которая позволяет определить характер работы электрического устройства. В цепях переменного тока индуктивный элемент (идеальная катушка) учитывает процессы, связанные с обратимым накоплением магнитной энергии, емкостной элемент (идеальный конденсатор) - процессы, связанные с обратимым накоплением электрической энергии. В моделях реальных элементов необходимо учитывать свойства и параметры, отражающие процессы, обусловленные физическими процессами необратимого рассеяния энергии (активные потери, активное сопротивление *R*) и обратимого накопления энергии, связанной с магнитным и электрическим полями (реактивные потери, индуктивность *L* и емкость *C*).

Для измерения активной мощности имеются специальные измерительные приборы – ваттметры. Реактивная мощность применяется для расчета коэффициента мощности реальных устройств и при расчете электрических сетей и электроэнергетических систем.

Интерактивная среда Simulink предназначена в большей степени для моделирования процессов, изменяющихся во времени, в том числе по периодическому закону. Для цепей синусоидального тока Simulink предоставляет набор соответствующих блоков. Синусоидальные источники тока и напряжения (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 индуктивная катушка (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 амплитуды 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 |
| Freq, Frequency | Частота |
| Phase (degres), ∠φ | Фаза (в градусах) |
| RMS value, RMS | Среднеквадратическое (действующее) значение |
| abs, |x|, magnitude | Абсолютное значение (как правило относится к амплитуде) |

Схема для моделирования процессов при действии синусоидальных ЭДС, набранная в SimPowerSystems показана на рис. 2. Используемые элементы перечислены в таблице 2.

Обратите внимание, что все блоки должны быть синхронизированы по частоте (**по умолчанию** ).



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 ,где – амплитуда напряжения (peak ampliltude), – угловая частота, а – частота напряжения (frequency), – начальная 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 конденсатора. Емкостной элемент задается только параметром *C*. |
| Резистор |  | Simscape>>Foundation Library>>Electrical>>Electrical Elements | Задается сопротивление резистора (resistance) *R*. |
| 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 |  | Simscape>>Utilities | Блок Solver Configuration определяет параметры для решения модели. Он должен быть подключен к каждой схеме. |
| Преобразователь физического сигнала |  | 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 |  | Simulink>> Scope | Блок Scope отображает на графике зависимость данных от времени (графики мгновенные значений). Блок открывается двойным нажатием на него. |
| XY график |  | 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. |

Схема для моделирования может содержать другие элементы, 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. Какие дополнительные элементы необходимо использовать при моделировании процессов в цепях синусоидального тока? Как задать параметры этих элементов?
3. Как вычисляется действующее значение переменного тока (напряжения)? Какие блоки используются для измерения действующих значений токов и напряжений?
4. Как определить комплексные амплитуды напряжения и тока в Simulink? Как определить комплексное сопротивление участка, входное комплексное сопротивление цепи?
5. Что такое активная и реактивная мощность? Что характеризует коэффициент мощности?
6. Как измерить мощности в Simulink? Как определить коэффициент мощности источника, приемника в Simulink?
7. С помощью каких блоков можно построить графики мгновенных значений токов и напряжений?

**4. Подготовка к работе**

Для схемы (таблица 4) проведите расчет токов, напряжений, мощности источников цепи вручную. Проверьте выполнение баланса активной и реактивной мощности. Определите величины, которые вы будете моделировать в расчетном задании (например, 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:

,

*,*

, .

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 |
| *С*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 |
| *С*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 SimScape и SimPowerSystems, взяв для моделирования интервал времени, равный трем (пяти) периодам. Сравните с результатом моделирования, выбрав для моделирования стандартные 10.0 с.
2. Сравните результаты моделирования с результатами ручного расчета.
3. Постройте графики мгновенных значений тока и напряжения на выбранном участке (например, с индуктивностью *L*1). Определите действующее значение, амплитуду и начальную фазу синусоидальных напряжения и тока на этом участке. Создайте графики зависимости тока от напряжения на этом участке.
4. Проведите вычисления значения тока и напряжения в комплексной форме, взяв соответствующие блоки в библиотеке Simulink>>Math Operations. Определите комплексное сопротивление выбранного участка.
5. Исследуйте возможность поиска по библиотекам. Определите активную и реактивную мощность источников, всей цепи. Сравните с результатами ручного расчета. Проведите расчет коэффициента мощности источников энергии.

**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.