РАЗДЕЛ XVI. ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

Зубарев А.В., Кондаков А.В., Шатунов А.Н.

Компьютерное моделирование как инструмент обучения в дистанционном формате на примере расчета трехфазной цепи

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет
«ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)
(Россия, Санкт-Петербург)

doi: 10.18411/lj-09-2020-57

idsp: ljjournal-09-2020-57

Аннотация

В статье рассматривается проблема дистанционного обучения техническим наукам в рамках дисциплины теоретические основы электротехники. Приводятся примеры моделирования электрических схем в популярных программах моделирования цепей: NI Multisim, Ltspice, Qucs. По ряду критериев анализируется адекватность использования программных продуктов в дистанционном учебном процессе.

Ключевые слова: дистанционное обучение, компьютерное моделирование, свободное ПО, анализ электрических цепей.

Abstract

The article deals with the problem of distance learning in technical Sciences in the framework of the discipline theoretical foundations of electrical engineering. Examples of modeling electrical circuits in popular circuit modeling programs are given: NI Multisim, Ltspice, and Qucs. The adequacy of using software products in the distance learning process is analyzed by a number of criteria.

Keywords: distance learning, computer modeling, free software, analysis of electrical circuits.

На текущий момент в образовательной сфере всё больше находят свое применение дистанционные формы передачи знаний и большинство из них связаны с применением домашних компьютеров. Ряд дисциплин, например гуманитарной или экономической направленности, хорошо переносятся на дистанционный формат, но также имеется обширный ряд дисциплин, где переход на дистанционный режим затруднен.

В работе рассматривается применение компьютерных программ, предназначенных для моделирования электрических цепей, при выполнении лабораторных работ в дистанционном формате в рамках дисциплины теоретические основы электротехники.

Проводится моделирование работы трехфазной цепи в различных программных средах. Сравниваются между собой программы NI Multisim v. 14.1, LTspice XVII, Qucs v. 0.0.18 [1-3]. Рассматривается доступность программного продукта, сложность «вхождения», соответствие оптимальному применению в рамках курса лабораторных работ по электротехнике на примере трехфазной цепи.

В рамках курса теоретические основы электротехники проводится ряд лабораторных работ. Ниже будет рассмотрена часть лабораторной работы № 10 учебного пособия «Основы теории цепей: лабораторный практикум по теоретической электротехнике» [4]. Лабораторная работа направлена на опытную проверку соотношений, связывающих напряжения и токи трехфазных цепей в установившемся синусоидальном режиме при соединении приёмников звездой и треугольником.

Общие сведения по трехфазным цепям

Трехфазная цепь представляет собой совокупность трехфазного источника (трехфазный генератор напряжений), линии электропередач и трехфазной нагрузки, соединенной звездой или треугольником.

Трехфазный генератор – это система, состоящая из трех одинаковых частей, которые называются фазами, токи и напряжения которых обладают определенной симметрией в отношении частоты, амплитуды и начальной фазы.

Если задаться прямым порядком следования фаз симметричного трехфазного источника, то можно записать мгновенные значения его фазных напряжений в следующем виде [5]:

$$u_{AO}(t) = U_{\Phi}\sqrt{2} \cdot \cos(\omega \cdot t + \alpha_{U_{AO}});$$

$$u_{BO}(t) = U_{\Phi}\sqrt{2} \cdot \cos(\omega \cdot t + \alpha_{U_{BO}}) = U_{\Phi}\sqrt{2} \cdot \cos(\omega \cdot t + \alpha_{U_{AO}} - 120^{\circ});$$

$$u_{CO}(t) = U_{\Phi}\sqrt{2} \cdot \cos(\omega \cdot t + \alpha_{U_{CO}}) = U_{\Phi}\sqrt{2} \cdot \cos(\omega \cdot t + \alpha_{U_{AO}} - 240^{\circ}).$$

Действующее значение синусоидального напряжения в корень из двух раз меньше амплитудного. Если положить фазное напряжение равным $U_{\Phi} = 220\text{В}$, а начальную фазу $\alpha_{U_{AO}} = 90^{\circ}$, то окончательно получим:

$$u_{AO}(t) = 220\sqrt{2} \cdot \cos(\omega \cdot t + 90^{\circ});$$

$$u_{BO}(t) = 220\sqrt{2} \cdot \cos(\omega \cdot t - 30^{\circ});$$

$$u_{CO}(t) = 220\sqrt{2} \cdot \cos(\omega \cdot t - 150^{\circ}).$$

Задача моделирования состоит в том, чтобы проконтролировать соотношение между фазным и линейным напряжениями генератора; токи, протекающие через нагрузку; графическое отображение мгновенных значений токов и напряжений трехфазной цепи.

Применение ПО NI Multisim для расчета и моделирования трехфазной цепи

Пусть симметричная трехфазная цепь представляет собой соединение трехфазного генератора напряжений $V_1 - V_3$ и симметричной резистивной нагрузки, соединенной звездой без нулевого провода (рисунки 1).

На представленной схеме цепи измерительные приборы (мультиметры U1 и U2) измеряют действующее значение фазного и линейного напряжений трехфазного источника.

Для подключения симметричной нагрузки к трехфазному генератору в цепи установлены коммутаторы Key S1, Key S2, Key S3. Сопротивление нагрузки задано $R_1 = R_2 = R_3 = 220\Omega$.

Рисунок 1 – Симметричная трехфазная цепь

В симметричной трехфазной цепи справедливо соотношение между фазным и линейным напряжениями:

$$U_L = \sqrt{3} \cdot U_\Phi = \sqrt{3} \cdot 220\text{В} \approx 381\text{В}.$$

Для графического отображения временных зависимостей к цепи подключен четырехканальный осциллограф XSC1. На рисунке 2 можно наблюдать временную зависимость мгновенных значений напряжений фаз трехфазного источника.

Рисунок 2 – Система фазных напряжений симметричного генератора

Чтобы измерить фазные токи, протекающие через нагрузку (рисунок 3), в каждую ветвь установлены измерительные приборы (мультиметры A1, A2, A3).

Рисунок 3 – Трехфазная цепь с подключенной симметричной нагрузкой

Для нагрузки, соединенной звездой, справедливо следующее соотношение между фазным током нагрузки и линейным током:

$$I_L = I_\Phi$$

Если нагрузка является симметричной, то тогда для трехфазной цепи справедлив так называемый «независимый режим работы фаз». В этом случае к каждой фазе приложено свое фазное напряжение трехфазного источника. Тогда контроль показаний амперметров производится простым расчётом тока каждой фазы исходя из закона Ома:

$$I_L = I_\Phi = \frac{U_\Phi}{Z_\Phi} = \frac{220\text{В}}{220\text{Ом}} = 10\text{А}.$$

Применение ПО LTspice для расчета и моделирования трехфазной цепи

Интерфейс программы LTspice проще, чем у ПО NI Multisim. Здесь отсутствуют модели виртуальных приборов, а все результаты выводятся в виде временных диаграмм. После составления схемы производится её моделирование путём выбора вкладки «Simulate» и далее выбора команды «Run». По окончании симуляции, в дополнение к окну со схемой, появится окно графика, где можно отобразить временные зависимости напряжений и токов. При наведении «мышки» на цепь появляется символ измерительного «щупа». После нажатия на желаемый участок цепи программа построит требуемый график.

На рисунке 4 приведена схема рассматриваемой трехфазной цепи с симметричной резистивной нагрузкой, выполненная в программе LTspice. На схеме буквами А, В, С обозначены метки выводов, на которых контролируется напряжение фаз.

Рисунок 4 – Симметричная трехфазная цепь

На рисунках 5 и 6 приведены временные диаграммы фазных напряжений источника и токов через нагрузку, соответственно.

Рисунок 5 – Мгновенные значения фазных напряжений симметричного генератора

Рисунок 6 – Мгновенные значения токов через нагрузку

При необходимости также можно вывести временную диаграмму системы линейных напряжений генератора. Для этого нужно будет прописать вывод графиков как уравнение, составленное из уже имеющихся временных диаграмм. Например, разность фазных напряжений $V(a) - V(b)$ позволит получить временную диаграмму линейного напряжения $U_{AB}(t)$.

Применение ПО Qucs для расчета и моделирования трехфазной цепи

В данном ПО есть приборы измерения (рисунок 7), но они отражают мгновенные значения функций. Одна из особенностей моделирования состоит в том, что отсутствует возможность отдельно рассчитать вынужденный режим в цепи. Если речь идёт о синусоидальном режиме, то для вывода результатов моделирования нужно использовать модуль расчёта переходных процессов [6]. Так как в рассматриваемом примере нагрузка чисто резистивная, переходный процесс отсутствует, а результат соответствует в вынужденному режиму.

Рисунок 7 – Симметричная трехфазная цепь

На рисунках 8 и 9 приводятся способы отображения информации, токи в линиях передач и напряжение на нагрузке фазы А. Вместе с графиком выводится таблица, которая позволяет найти точное значение функции в заданный момент времени.

Рисунок 8 – Мгновенные значения токов через нагрузку

Рисунок 9 – Мгновенное значение напряжения фазы А

В статье были рассмотрены только некоторые программные продукты, позволяющие моделировать электрические цепи и получать результаты, соответствующие теории цепей. Также проведен сравнительный анализ данных программ, результаты которого представлены в таблице 1.

Таблица 1

Сравнение программ

Критерий	NI Multisim 14.1	LTspice XVII	Qucs 0.0.18
Сложность «вхождения»	Средняя	Средняя	Низкая
Лицензия	Проприетарная	Бесплатная программа	Бесплатная программа
Соответствие курсу ТОЭ	Соответствует	Соответствует	Соответствует
Требования к мощности ПК	Высокие	Низкие	Низкие

Можно сказать, что программное обеспечение NI Multisim – довольно мощное средство моделирования и проектирования различных электрических схем. Программа сложна в самостоятельном изучении, имеет большое количество функций, не используемых в учебном процессе. NI Multisim распространяется по платной лицензии и имеет высокую цену.

Программа LTspice распространяется по свободной лицензии, легко устанавливается на системы Windows и Linux, имеет малый объём и хорошо подходит для моделирования работ различных интегральных схем.

Программа Qucs, также распространяется по свободной лицензии, легко устанавливается на Windows и Linux. Qucs проста в освоении и хорошо подходит для освоения дисциплины «основы электротехники».

1. NI official site. – Режим доступа: <https://www.ni.com/>, свободный. – Загл. с экрана.
2. Analog devices official site. – Режим доступа: <https://www.analog.com/>, свободный. – Загл. с экрана.
3. Quite universal circuit simulator official site. – Режим доступа: <http://qucs.sourceforge.net/>, свободный. – Загл. с экрана.
4. Основы теории цепей: лабораторный практикум по теоретической электротехнике / А.П. Барков и др. под ред. Ю.А. Бычкова, Е.Б. Соловьевой, Э.П. Чернышева. – СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2017. – 99 с.
5. Основы теоретической электротехники: Учебное пособие / Ю.А. Бычков и др. – СПб.: Издательство «Лань», 2008. – 592 с.
6. Моделирование электрических цепей в рамках дисциплины теоретические основы электротехники в свободном программном продукте Qucs / Шатунов А.Н., Зубарев А.В. // Тенденции развития науки и образования. – Самара: Изд. НИЦ «Л-Журнал», №55, ч.1., октябрь 2019. – С. 39-45.