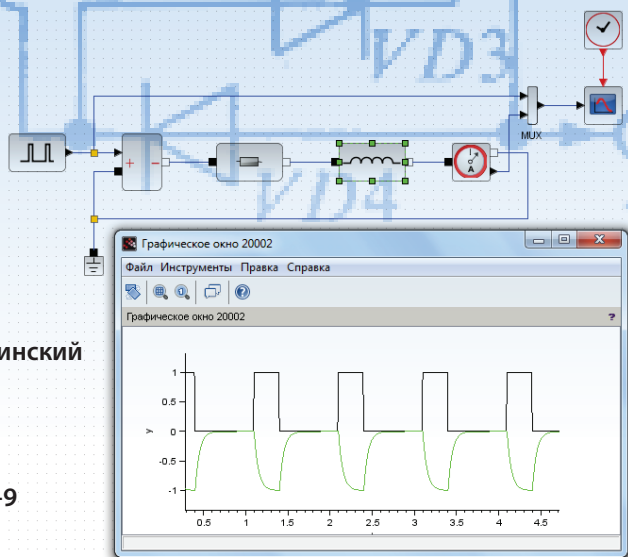


Министерство образования и науки Российской Федерации
Тольяттинский государственный университет
Институт энергетики и электротехники
Кафедра «Промышленная электроника»

Е.С. Глибин

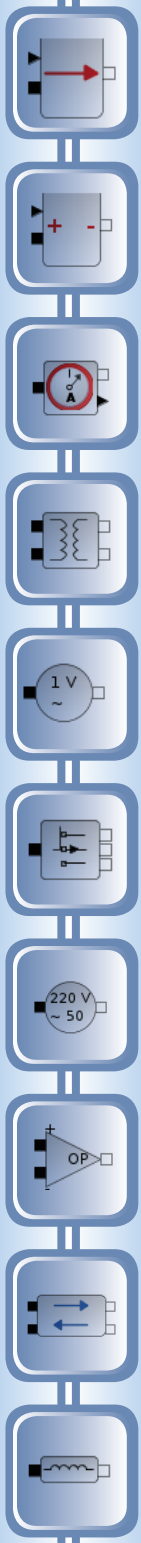
МОДЕЛИРОВАНИЕ ИСТОЧНИКОВ ПИТАНИЯ ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ УСТАНОВОК В SCILAB XCOS

Лабораторный практикум



© ФГБОУ ВО «Тольяттинский
государственный
университет», 2016

ISBN 978-5-8259-0963-9



УДК 621.311.6(075.8)

ББК 32.85я73

Рецензенты:

д-р пед. наук, канд. техн. наук, профессор кафедры
Поволжского государственного университета сервиса *Н.П. Бахарев*;
канд. техн. наук, доцент кафедры «Промышленная электроника»
Тольяттинского государственного университета,
доцент *М.В. Позднов*.

Глибин, Е.С. Моделирование источников питания электротехнологических установок в Scilab Xcos : лабораторный практикум / Е.С. Глибин. – Тольятти : Изд-во ТГУ, 2016. – 1 оптический диск.

Лабораторный практикум содержит задания по компьютерному моделированию электротехнологических установок и описание использования пакета Scilab Xcos для разработки и эксплуатации имитационных моделей электрических схем как с помощью встроенных стандартных блоков, так и с применением модуля Coselica Toolbox.

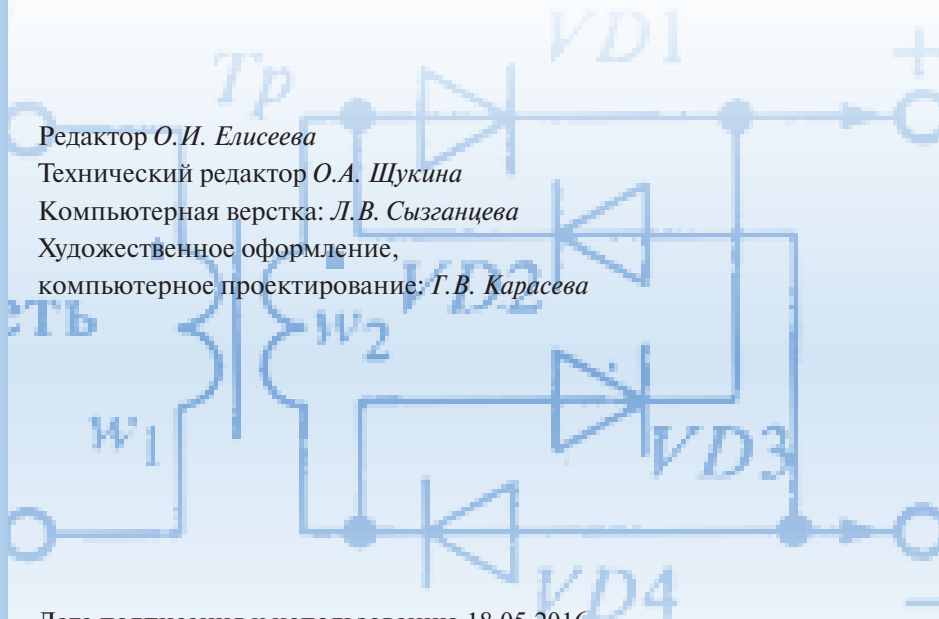
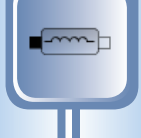
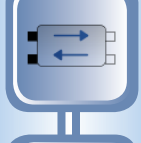
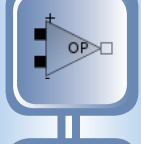
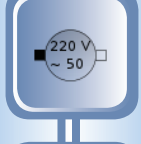
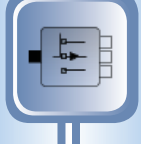
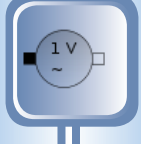
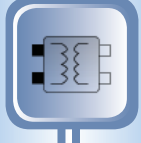
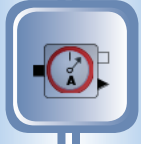
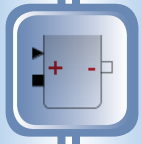
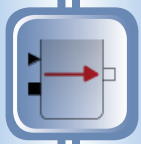
Предназначен для студентов вузов, обучающихся по направлению подготовки бакалавров 11.03.04 «Электроника и нанoeлектроника», и может быть использован при изучении дисциплины «Электротехнологические установки и их источники питания».

Текстовое электронное издание.

Рекомендовано к изданию научно-методическим советом Тольяттинского государственного университета.

Минимальные системные требования: IBM PC-совместимый компьютер: Windows XP/Vista/7/8; ПИИ 500 МГц или эквивалент; 128 Мб ОЗУ; SVGA; Adobe Acrobat Reader.

© ФГБОУ ВО «Тольяттинский
государственный университет», 2016



Редактор *О.И. Елисеева*
Технический редактор *О.А. Щукина*
Компьютерная верстка: *Л.В. Сызганцева*
Художественное оформление,
компьютерное проектирование: *Г.В. Карасева*

Дата подписания к использованию 18.05.2016.
Объем издания 2,4 Мб.
Комплектация издания: компакт-диск, первичная упаковка.
Заказ № 1-34-15.

Издательство Тольяттинского государственного университета
445020, г. Тольятти, ул. Белорусская, 14,
тел. 8 (8482) 53-91-47, www.tltsu.ru

Содержание

Введение	5
Лабораторная работа 1. Основы моделирования электрических схем в Scilab Xcos	8
Лабораторная работа 2. Моделирование электронных схем на базе тиристорov в Xcos	26
Лабораторная работа 3. Моделирование управляемого выпрямителя	35
Лабораторная работа 4. Моделирование схем преобразователей с перезарядом конденсатора током нагрузки	43
Заключение	47
Библиографический список	48

ВВЕДЕНИЕ

Современные электротехнологические установки являются сложными устройствами, которые содержат в своем составе как компоненты силовой электроники, так зачастую и микропроцессорную систему управления. Они состоят из большого количества модулей и узлов, которые находятся в непрерывном взаимодействии.

Целью изучения дисциплины «Электротехнологические установки и их источники питания» является формирование у студентов профессиональных компетенций (ПК-1, ПК-3, ПК-5, ПК-9, ПК-10, ПК-33, ПК-35, ПК-36), определенных ФГОС ВО и необходимых для разработки и эксплуатации электротехнологических установок и их источников питания для последующего использования в профессиональной деятельности.

В ходе изучения дисциплины решаются следующие задачи:

- 1) развить у студентов навыки работы с программными пакетами имитационного моделирования для компьютерного моделирования физических процессов в электротехнологическом оборудовании;
- 2) научить разрабатывать алгоритмы работы систем управления полупроводниковыми источниками питания современных промышленных электротехнологических установок;
- 3) выработать умение анализировать результаты имитационного моделирования оборудования, применяемого в основных областях электротехнологии, протекающие в нем физические процессы.

В результате изучения дисциплины приобретаются

– **знания:**

- основных источников научно-технической информации по электротехнологическим процессам и электротехнологическому оборудованию;
- схемотехники источников питания промышленных электротехнологических установок основных видов, путей улучшения их энергетических показателей;
- материалов, применяемых в конструкциях электротехнологических установок;
- мер охраны труда и экологической безопасности при работе электротехнологических установок;

– **умения:**

- осуществлять поиск научно-технической информации и анализировать ее, выбирать необходимые информационные материалы;
- выбирать виды электротехнологических установок для осуществления различных технологических процессов в машиностроении, металлургии и других отраслях промышленности, а также в сельском хозяйстве и бытовом обслуживании населения, исходя из технологических, экономических, энергетических и экологических показателей;
- формулировать требования к составу и характеристикам оборудования систем электроснабжения электротехнологических установок;

– **навыки:**

- дискуссии по профессиональной тематике, владения терминологией в области электротехнологий;
- использования прикладных программ для решения конкретной задачи;

– **компетенции:**

- способность представлять адекватную современному уровню знаний научную картину мира на основе знания основных положений, законов и методов естественных наук и математики (ПК-1);
- готовность учитывать современные тенденции развития электроники, измерительной и вычислительной техники, информационных технологий в своей профессиональной деятельности (ПК-3);
- способность владеть основными приемами обработки и представления экспериментальных данных (ПК-5);
- способность осуществлять сбор и анализ исходных данных для расчета и проектирования электронных приборов, схем и устройств различного функционального назначения (ПК-9);
- готовность выполнять расчет и проектирование электронных приборов, схем и устройств различного функционального назначения в соответствии с техническим заданием с использованием средств автоматизации проектирования (ПК-10);
- способность владеть современными методами расчета и проектирования электронных приборов и устройств, способность к восприятию, разработке и критической оценке новых способов их проектирования (ПК-33);

- способность идентифицировать новые области исследований, новые проблемы в сфере физики, проектирования, технологии изготовления и применения электронных приборов и устройств (ПК-35);
- способность разрабатывать модели исследуемых процессов, материалов, элементов, приборов и устройств электронной техники (ПК-36).

Лабораторная работа 1

ОСНОВЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СХЕМ В SCILAB XCOS

Цель работы

Цель работы заключается в приобретении умения работать с программой визуального моделирования Xcos, навыков составления и использования имитационных моделей.

Программа работы

1. Изучить теоретический материал по теме, используя теоретические сведения данного практикума, а также литературу и электронные ресурсы [4, 6, 7].
2. Скачать и установить пакет Scilab.
3. Отладить четыре модели Xcos, представленные в теоретических сведениях к данной работе (рис. 1.8, 1.13, 1.14, 1.15).
4. Установить и интегрировать с Scilab компилятор C++, необходимый для работы электрических блоков.
5. Разработать компьютерную модель однофазного неуправляемого выпрямителя по принципиальной схеме предложенного варианта задания.
6. Исследовать работу модели в двух режимах: без выходного фильтра и с емкостным фильтром на выходе выпрямителя.
7. Подготовить и защитить отчет.

Краткие теоретические сведения

Моделирование – это построение и изучение моделей реально существующих объектов, процессов или явлений с целью получения объяснений этих явлений, а также для предсказания явлений, интересующих исследователя. Одним из видов моделирования является имитационное моделирование. Имитационная модель – это логико-математическое описание объекта, которое может быть использовано для экспериментирования на компьютере в целях про-

ектирования, анализа и оценки функционирования объекта. К имитационному моделированию прибегают, когда:

- 1) дорого или невозможно экспериментировать на реальном объекте;
- 2) невозможно построить аналитическую модель: в системе есть время, причинные связи, последствия нелинейности, стохастические (случайные) переменные;
- 3) необходимо симитировать поведение системы во времени.

Цель имитационного моделирования состоит в воспроизведении поведения исследуемой системы на основе результатов анализа наиболее существенных взаимосвязей между ее элементами, или, другими словами, в разработке симулятора (англ. *simulation modeling*) исследуемой предметной области для проведения различных экспериментов.

Существует ряд коммерческих и свободно распространяемых компьютерных средств, позволяющих выполнить имитационное моделирование. Одной из наиболее известных бесплатных математических программ является Scilab.

Scilab (читается «сайлэб») – это пакет прикладных математических программ, предоставляющий открытое окружение для инженерных, технических и научных расчетов. Пакет можно скачать с официального сайта <http://www.scilab.org> (рис. 1.1).

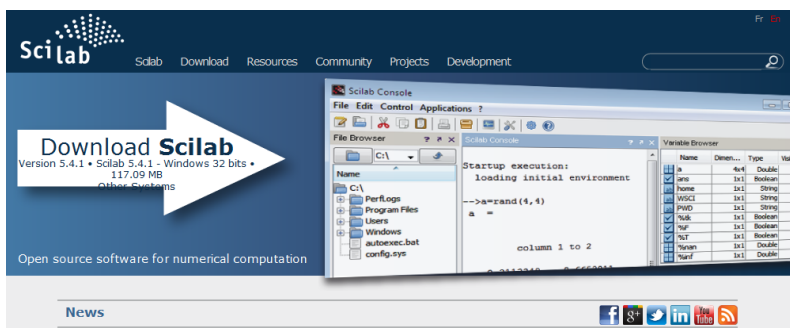


Рис. 1.1. Дистрибутив Scilab 5.4.1 для Windows 32 bits на официальном сайте

После установки и запуска пакета Scilab на экране появится главное окно, показанное на рис. 1.2.

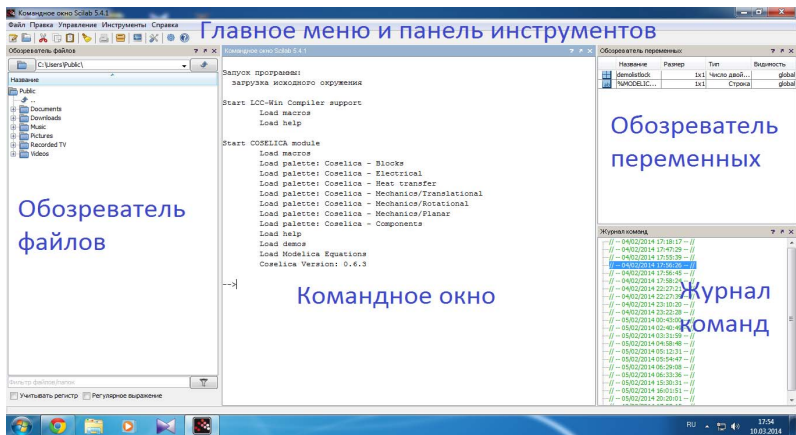


Рис. 1.2. Главное окно Scilab

В состав пакета входит программа Xcos – инструмент для редактирования блочных диаграмм и симуляции (аналог Simulink в пакете MATLAB). Программа Xcos разработана на основе другой программы – Scicos. Ранее Scicos входила в состав Scilab вместо Xcos, но сейчас распространяется как самостоятельный продукт, тоже бесплатно. В настоящее время программы очень похожи как визуально, так и по возможностям.

В верхней части окна расположено главное меню с панелью инструментов. В рабочей области слева находится обозреватель файлов: в нем можно изменять текущий каталог, просматривать его содержимое и открывать файлы. В центральной части расположено командное окно: здесь пользователь вводит текстовые команды, которые выполняются Scilab. Различные пункты главного меню попросту дублируют многие текстовые команды во избежание необходимости помнить их точное написание. В этом же окне Scilab выводит результат выполнения команд: сообщения об успехе, статистическую информацию, а также весьма важную информацию для имитационного моделирования – текст ошибок, возникающих в процессе работы. С правой стороны рабочей области по умолчанию располагаются обозреватель переменных (сверху) и журнал команд (снизу). В обозревателе будут отображаться переменные среды. Например, при моделировании электронной схемы необхо-

димо сохранить и отобразить временную диаграмму в виде числового массива для последующего математического анализа. Хорошими вариантами решения может быть сохранение этих чисел в файл на диске или в переменную в памяти. Во втором случае данные удобно просматривать в окне обозревателя переменных. В журнале команд отображается история ввода команд пользователем.

Для запуска программы Xcos выполните команду главного меню Инструменты → Визуальное моделирование Xcos, как показано на рис. 1.3.

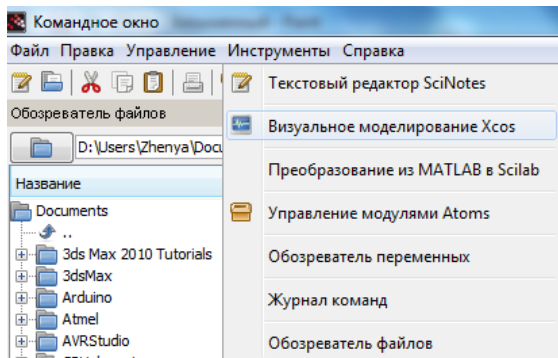


Рис. 1.3. Запуск программы Xcos

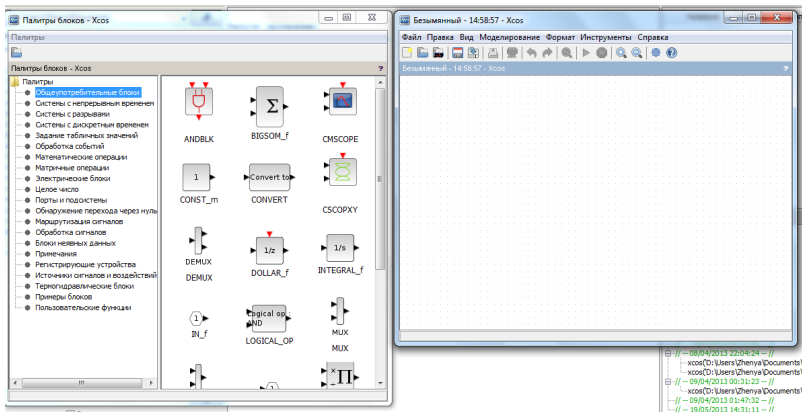


Рис. 1.4. Xcos

В версии 5.4.1 появится два окна: главное окно модели и палитра блоков (рис. 1.4). Если окно с палитрами закрыто, его всегда можно отобразить, выполнив команду меню (уже главного меню Xcos) Вид → Палитры блоков.

Создание модели в Xcos будет включать следующие шаги:

- 1) размещение блоков в окне модели;
- 2) создание связей между блоками;
- 3) задание параметров блоков;
- 4) настройка параметров моделирования;
- 5) моделирование и отображение результатов.

Рассмотрим их на примере отображения сигнала, форма которого определяется уравнением $y(t) = \sin(t) + \sin(2t)e^{-0.1t}$.

Все блоки программы сгруппированы по категориям в палитры. Блоки, являющиеся источниками сигналов, расположены в палитре «Источники сигналов и воздействий». Блок представляет собой графическое изображение, чаще всего в форме прямоугольника, обозначающее его тип. У блока часто имеются входные и выходные порты. Порты бывают нескольких видов:

- 1) порт явных данных;
- 2) порт неявных данных;
- 3) управляющий порт.

Порт явных данных отображается черным треугольником. Он используется для большинства сигналов, над которыми выполняются математические и логические операции.

Порт неявных данных отображается черным или белым квадратом (на рис. 1.5 блоки с такими портами отсутствуют). Он применяется, например, в палитре электрических блоков в виде выводов резисторов, конденсаторов и других элементов.

Управляющий порт отображается красным треугольником. Он используется для управления работой модели: включения определенных подсистем в работу модели по времени или управления работой осциллографов и т. д. Очевидно, что напрямую разные типы портов соединить не получится. Также направление треугольника показывает, является порт входным или выходным. Нельзя соединить входной порт с входным портом или выходные порты между собой.

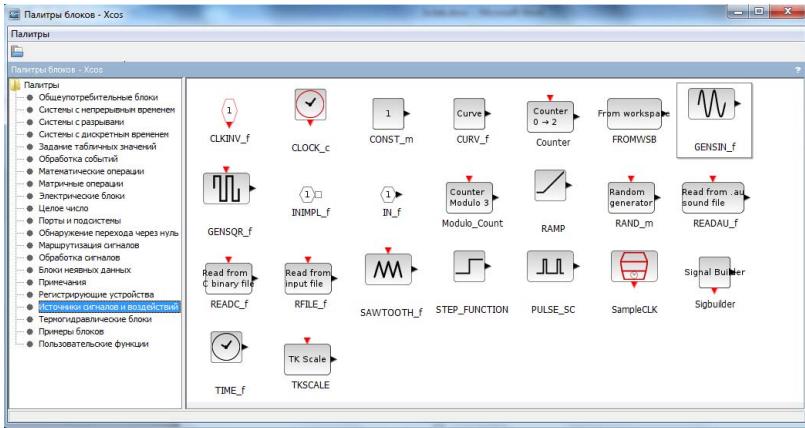


Рис. 1.5. Палитра «Источники сигналов и воздействий»

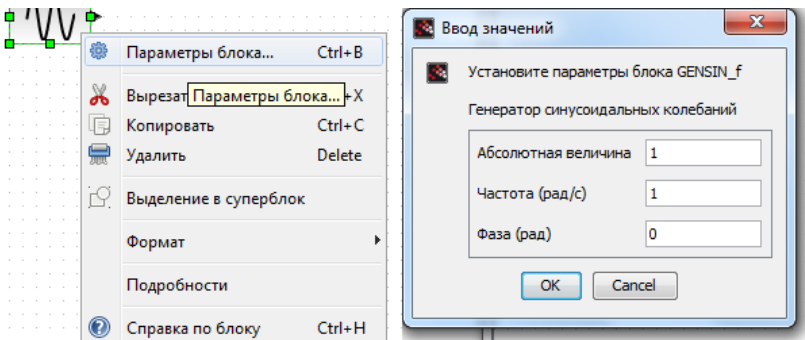


Рис. 1.6. Контекстное меню блока и окно параметров GEN_SIN_f

Источники сигналов обладают выходным портом, через который сигнал определяется типом блока и его параметрами. Интуитивно кажется, что единственным блоком, использование которого поможет смоделировать требуемый сигнал $y(t) = \sin(t) + \sin(2t)e^{-0.1t}$ является генератор синусоидальной функции GEN_SIN_f. Перенесем его в окно модели (рис. 1.6). Открыть окно параметров блока можно двойным щелчком мыши или из пункта контекстного меню (открывается правой кнопкой). В появившемся окне можно отредактировать амплитуду, частоту и фазу генерируемого синусоидального сигнала. По умолчанию настройки генератора

соответствуют функции $\sin t$, амплитуда равна 1, частота 1 рад/с, а начальная фаза отсутствует. Для функции $\sin 2t$ в окне «Частота (рад/с)» единицу замените на 2.

Рассмотрим порядок реализации экспоненциальной функции блоком из палитры «Источники сигналов и воздействий». Попробуем для начала отобразить несколько периодов функции $\sin(t)$. Для отображения сигналов используются блоки из палитры «Регистрирующие устройства». Вынесите блок одноканального осциллографа **CSCOPE** (в палитре регистрирующих устройств присутствует 5 видов осциллографов с одинаковыми иконками, но с разными названиями) в окно модели и настройте его параметры (рис. 1.7).

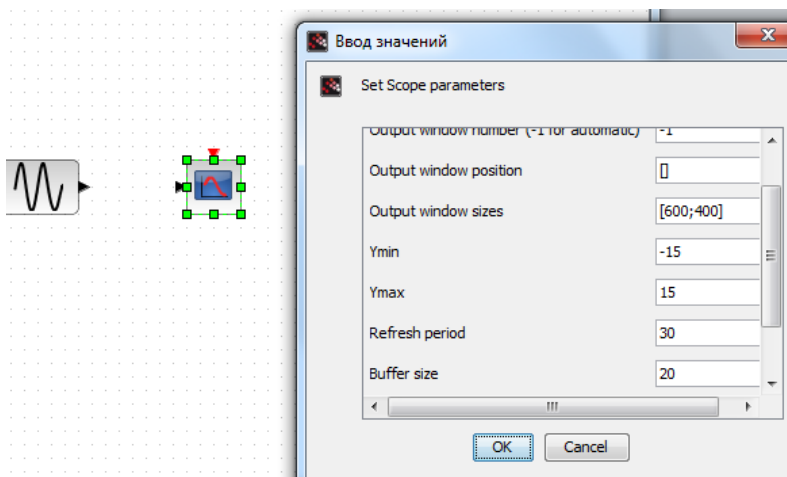


Рис. 1.7. Настройка осциллографа

Нас интересуют в первую очередь параметры Y_{\min} , Y_{\max} и Refresh period – пределы отображения по вертикальной оси и оси времени. Задайте значения -1.5 , 1.5 , 20 , так как функция $\sin(t)$ ограничена значениями -1 , 1 . Период составляет 2π , что примерно равно 6.28 , и в нашем случае отобразится чуть более трех периодов. Управляющий входной порт необходим для «тактирования» данного виртуального осциллографа. Необходимо подавать импульсы с частотой, с которой требуется отображать точки кривой на осциллографе.

Добавьте в модель блок **CLOCK_c**, который находится в рассмотренной ранее палитре «Источники сигналов и воздействий». Настройте блок, как показано на рис. 1.8.

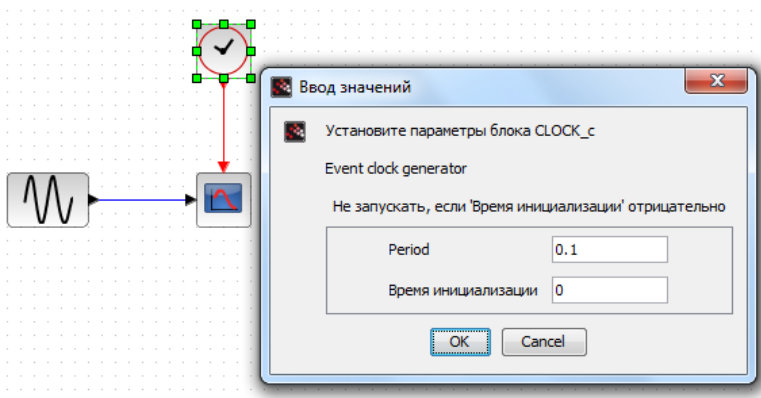


Рис. 1.8. Модель в Xcos

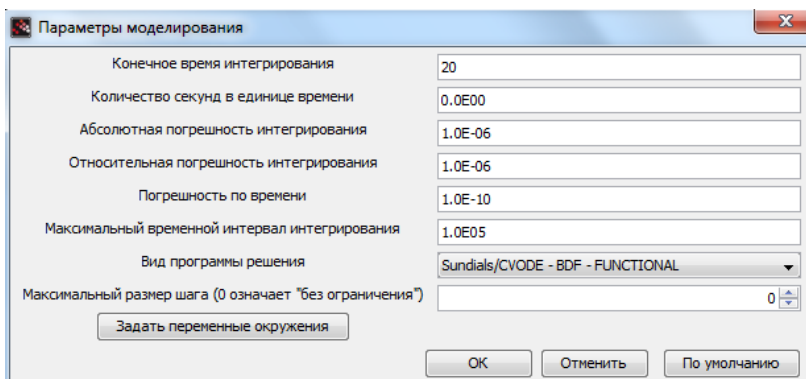


Рис. 1.9. Параметры моделирования

Если значение **Period** будет слишком велико, кривая на осциллографе будет состоять из видимых прямых отрезков, если слишком мало, то визуализация потребует больших вычислительных ресурсов. Пункт «Время инициализации» показывает, когда блок начнет работать, а осциллограф – отображать данные. Он необходим, если требуется пропустить начальное время моделирования. Соедините порты, как показано на рис. 1.8. Осталось задать конечное время работы модели. Для этого выполните команду меню Моделирование → Уста-

новка. В появившемся окне задайте конечное время интегрирования равным 20, оставив остальные параметры по умолчанию (рис. 1.9). Запустите моделирование, выполнив команду меню Моделирование → Запустить или просто нажав на треугольник на панели инструментов. Если все выполнено корректно, то результат работы осциллографа будет отображен в появившемся графическом окне (рис. 1.10).

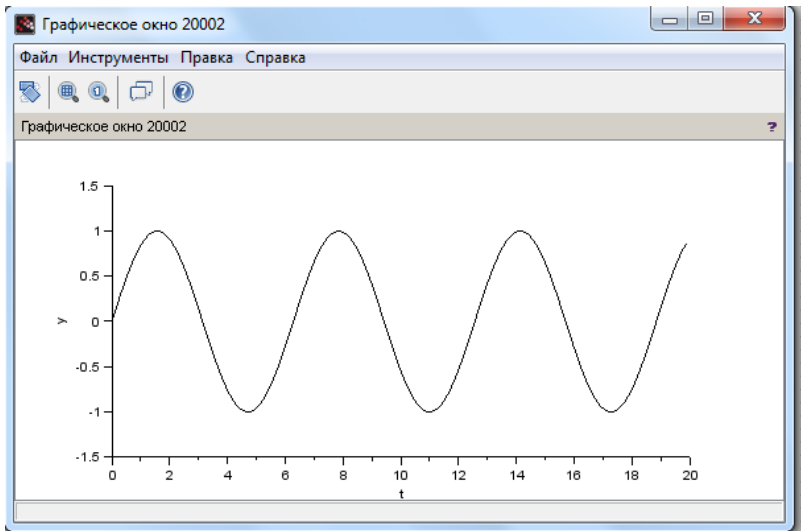


Рис. 1.10. Отображение сигнала в осциллографе

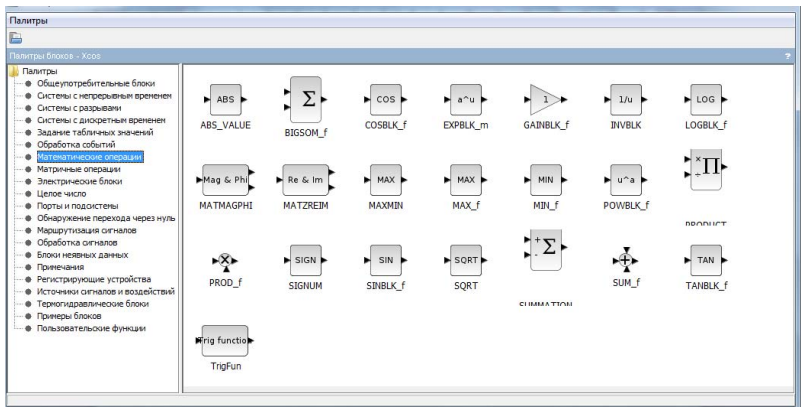


Рис. 1.11. Палитра «Математические операции»

Вернемся к функции $y(t) = \sin(t) + \sin(2t)e^{-0.1t}$. Получив от источника сигнала некий базовый сигнал, средствами Xcos можно выполнить с ним огромное количество действий, в том числе математических (рис. 1.11). Чтобы получить функцию $y = e^{-0.1t}$, используем блок **TIME_f** из палитры источников. Умножим данные на -0.1 , используя блок **GAINBLK_f** (умножает входную величину на заданный в настройках блока коэффициент). Затем получим e^{-t} , используя математический блок **EXPBLK_m** (на вход поступает значение показателя степени, основание же задается в настройках, по умолчанию оно равно e). Перемножив синусоидальную функцию с экспоненциальной функцией с помощью блока **PRODUCT**, получим на осциллографе сигнал, изображенный на рис. 1.12.

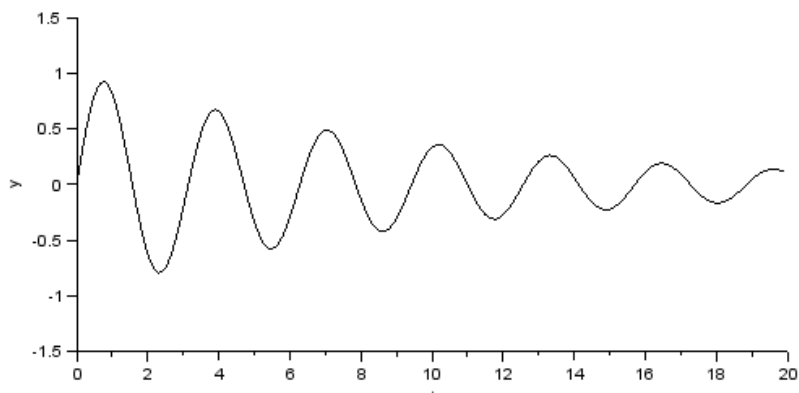


Рис. 1.12. Функция $\sin(2t)e^{-0.1t}$

Окончательная модель будет выглядеть, как показано на рис. 1.13. Блоки **PRODUCT** и **SUMMATION** могут выполнять операции умножения и деления или сложения и вычитания в зависимости от настроек, а также для большего числа входов, чем два.

По каждому блоку можно получить справку и пример использования, вызвав соответствующую команду из контекстного меню. Чаще всего тип данных, которыми оперируют те или иные блоки, можно определить по графическому изображению портов. Подавляющее большинство оперирует так называемыми явными данными

ми. Однако Xcos поддерживает несколько палитр с блоками специализированного назначения, например, с термодравлическими или электрическими блоками. Кроме того, за счет дополнительных модулей можно существенно расширить палитры блоков, ориентированных на определенную область науки и техники. Рассмотрим палитру **электрических блоков** и простой пример их использования.

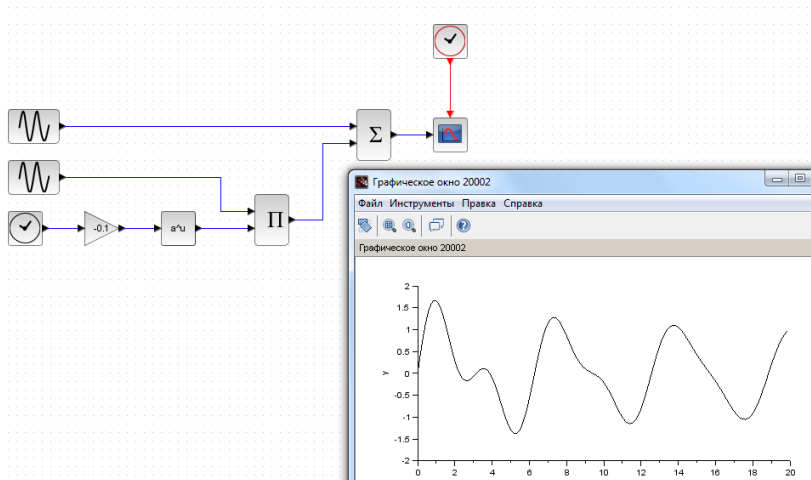


Рис. 1.13. Моделирование сигнала формы $y(t) = \sin(t) + \sin(2t) e^{-0.1t}$

Электрическая цепь состоит из генератора прямоугольных импульсов, резистора, индуктивности и измерительных элементов (рис. 1.14). Следует обратить внимание на полярности подключения элементов и на способ отображения временных диаграмм напряжения и тока на осциллографе.

В палитре электрических блоков имеются как управляемые, так и неуправляемые источники электрической энергии (тока, напряжения). Для моделирования сигнала произвольной формы можно использовать управляемый источник напряжения, как показано на рис. 1.14. Управляется блок явными данными на соответствующем порте (треугольник). Если на этот порт поступает значение 1, значит между выводами «+» и «-» источника будет напряжение 1 В прямой полярности. В схеме источник прямоугольного напряжения (настройки по умолчанию) подключен к активно-индуктивной на-

грузке (1 Ом, 0.05 Гн), происходит измерение тока, протекающего по цепи. Чтобы отобразить протекающий ток на осциллографе, его нужно виртуально измерить блоком **Амперметр**. Результатом измерения будут обычные данные, которые можно отобразить на осциллографе или над которыми можно выполнить математические или логические действия. Если через амперметр протекает ток 1 А, то на информационном выходе будет величина 1 и т. д. Чтобы на одном графике отобразить несколько сигналов, их можно объединить в шину блоком MUX. Следует отметить необходимость наличия блока **Земля** в схеме, как это требуется во многих других программах схемотехнического моделирования. Без него будет выдана ошибка при попытке моделирования (в случае использования трансформатора, возможно, на обеих сторонах, как на рис. 1.15).

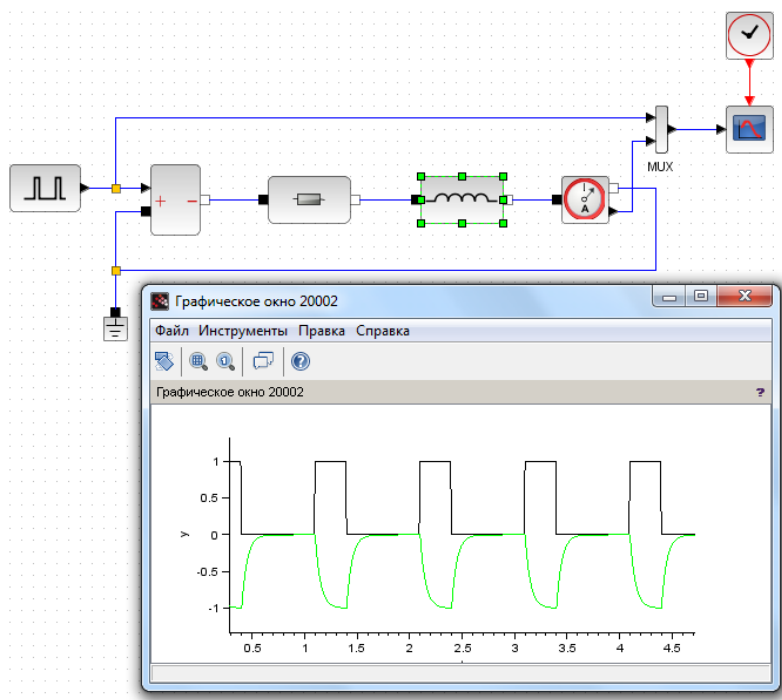


Рис. 1.14. Модель электрической схемы

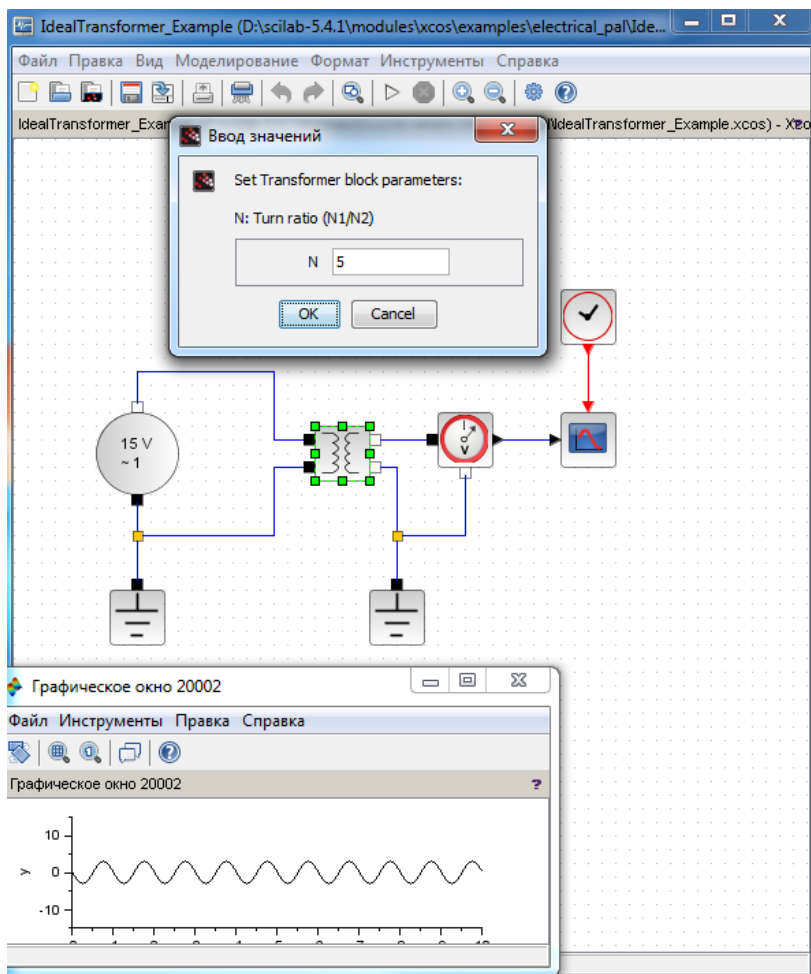


Рис. 1.15. Пример использования идеального трансформатора

Подробную информацию о построении модели, о возникающих в процессе ошибках и предупреждениях, а также рекомендации по оптимизации модели можно увидеть в командном окне Scilab (рис. 1.16).

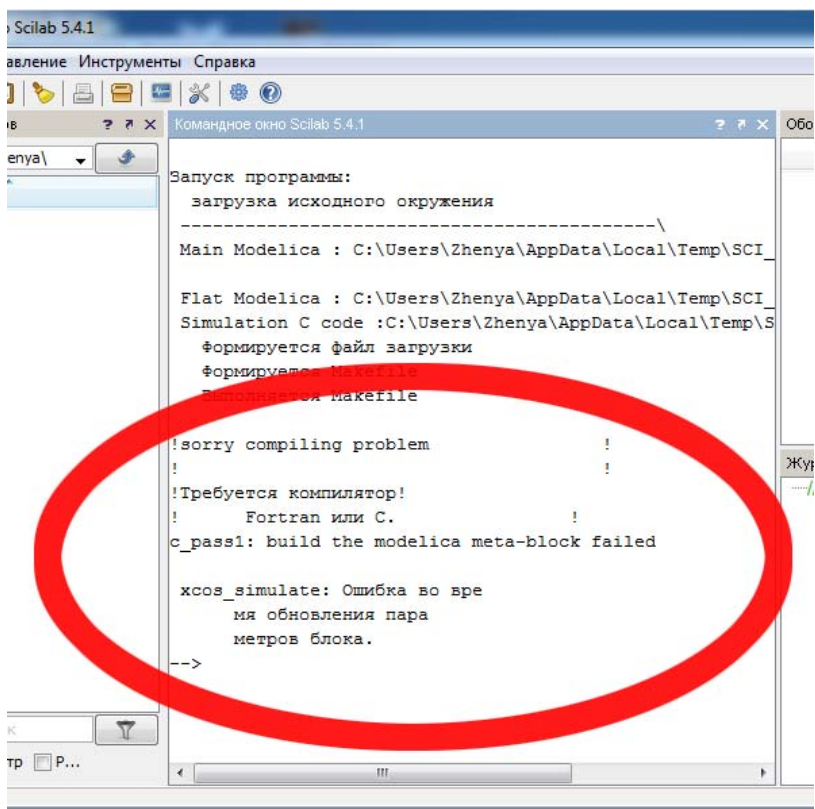


Рис. 1.16. Информация о процессе моделирования

Другой потенциальной ошибкой при попытке смоделировать данную схему может быть отсутствие установленного в системе компилятора языка Си. Он требуется для использования электрических блоков. Самым простым решением в этом случае будет использование бесплатного компилятора. Для его установки выполните команду меню Scilab «Инструменты» → Управление модулями Atoms. В появившемся окне выберите категорию Windows Tools и, например, компилятор LCC-windows (поддерживается только 32-битной версией Scilab), как показано на рис. 1.17.

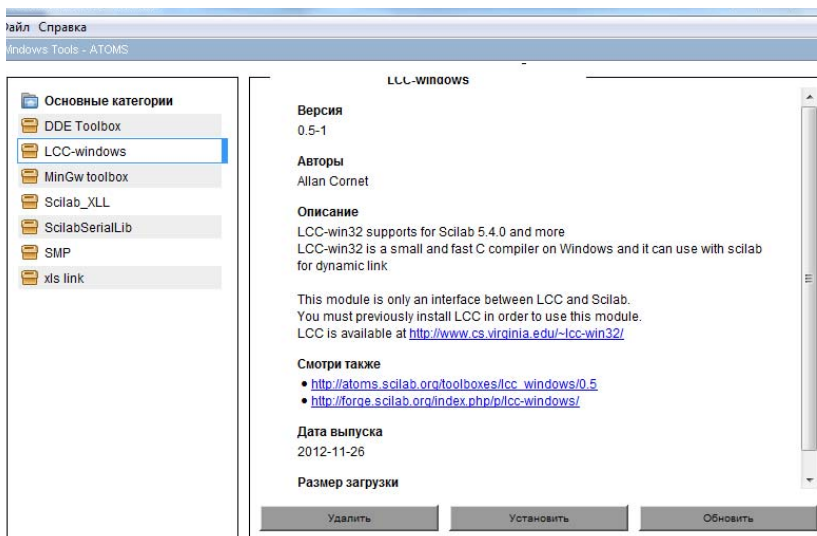


Рис. 1.17. Установка модуля поддержки компилятора LCC

В сведениях об устанавливаемом модуле имеются ссылки для скачивания компилятора. Для работы с электрическими блоками необходимо **сначала скачать и установить компилятор** (см. «LCC is available at...») и затем модуль его поддержки программой Scilab. После скачивания и установки компилятора нажмите кнопку «Установить» для инсталляции модуля связи. После перезапуска Scilab будут скомпилированы необходимые библиотеки, а схема должна успешно моделироваться.

Задание для лабораторной работы

В программе Xcos составить одну из предложенных схем однофазного неуправляемого выпрямителя (рис. 1.18) [1]. Действующее напряжение сети 220 В, частота 50 Гц, амплитуда выпрямленного напряжения – 12 В. Нагрузка выпрямителя – линейная, активная, сопротивлением 5 Ом. Смоделировать работу схемы, отобразить временные диаграммы без сглаживающего фильтра и с фильтром трех периодов сетевого напряжения, напряжения на вторичной обмотке (на вторичных обмотках) трансформатора, напряжения на диоде и нагрузке, тока нагрузки.

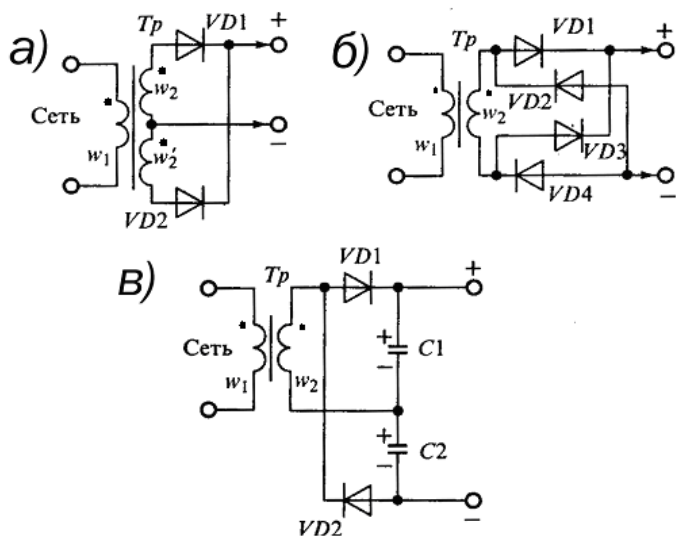


Рис. 1.18. Схемы однофазных выпрямителей

Вариант 1

Выпрямитель с нулевой точкой (рис. 1.18, а)

В этом выпрямителе используются два диода с общей нагрузкой и две одинаковые вторичные обмотки трансформатора или одна со средней точкой. То есть схема представляет собой два простейших однополупериодных выпрямителя, имеющих два разных источника и общую нагрузку. В одном полупериоде переменного напряжения ток в нагрузку проходит с одной половины вторичной обмотки через один диод, в другом полупериоде — с другой половины обмотки через другой. Поэтому эта схема выпрямителя имеет в два раза меньше пульсации по сравнению с однополупериодной схемой выпрямления. Емкость сглаживающего конденсатора при одинаковом с однополупериодной схемой коэффициенте пульсаций может быть в два раза меньше. К сожалению, схема подразумевает более сложную конструкцию трансформатора и нерациональное использование в нем меди и стали.

Вариант 2

Мостовой выпрямитель (рис. 1.18, б)

В данной схеме выпрямителя используется одна обмотка трансформатора при выпрямлении обоих полупериодов переменного напряжения.

При выпрямлении положительного полупериода переменного напряжения ток проходит по следующей цепи: **верхний вывод вторичной обмотки – диод VD1 – верхний вывод нагрузки – нагрузка – нижний вывод нагрузки – диод VD4 – нижний вывод вторичной обмотки – обмотка.**

При выпрямлении отрицательного полупериода переменного напряжения ток проходит по следующей цепи: **нижний вывод вторичной обмотки – диод VD3 – верхний вывод нагрузки – нагрузка – нижний вывод нагрузки – диод VD2 – верхний вывод вторичной обмотки – обмотка.** Направление тока через нагрузку всегда одинаково.

По сравнению с однополупериодной схемой мостовая схема имеет в два раза меньший уровень пульсаций, более высокий КПД, более рациональное использование трансформатора и уменьшение его расчетной мощности. По сравнению с двухполупериодной схемой мостовая имеет более простую конструкцию трансформатора при таком же уровне пульсаций, а обратное напряжение вентиля может быть значительно ниже, чем в первых двух схемах. Но эти преимущества достигаются за счет увеличения числа диодов и необходимости их шунтирования для выравнивания обратного напряжения на каждом из них. Именно эта схема выпрямителя наиболее часто применяется в самых различных устройствах.

Вариант 3

Схема удвоения напряжения (рис. 1.18, в)

В этой схеме в одном полупериоде переменного напряжения от вторичной обмотки трансформатора заряжается один конденсатор, а во втором полупериоде от той же обмотки – другой. Поскольку конденсаторы включены последовательно, то результирующее напряжение на обоих конденсаторах и, следовательно, на нагрузке в два раза выше, чем можно получить от той же вторичной обмотки в схеме с однополупериодным выпрямителем. Вторичную обмот-

ку трансформатора можно рассчитывать на значительно меньшее напряжение, следствием чего являются значительные токи через диоды выпрямителя, а уровень пульсаций значительно выше, чем в схемах двухполупериодных выпрямителей.

Отчет по лабораторной работе

Отчет должен содержать:

- 1) титульный лист;
- 2) цель работы;
- 3) программу работы;
- 4) задание для лабораторной работы согласно варианту;
- 5) схему имитационной модели выпрямителя;
- 6) подробное текстовое пошаговое описание процесса разработки модели;
- 7) временные диаграммы;
- 8) выводы по результатам моделирования.

Вопросы для самоконтроля

1. Что такое имитационное моделирование?
2. Когда применяется имитационное моделирование?
3. Чем Xcos отличается от Scilab? От Mathcad?
4. Каковы преимущества и недостатки Xcos в моделировании электронных схем в сравнении с Micro-Cap?
5. Что такое палитры блоков?
6. Какие порты данных применяются в блоках Xcos?
7. Для чего применяется блок CLOCK_c?
8. Как изменить цвет кривой, отображаемой в осциллографе?
9. Опишите работу представленных схем выпрямителей.
10. Каким блоком можно смоделировать трансформатор в схеме выпрямителя, представленной на рис. 1.18, а?
11. Как отобразить несколько кривых на одном осциллографе?
12. Как можно изменить масштаб кривой тока для сравнения на осциллографе с кривой напряжения?

Лабораторная работа 2

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОННЫХ СХЕМ НА БАЗЕ ТИРИСТОРОВ В XCOS

Цель работы

Цель работы заключается в приобретении умения разрабатывать и применять схемы замещения полупроводникового прибора.

Программа работы

1. Изучить теоретический материал по теме, а также используя литературу и электронные ресурсы [1–4].
2. Повторить принцип работы тиристора, условия включения и выключения тиристора [1; 2].
3. Разработать компьютерную модель тиристора на основе управляемого идеального ключа.
4. Составить и реализовать логику управления данным ключом.
5. Исследовать работу модели на примере электрической схемы последовательно соединенных источника синусоидального напряжения, тиристора и двух вариантов нагрузки: чисто активной и активно-индуктивной.
6. Построить временные диаграммы напряжения и тока тиристора, напряжения сети, нагрузки и тока нагрузки.
7. Сравнить действие разработанной модели тиристора с моделью тиристора модуля Coselica в электрической схеме п. 5.
8. Подготовить и защитить отчет.

Краткие теоретические сведения

В то время как большинство источников питания электротехнологических установок основаны на тиристорах, в палитре электрических блоков Xcos такой элемент, как тиристор, отсутствует (рис. 2.1). В дополнительном модуле Coselica только в версии Scilab 5.4.1 появилась заготовка тиристора на будущее, функциональность которой длительное время не была подтверждена. Поэтому задача моделиро-

вания этого прибора, как и любых других, отсутствующих в стандартном наборе, является актуальной. Одним из производительных вариантов с точки зрения вычислительных ресурсов является написание собственного блока на высокоуровневом языке программирования, например, Си или Фортран. Однако при отладке работы прибора удобным является использование стандартных блоков Xcos.

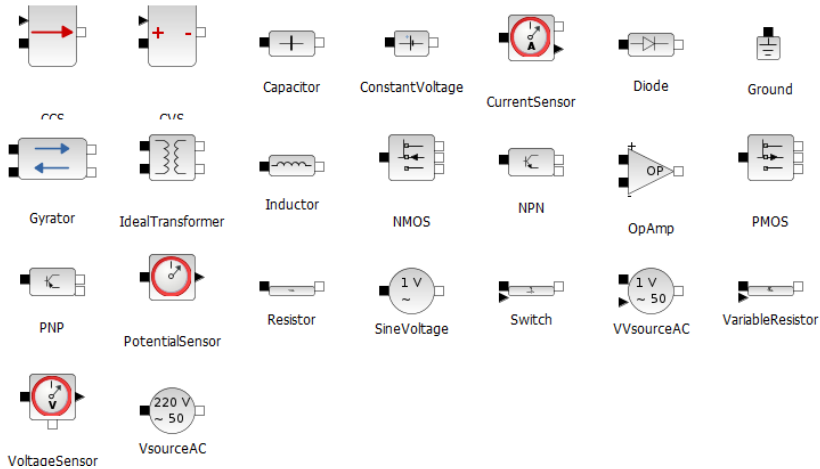


Рис. 2.1. Электрические блоки Xcos

Рассмотрим простейшую модель тиристора [2; 3]. Модель состоит из последовательно включенных: резистора R_{on} , индуктивности L_{on} (однако во многих случаях индуктивность принимается за ноль, т. е. элемент отсутствует), источника постоянного напряжения U_f и ключа SW (рис. 2.2). Блок логики управляет работой ключа. При положительном напряжении на тиристоре ($U_{ak} - U_f$) и наличии положительного сигнала на управляющем электроде (g) происходит замыкание ключа и через прибор начинает протекать ток. Размыкание ключа (выключение тиристора) выполняется при снижении тока I_{ak} , протекающего через тиристор, до нуля.

Статические вольт-амперные характеристики модели тиристора для включенного и выключенного состояний показаны на рис. 2.3.

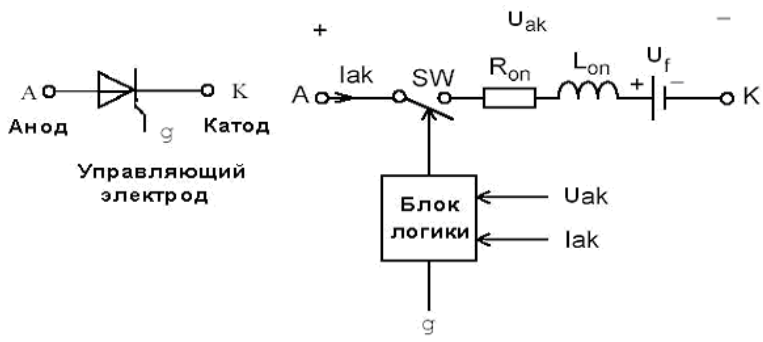


Рис. 2.2. Упрощенная модель тиристора

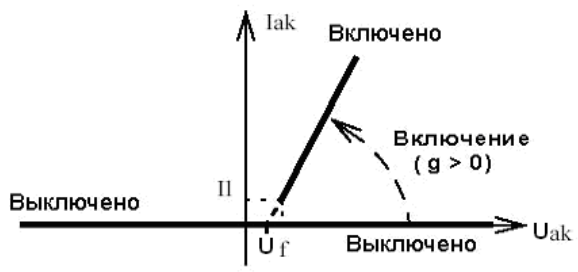


Рис. 2.3. Вольт-амперные характеристики простейшей модели тиристора

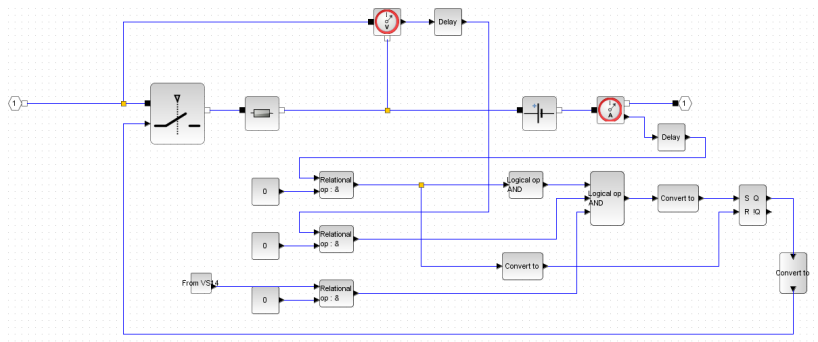


Рис. 2.4. Упрощенная модель тиристора в Xcos

В более сложных моделях тиристора длительность управляющего импульса должна быть такой, чтобы при включении анодный ток тиристора превысил ток удержания (I_{II}). В противном случае включения не произойдет. При выключении тиристора длительность приложения отрицательного напряжения между анодом и катодом

должна превышать время выключения тиристора (t_q). В противном случае произойдет автоматическое включение тиристора, даже если управляющий сигнал равен нулю.

Типичное сопротивление R_{on} равно 1 мОм, а $U_f = 0,8$ В, такая модель применяется, например, в MATLAB Simulink.

Рассмотрим возможную модель тиристора в Xcos, приведенную на рис. 2.4 (настройки отдельных блоков не показаны).

Основная цепь в модели полностью описывается стандартными электрическими блоками Xcos:

- 1) логически управляемый ключ: если на управляющем входе ноль, то он находится в закрытом состоянии, в противном случае – наоборот;
- 2) резистор;
- 3) источник постоянного напряжения.

Напряжение $U_{ak} - U_f$ снимается блоком **ВОЛЬТМЕТР**, ток I_{ak} – блоком **АМПЕРМЕТР**. Логика работы ключа следующая. Если измеренное напряжение и управляющий сигнал тиристора положительные, то на управляющий вход ключа подается единица. Если ток равен нулю или меньше нуля, на ключ подается ноль. Для сравнения величин используются блоки сравнения **Relational op**. В модели на один вход подается константное значение 0, на другой – измеренная величина или управляющий сигнал.

Остается вопрос: что произойдет, если не выполняется условие включения (например, пропал короткий управляющий импульс включения тиристора), но и не выполняется условие выключения? Ответ такой: ключ должен остаться в предыдущем неизменном состоянии.

Реализовать такую логику возможно с использованием элементов памяти. В Xcos элементы памяти представлены блоками триггеров. Работа триггеров различных типов соответствует аналогичным электрическим триггерам. В примере использован RS-триггер. На вход S подается условие включения тиристора и ключа, на R – условие выключения. Несколько условий объединяются логической операцией «И», реализуемой соответствующим блоком. Одновременно нельзя подавать единицу на R и S, для чего дополнительным условием в логическом блоке «И» для одного из входов является инверсное значение другого.

На порты триггера необходимо подавать данные типа int8 (то есть только целые числа), в то время как большинство данных, которыми оперирует модель, типа double (вещественные числа). Для преобразования используются блоки **Convert to**.

При работе ключевых элементов, когда состояние ключа определяет логику его включения или выключения (то есть, например, ток тиристора определяет, включен он или нет, с одной стороны, с другой стороны, состояние тиристора определяет ток в ветви), возможны ситуации, которые называются алгебраической петлей. Простым способом решения проблемы является добавление элементов небольшой задержки сигнала Delay.

На рис. 2.4 тиристор реализуется в виде отдельной подсистемы, где порт слева – анод, справа – катод, а передача управляющего сигнала реализуется с помощью блоков **GO TO/FROM** из группы «Маршрутизация сигналов».

Кратко рассмотрим упомянутый ранее модуль Coselica (рис. 2.5). В последней версии, выпущенной летом 2013 года, появилась поддержка большого количества электрических элементов (рис. 2.6).

Устанавливается модуль аналогично модулю поддержки компиляторов, рассмотренному в лабораторной работе 1, и находится в категории Xcos.

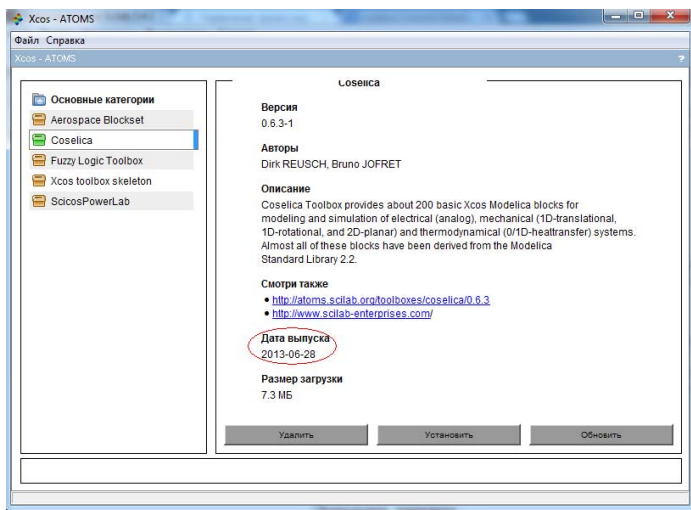


Рис. 2.5. Установка модуля Coselica

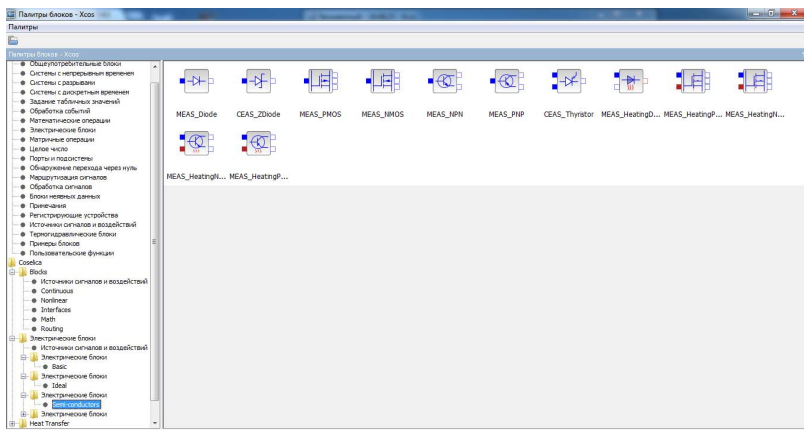


Рис. 2.6. Палитры блоков Coselica

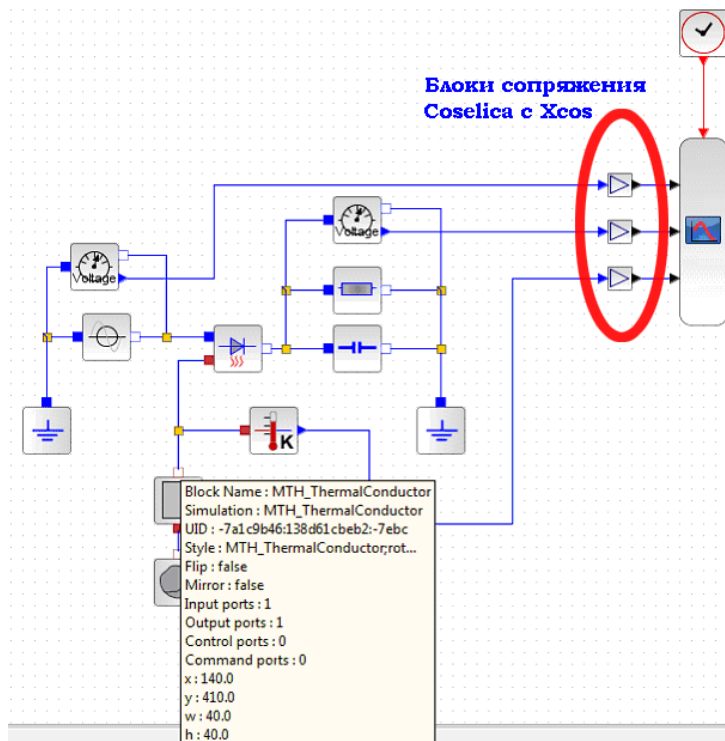


Рис. 2.7. Пример моделирования тепловых процессов

На рис. 2.7 представлена модель выпрямителя, реализованного блоками Coselica. Можно заметить, что цвет блоков и портов синий в отличие от применяемого в Xcos черного цвета, то есть блоки полностью несовместимы между собой. Поэтому в состав электрических компонентов входят источники и сигналов, и электрической энергии, а также измерительные блоки. Блоки регистрации сигналов отсутствуют. Для отображения сигналов их необходимо преобразовать в сигналы Xcos с помощью блоков сопряжений, расположенных в группе **Interfaces**. Возможно и обратное преобразование с помощью аналогичного блока из той же группы. Интересной особенностью некоторых блоков Coselica является наличие теплового порта, обозначенного красным квадратом, что позволяет проводить моделирование тепловых режимов. В примере на рис. 2.7 рассчитывается температура выпрямительного диода с радиатором.

На рис. 2.8 приведена модель с использованием тиристора Coselica. К сожалению, в последней версии выводы еще не обозначены. Входной порт № 1 (синий квадрат) является анодом, входной порт № 2 – управляющий электрод, а единственный выходной порт (белый квадрат) – катод. Чтобы узнать номер порта, наведите на квадрат курсор, номер отобразится во всплывающей подсказке. Из документации следует, что блок представляет модель простого однооперационного тиристора и работает в трех режимах: проводящем (conducting), запирающем (blocking) и в режиме обратного пробоя. В запирающем режиме поведение тиристора аналогично высокоомному резистору. Перевод тиристора в проводящий режим возможен, если напряжение между анодом и катодом больше напряжения пробоя VDRM (рис. 2.9) или ток управляющего электрода положителен в течение TON. Тиристор будет находиться в этом режиме до тех пор, пока ток анода не опустится ниже тока удержания IH, после чего вернется обратно в запирающий режим. Следует отметить, что время восстановления запирающих свойств тиристора TOFF должно быть установлено больше шага моделирования, иначе модель не будет работать.

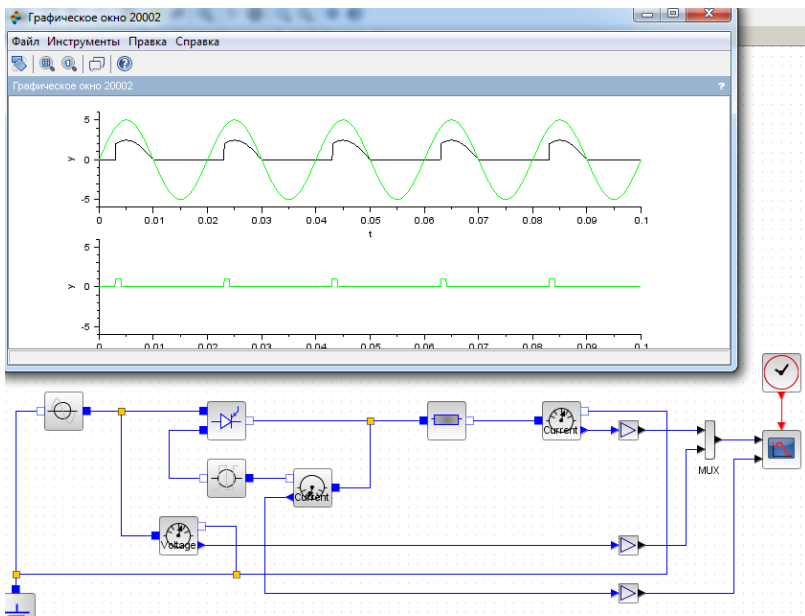


Рис. 2.8. Работа тиристора в Coselica на активную нагрузку (показаны напряжение сети, нагрузки и управляющие импульсы)

VDRM [V] : Forward breakthrough voltage (≥ 0)	100
VRRM [V] : Reverse breakthrough voltage (≥ 0)	100
IDRM [A] : Saturation current	0.1
VTM [V] : Conducting voltage	1.7
IH [A] : Holding current	0.006
ITM [A] : Conducting current	25
VGT [V] : Gate trigger voltage	0.7
IGT [A] : Gate trigger current	0.005
TON [s] : Switch on time	0.000001
TOFF [s] : Switch off time	0.000015
Vt [V] : Voltage equivalent of temperature (kT/qn)	0.04
Nbv [-] : Reverse Breakthrough emission coefficient	0.74

Рис. 2.9. Параметры модели тиристора в Coselica

Задание для выполнения лабораторной работы

Создать в Xcos упрощенную модель тиристора. Отладить работу тиристора на схеме последовательно соединенных источника переменного напряжения, тиристора и активно-индуктивной нагрузки. Напряжение синусоидальное 220 В с частотой 50 Гц, сопротивление 5 Ом, индуктивность 10 мГн, угол включения тиристора 50 градусов. Построить временные диаграммы напряжения источника питания, напряжения на тиристоре, напряжения и тока нагрузки.

Отчет по лабораторной работе

Отчет должен содержать:

- 1) титульный лист;
- 2) цель и программу работы;
- 3) задание для лабораторной работы;
- 4) схему имитационной модели тиристора;
- 5) текстовое пошаговое описание процесса разработки модели тиристора в Xcos;
- 6) временные диаграммы работы тиристора Xcos;
- 7) модель работы тиристора Coselica на активно-индуктивную нагрузку с временными диаграммами;
- 8) выводы по результатам моделирования.

Вопросы для самоконтроля

1. Какова структура и функционирование тиристорных симисторов и приборов тиристорного семейства?
2. В чем заключаются отличия в работе примененной упрощенной модели тиристора от работы реального тиристора?
3. Почему на временных диаграммах напряжения на нагрузке присутствуют отрицательные участки?
4. Что такое RS-триггер? Опишите его работу. Для чего он применен в модели?
5. Для чего применены логические элементы в модели?
6. Что такое алгебраическая петля? Какова причина ее появления в модели, как она избегается?
7. Что такое Coselica?
8. Как происходит включение и отключение модели тиристора в Coselica?

Лабораторная работа 3

МОДЕЛИРОВАНИЕ УПРАВЛЯЕМОГО ВЫПРЯМИТЕЛЯ

Цель работы

Цель работы заключается в формировании умения разрабатывать и применять алгоритм работы системы управления полупроводникового преобразователя.

Программа работы

1. Изучить теоретический материал по теме [2; 3; 5].
2. Составить схему силовой части управляемого мостового выпрямителя.
3. Разработать алгоритм формирования импульсов на тиристорах в зависимости от регулируемой величины среднего напряжения.
4. Разработать компьютерную модель управляемого тиристорного выпрямителя.
5. Исследовать работу модели в трех режимах:
 - выходное напряжение максимальное;
 - выходное напряжение равно половине максимального;
 - выходное напряжение равно трети максимального.
6. Для каждого режима построить временные диаграммы на элементах схемы.
7. Подготовить и защитить отчет.

Краткие теоретические сведения

Источником энергии для управляемого выпрямителя является сеть переменного тока. Принцип управления заключается в следующем.

В положительный полупериод питающего напряжения тиристор подобно ключу открывается и подает напряжение на нагрузку лишь в течение части этого полупериода. Изменяя момент (фазу) открытия тиристора, меняют среднее значение напряжения на нагрузке.

Существует большое число различных схем управляемых выпрямителей. По принципу действия и построения они могут быть

разделены на две группы: однополупериодные (схемы с нулевым проводом), в которых используют только одну полуволну напряжения сети, и двухполупериодные (мостовые), где используются обе волны переменного напряжения сети.

Работу простейшей двухполупериодной схемы иллюстрирует рис. 3.1.

К источнику синусоидального напряжения сети U_c с амплитудой U_m подключена нагрузка R через тиристорный мост Т1–Т4. Диагональные тиристоры Т1, Т2 и Т3, Т4 открываются попарно, поочередно, в момент времени, определяемый углом отпирания α .

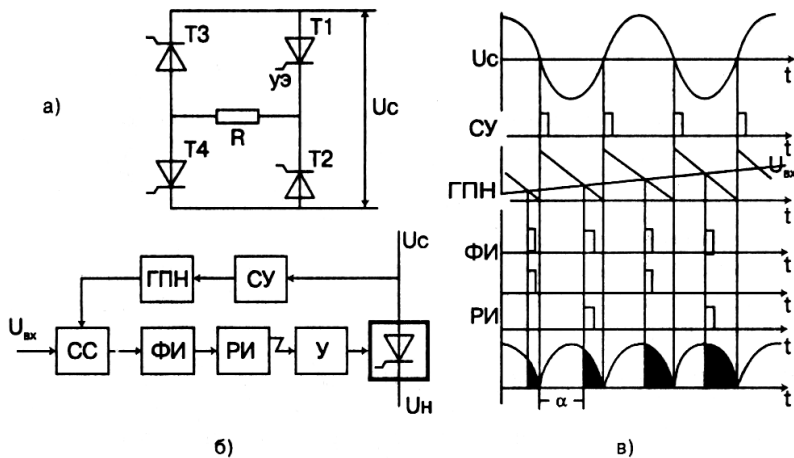


Рис. 3.1. Однофазный двухполупериодный управляемый выпрямитель: *а* – мостовая схема, *б* – функциональная схема вертикального управления, *в* – графики напряжения на элементах

В интервал $\alpha < \omega t < 180^\circ$ к нагрузке подводится напряжение $u = U_m \sin(\omega t)$. На рис. 3.1, *в*, кривая напряжения на нагрузке закрашена темным цветом.

Так как нагрузка резистивная, кривая тока повторяет кривую напряжения. В момент времени $\omega t = 180^\circ$ ток уменьшается до нуля и соответствующая пара диагональных тиристоров закрывается. Этот процесс повторяется каждый полупериод. Управление тиристорами желательно осуществлять импульсами, длительность которых воз-

можно меньшая (так как увеличение длительности связано с возрастанием мощности схемы управления), но несколько превышает время включения тиристора, то есть время перехода его из запертого состояния в открытое. Необходимо также обеспечить достаточно крутой передний фронт управляющего импульса, что уменьшает потери мощности в тиристоре при включении и, следовательно, его нагрев.

Рассмотренный фазовый метод управления может быть реализован с помощью фазосдвигающих способов, одним из которых является вертикальный способ управления, основанный на сравнении опорного напряжения (обычно пилообразной формы) и постоянного напряжения сигнала управления. Равенство мгновенных значений этих напряжений определяет фазу α , при которой схема вырабатывает импульс, который затем усиливается и подается на управляющий электрод тиристора. Изменение фазы управляющего импульса достигается изменением уровня напряжения сигнала управления $U_{вх}$. Функциональная схема управления приведена на рис. 3.1, б. Опорное напряжение, вырабатываемое генератором пилообразного напряжения ГПН и синхронизированное с напряжением сети с помощью синхронизирующего устройства СУ, подается на схему сравнения СС, на которую одновременно поступает и входное напряжение (сигнал управления). Сигнал со схемы сравнения поступает на формирователь импульсов (ФИ), затем на распределитель импульсов (РИ), на усилители мощности (У), откуда в виде мощного, обладающего кругым фронтом и регулируемого по фазе импульса подается на управляющий электрод.

Интегрируя напряжение $u = U_m \sin(\omega t)$ на интервале $\alpha - \pi$, определим среднее за период значение напряжения на нагрузке:

$$U_{cc} = \frac{1}{\pi} \int_{\alpha}^{\pi} U_m \sin \omega t d\omega t = \frac{U_m}{\pi} (1 + \cos \alpha).$$

Процессы в выпрямителе усложняются, если нагрузка имеет активно-индуктивный характер. Отпирание тиристорov осуществляют, как и в простейшей схеме на рис. 3.1, а. В отличие от рисунка, ток нарастает не скачком, а плавно за счет индуктивности нагрузки L_H . Причем, когда сетевое напряжение питающей тиристор фазы, проходит через ноль, ток не прекращается, а под действием ЭДС само-

индукции, создаваемой индуктивностью L_n , продолжает протекать некоторое время, преодолевая отрицательное напряжение сети.

Рассмотрим особенности реализации приведенного способа управления в модели Xcos.

Нам понадобится два источника сигналов: источник пилообразного сигнала (рис. 3.2) и источник постоянного уровня, который будет определять угол отпирания тиристоров. К сожалению, блок, который напрямую отвечает за генерацию пилообразного сигнала требуемой формы, отсутствует. Существует несколько способов создания необходимого источника. Рассмотрим наиболее комплексный и общий с помощью блока Signal Builder. Сигнал можно задать как вводом текстовой информации в свойствах блока, так и с помощью графического интерфейса. Для отображения графического интерфейса введите у в окне редактирования «**Launch graphic window (y/n)?**» (рис. 3.3). Модель системы управления может быть реализована, как показано на рис. 3.4. Модель включает три блока: константу от 0 до 1 (угол отпирания от 180 до 0 градусов соответственно), источник пилообразного сигнала и блок сравнения. Если уровень опорного сигнала выше, чем пилообразного, на выходе блока сравнения генерируется 1, и наоборот. Это сильно упрощенная модель, поскольку длительность управляющих импульсов равна $180^\circ - \alpha$, что не соответствует реальным устройствам.

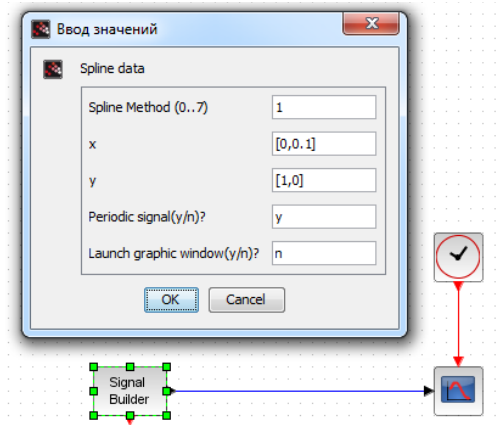


Рис. 3.2. Источник пилообразного сигнала

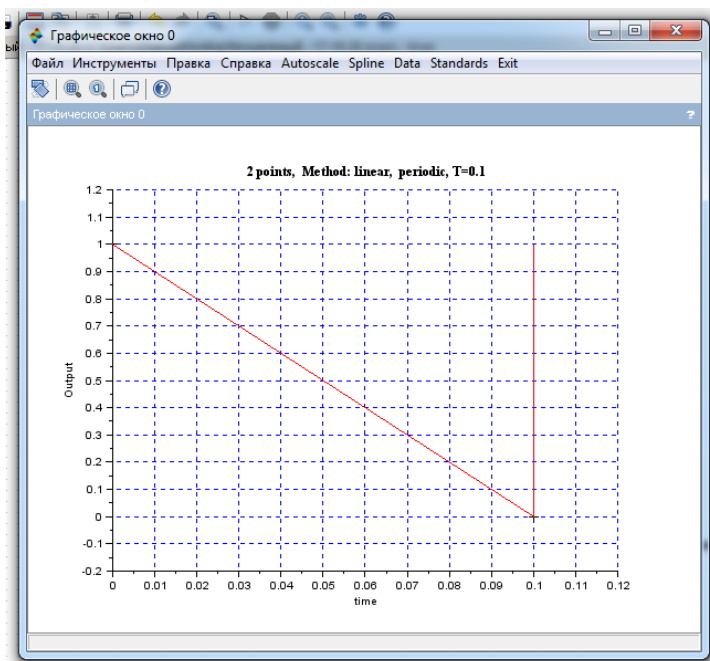


Рис. 3.3. Отображение и редактирование формы сигнала с помощью графического интерфейса

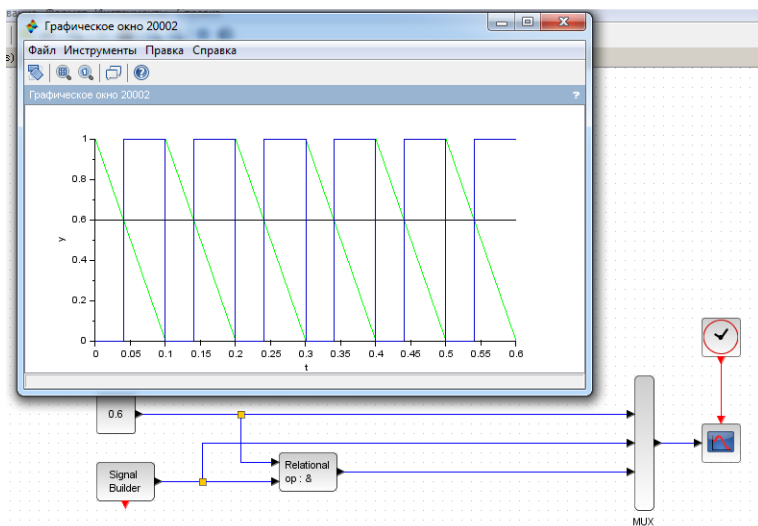


Рис. 3.4. Упрощенная система управления выпрямителем

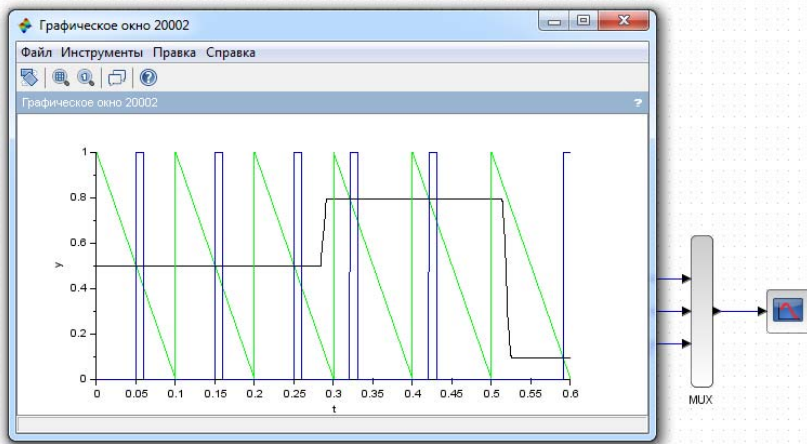


Рис. 3.5. Моделирование модифицированной системы управления

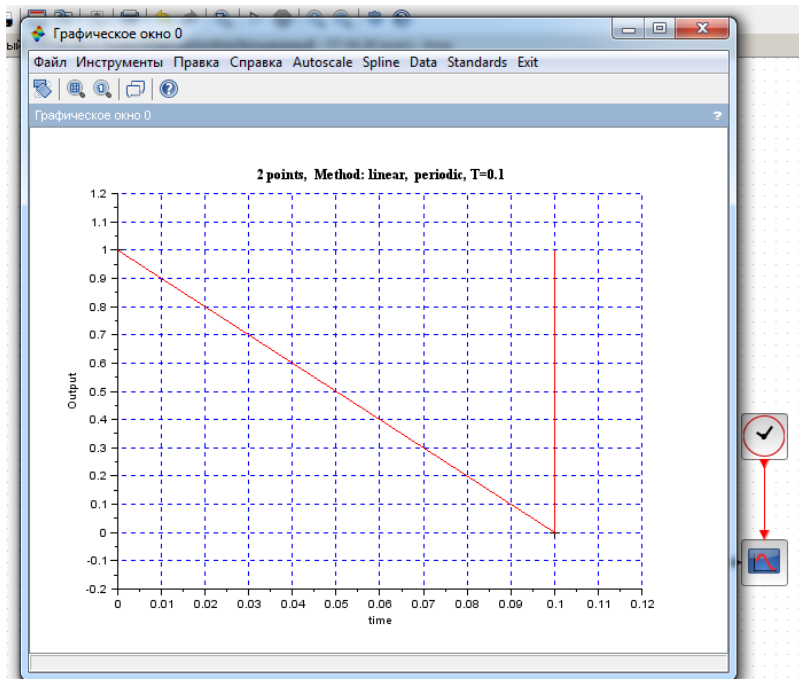


Рис. 3.6. Вариант системы управления

Необходимо, чтобы импульсы были короткими и имели фиксированную длительность. Кроме этого, интерфейс Xcos позволяет изменять уровень сигнала в интерактивном режиме в процессе работы модели, используя бегунок (рис. 3.5, 3.6).

С помощью блока TK Scale опорный сигнал изменяется в интерактивном режиме. Управляющий порт осциллографа можно скрыть в настройках блока. Представленный вариант системы управления не является окончательным, поскольку не включает в себя распределитель импульсов: четные импульсы необходимо подавать на управляющий входа тиристоров T1–T4, нечетные на T2–T3. Модель системы управления выпрямителем можно сильно упростить, если предположить, что ее работа начинается при нуле сетевого напряжения, а первая полуволна положительна. В противном случае дополнительно потребуются блоки синхронизации.

Задание для лабораторной работы

Пошагово разработать и отладить имитационную модель управляемого однофазного мостового выпрямителя. Модель должна включать блок моделирования сетевого напряжения, нагрузки, силовой части выпрямителя, состоящей из трансформатора и четырех тиристоров из лабораторной работы 2 (**разработанных на основе стандартных блоков либо взятых из модуля Coselica**), и системы управления выпрямителем. На вход системы управления подается угол включения тиристоров в виде числовой константы, на выходе формируются импульсы управления четырьмя тиристорами силовой части. Действующее напряжение сети 220 В, нагрузка активно-индуктивная (5 Ом, 10 мГн), коэффициент трансформации 10. Вначале необходимо отладить работу силовой части при фиксированном угле отпирания (задайте с помощью двух генераторов прямоугольных импульсов). Затем необходимо добавить систему управления с интерактивным заданием угла отпирания тиристоров.

Вариант 1

Для силовой части выпрямителя используются разработанные ранее в лабораторной работе 2 модели тиристора на основе стандартных блоков Xcos.

Вариант 2

Для силовой части выпрямителя используются блоки тиристоров Coselica.

Отчет по лабораторной работе

Отчет должен содержать:

- 1) титульный лист;
- 2) цель и программу работы;
- 3) задание для лабораторной работы;
- 4) схему имитационной модели выпрямителя в Xcos;
- 5) текстовое пошаговое описание процесса разработки модели;
- 6) описание работы системы управления преобразователем;
- 7) временные диаграммы работы системы управления и силовой части выпрямителя;
- 8) выводы по результатам моделирования.

Вопросы для самоконтроля

1. Что такое угол отпирания тиристорov?
2. Как в выпрямителе регулируется напряжение на нагрузке?
3. Какая должна быть длительность импульсов, генерируемых системой управления?
4. Что такое схема вертикального управления?
5. Как в модели реализуются короткие импульсы постоянной длительности?

Лабораторная работа 4

МОДЕЛИРОВАНИЕ СХЕМ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ С ПЕРЕЗАРЯДОМ КОНДЕНСАТОРА ТОКОМ НАГРУЗКИ

Цель работы

Цель работы – формирование навыка составления и анализа работы имитационной модели источника питания электротехнологического оборудования.

Программа работы

1. Изучить теоретический материал по теме [5].
2. Разработать компьютерную модель преобразователя с перезарядом конденсатора током нагрузки.
3. Составить схему силовой части преобразователя.
4. Выбрать номиналы элементов.
5. Разработать алгоритм формирования управляющих импульсов тиристоров.
6. Исследовать работу модели.
7. Построить временные диаграммы токов и напряжений всех элементов схемы.
8. Подготовить и защитить отчет.

Краткие теоретические сведения

На рис. 4.1 показана схема однотактного преобразователя с подготовительным перезарядом конденсатора [5]. Управляющие импульсы поступают поочередно на тиристоры VS1, VS2. При отпирании тиристора VS1 происходит колебательный заряд дозирующего конденсатора от источника питания через реактор L, а при отпирании VS2 – его разряд на катушку с передачей всей накопленной энергии.

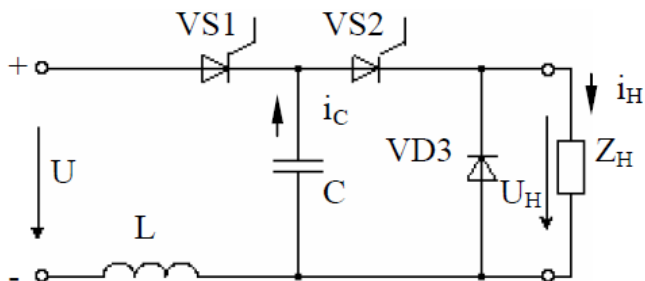


Рис. 4.1. Схема однофазного преобразователя с подготовительным перезарядом дозирующего конденсатора

Двухтактный преобразователь с подготовительным перезарядом дозирующих конденсаторов (рис. 4.2) может рассматриваться как два однофазных преобразователя с общим зарядным реактором. При попарном включении тиристоров VS1, VS4 и VS2, VS3 обеспечивается колебательный заряд одного из дозирующих конденсаторов при разряде другого на нагрузку.

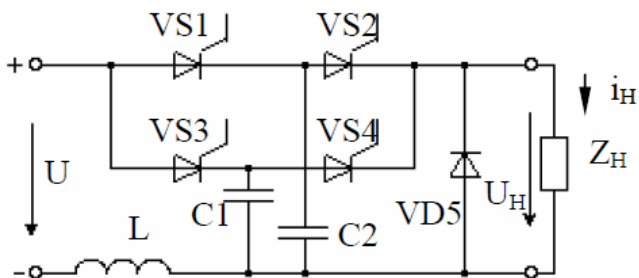


Рис. 4.2. Схема двухфазного преобразователя с подготовительным перезарядом дозирующих конденсаторов

Преобразователи, схемы которых приведены на рис. 4.1 и 4.2, обеспечивают двухтактный режим работы, при этом каждый перезаряд дозирующего конденсатора производится на нагрузку.

Преобразователь на рис. 4.3 собран по мостовой схеме на тиристорах VS1–VS4 с конденсатором C в диагонали. Тиристоры отпираются попарно: VS1, VS4 либо VS3, VS2, осуществляя подключение дозирующего конденсатора последовательно с источником питания

и нагрузкой. После перезаряда конденсатора до напряжения источника питания проводившие тиристоры запираются, и ток нагрузки замыкается через диод VD5. Схема позволяет снизить напряжение на всех элементах преобразователя, за исключением диода VD5, до напряжения источника питания. При этом частота работы силовых элементов в два раза ниже частоты следования выходных импульсов (частоты модуляции преобразователя).

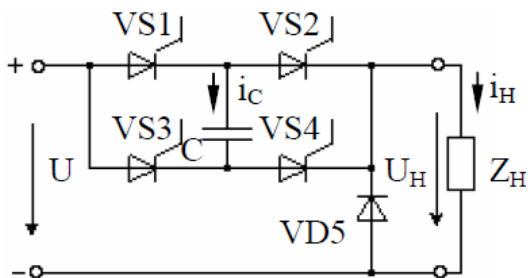


Рис. 4.3. Схема двухтактного мостового преобразователя

Данная схема может использоваться при работе электротехнологического оборудования на основе газового разряда. Для устойчивого горения дуги необходимо, чтобы источник питания обладал отрицательным динамическим сопротивлением, поэтому рассмотрим энергетические процессы, протекающие в нем.

Количество энергии, передаваемое в нагрузку за один период, фиксировано и равно:

$$Q_H = 2 \cdot C \cdot U^2, \quad (4.1)$$

где C – емкость конденсатора; U – напряжение питания.

Мощность, передаваемая в нагрузку, зависит от частоты и вычисляется, с одной стороны, по выражению (4.2), с другой – по выражению (4.3).

$$P = Q_H \cdot f = 2 \cdot C \cdot U^2 \cdot f, \quad (4.2)$$

где f – частота модуляции схемы.

$$P = U_H \cdot I_H, \quad (4.3)$$

где U_H – напряжение на нагрузке; I_H – ток нагрузки.

Уравнение вольт-амперной характеристики имеет вид

$$U_H = \frac{2 \cdot C \cdot U^2 \cdot f}{I_H}. \quad (4.4)$$

Динамическое сопротивление источника, таким образом, отрицательно и равно

$$R_{\text{дист.}} = \frac{dU_H}{dI_H} = \frac{-2 \cdot C \cdot U^2 \cdot f}{I_H^2} = -\frac{U}{I_H}, \quad (4.5)$$

что позволяет работать источнику на газоразрядную нагрузку.

Задание для лабораторной работы

Согласно варианту составить и выполнить моделирование схемы преобразователя с перезарядом конденсатора током нагрузки.

Вариант 1

Однотактный преобразователь с подготовительным перезарядом дозирующего конденсатора.

Вариант 2

Двухтактный преобразователь с подготовительным перезарядом дозирующих конденсаторов.

Вариант 3

Двухтактный мостовой преобразователь.

Отчет по лабораторной работе

Отчет должен содержать:

- 1) титульный лист;
- 2) цель и программу работы;
- 3) задание для лабораторной работы согласно варианту;
- 4) схему имитационной модели преобразователя;
- 5) описание процесса разработки модели;
- 6) временные диаграммы работы модели;
- 7) выводы по результатам моделирования.

Вопросы для самоконтроля

1. Поясните работу приведенных преобразователей.
2. Поясните выбор емкости конденсатора схем преобразователей.

Заключение

В рамках лабораторного практикума рассмотрена работа с программой имитационного моделирования Scilab, основные вопросы разработки моделей неуправляемого и управляемого выпрямителей и распространенных источников питания электротехнологических установок.

Полученные навыки и умения могут быть использованы при разработке имитационных моделей источников питания в научно-исследовательских и опытно-конструкторских работах.

Библиографический список

1. Зиновьев, Г.С. Основы силовой электроники : учеб. пособие / Г.С. Зиновьев. – Изд. 2-е, испр. и доп. – Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2003. – 664 с.
2. Ред, Дж. Промышленная электроника / Джеймс А. Ред, Гленн Дж. Сартори. – М. : ДМК Пресс, 2011. – 1136 с.
3. Черных, И.В. SimPowerSystems: Моделирование электротехнических устройств и систем в Simulink. Элементы силовой электроники [Электронный ресурс]. – URL: http://matlab.exponenta.ru/simpower/book1/1_6.php
4. Герман-Галкин, С.Г. Компьютерное моделирование полупроводниковых систем в Matlab 6.0 : учеб. пособие / С.Г. Герман-Галкин. – СПб. : Корона Принт, 2001. – 320 с.
5. Бар, В.И. Электротехнологические установки и их источники питания. Основы теории и проектирования : учеб. пособие / В.И. Бар. – Тольятти : ТГУ, 2009. – 155 с.
6. Scilab [Электронный ресурс]. – URL: www.scilab.org
7. Stephen L. Campbell, Jean-Philippe Chancelier and Ramine Nikoukhah. Modeling and Simulation in Scilab / Scicos with ScicosLab 4.4, Edition 2nd : Springer, 2010. – 332 p.