

**УЗБЕКСКОЕ АГЕНТСТВО СВЯЗИ И
ИНФОРМАТИЗАЦИИ**

**ТАШКЕНТСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

**Сапаев М.С., Махкамджанов Б.М., Алиев У.Т.,
Худайбергганов Ш.К., Абдуллаева С.М.,
Амурова Н.Ю.**

**Кафедра электропитание
устройств связи**

**Сборник виртуальных лабораторных работ
по курсу
«Электропитание устройств связи»**

Ташкент 2008

Введение

В соответствии с учебной программой по курсу «Электропитание устройств связи (ЭПУС)» кроме лекционных занятий предусматривается в обязательном порядке проведение лабораторных и практических занятий. Эти занятия позволяют закрепить у студентов как теоретические, так и практические навыки. Данный сборник виртуальных лабораторных работ предназначен для студентов, обучающихся по направлениям: Радиосвязь, радиовещание и телевидение, Телекоммуникация, Радиотехника, Мобильные системы связи.

Лабораторные работы, как правило, проводятся на физических стендах. Их полезность и необходимость неоспоримы. Однако реальные лабораторные установки имеют ряд ограничений. Прежде всего, они недостаточно универсальны, не минимизированы и их количество в лаборатории ограничено. Кроме того, эти работы осуществляются в подгруппе из нескольких человек, и при этом невозможно дать индивидуальное задание каждому.

В связи с этим актуальным является создание и использование компьютерных моделей лабораторных работ, т.е. виртуальных лабораторных работ, свободных от вышеуказанных недостатков, присущих реальным лабораторным установкам.

Наличие реальной лабораторной базы не исключает использование виртуальных лабораторий. В этом случае, последние можно рассматривать, как дополнительную возможность для практического изучения материала.

Настоящее пособие представляет собой методические указания к проведению виртуальных лабораторных работ по дисциплине ЭПУС, раздел полупроводниковых выпрямителей. При этом для создания этих лабораторных работ применяется широко распространенный пакет Electronics Workbench (EWB), который позволяет не только моделировать электронные схемы, но и использовать виртуальные приборы (осциллограф, мультиметр, тестовый генератор и т.д.) для исследования работы схем любой сложности.

В методических указаниях рассматриваются вопросы использования программного комплекса EWB для создания виртуальных работ, а также описания виртуальных лабораторных работ по исследованию схем однофазных и трехфазных выпрямителей. Методические указания в каждой лабораторной работе включают в себя: цель работы, описание подготовки лабораторного стенда к работе (работа с EWB), рабочее задание и методические указания по выполнению работы, а также вопросы к допуску и защите лабораторной работы.

Модели виртуальных лабораторных работ по исследованию схем выпрямителей включают следующие файлы:

ООВ – исследование схемы однофазного однополупериодного выпрямителя;

ОДВ – исследование схемы однофазного выпрямителя со средней точкой;

ОМВ – исследование схемы однофазного мостового выпрямителя;

СФВ – исследование схем сглаживающих фильтров;

ТСТ – исследование схемы трехфазного выпрямителя со средней точкой;

ТМФ – исследование схемы трехфазного мостового выпрямителя.

Для работы с этими моделями в компьютере должен быть установлен пакет EWB версии Multisim 8.

Содержание сборника позволяет использовать как в данной форме обучения, так и при дистанционном обучении.

Использование программного комплекса Electronics Workbench для создания виртуальных лабораторных работ по исследованию схем выпрямителей

Electronics Workbench – электронная лаборатория на компьютере, где вначале создается принципиальная схема виртуального стенда, в которую включаются электронные компоненты и измерительные приборы, имеющиеся в библиотеках программы. В библиотеку компонентов программы входят пассивные элементы, транзисторы, управляемые источники, управляемые ключи, гибридные элементы, индикаторы, логические элементы, триггерные устройства, цифровые и аналоговые элементы, специальные комбинационные и последовательные схемы. Активные элементы могут быть представлены моделями как идеальных, так и реальных элементов. Возможно также создание своих моделей элементов и добавление их в библиотеку элементов. В программы используется большой набор приборов для проведения измерений: амперметры, вольтметры, осциллографы, мультиметры, Боде – плоттер (графическое построение схем частотных характеристик), функциональные генераторы, генераторы слов, логические анализаторы и логические преобразователи.

Установка значений компонентов и приборов производится в следующем порядке: простые аналоговые компоненты, такие, как различные источники, катушки индуктивности, резисторы, имеют один или несколько параметров. Сложные компоненты имеют несколько взаимосвязанных параметров, которые вместе формируют модель конкретного компонента. Кроме заземления и соединяющего узла (которые не имеют параметров), все компоненты имеют определенные значения параметров, установленные по умолчанию, и которые можно при необходимости изменить.

Для установки значений параметров компонента:

- двойным щелчком мыши по изображению компонента открыть диалоговое окно свойств компонента (это также можно сделать с помощью пункта Preferences меню Circuit, элемент должен при этом быть подсвечен);

- в появившемся окне изменить значение параметров компонента;

- установив новые значения, нажать кнопку Ассерт для подтверждения и возврата к схеме.

Для изменения единиц измерения:

- двойным щелчком мыши вызвать диалоговое окно свойств компонента;

- при помощи кнопок «стрелка вверх» и «стрелка вниз» изменить единицы измерения;

- установив единицы измерения, нажать Ассерт.

Использование пакета EWB для создания виртуальных лабораторных работ по исследованию электронных устройств включает в себя следующие операции в определенном порядке.

Исследуемая схема собирается на рабочем поле при одновременном использовании мыши и клавиатуры. Применение в работе только клавиатуры невозможно.

При построении и редактировании схем выполняются следующие операции:

- выбор компонента из библиотеки компонентов;

- выделение объекта; перемещение объекта; копирование объекта; удаление объекта;

- соединение компонентов схемы проводниками;

- установка значений компонентов;

- подключение приборов.

Если схема не помещается на экране монитора, любой её участок можно просмотреть при помощи линеек прокрутки, расположенных справа и под рабочим полем. После построения схемы и подключения приборов анализ её работы начинается после нажатия выключателя в правом верхнем углу окна программы.

Сделать паузу при работе схемы можно нажатием клавиши F9 на клавиатуре. Возобновить процесс можно повторным нажатием клавиши F9. Повторное нажатие выключателя в правом верхнем углу прекращает работу схемы.

Выбор компонента из библиотеки компонентов

Выбор нужного компонента производится из поля компонентов, нужное поле компонентов выбирается нажатием левой кнопки мыши на одной из пиктограмм панели компонентов. При этом в поле компонентов появляются изображения соответствующих компонентов. После выбора поля компонентов нужный компонент при помощи мыши перемещается на рабочее поле.

Выделение объекта и его перемещение

Выделение объекта осуществляется при помощи мыши (под объектом подразумевается как один компонент, так и группа компонентов). При выборе компонента нужно установить указатель мыши на нужный

компонент и щелкнуть левой кнопкой мыши. Для выбора группы компонентов нужно установить указатель мыши в один из углов прямоугольной области, содержащей группу, и, нажав левую кнопку мыши, растянуть рамку до необходимых размеров, после чего отпустить кнопку. Выбранный объект изменяет свой цвет на красный. Снять выделение можно щелчком мыши в любой точке рабочего поля.

Для перемещения объект нужно предварительно выделить, а затем при помощи мыши или стрелок на клавиатуре переместить в нужное место. При перемещении мышью установите указатель мыши на объект и, нажав левую кнопку мыши, перетащите объект.

Объект можно поворачивать на угол, кратный 90° . Для этого объект нужно предварительно выделить, а затем выбрать команду Rotate из меню Circuit или нажать Ctrl+R. При этом объект повернется на 90° , по часовой стрелке. При повороте группы компонентов на 90° , поворачивается каждый компонент, а не вся группа целиком.

Копирование и удаление объектов

Копирование объектов осуществляется при помощи команды Copy из меню Edit или нажатием Ctrl+C. Перед копированием объект нужно выделить. После выполнения команды выделенный объект копируется в буфер. Для вставки содержимого буфера на рабочее поле нужно выбрать команду Paste из меню Edit или нажать Ctrl+V. После выполнения команды содержимое буфера появится на рабочем поле и будет выделено цветом.

Удаление объекта осуществляется командами Cut и Delete. Отличие состоит в том, что при выполнении команды Cut объект удаляется в буфер и может быть затем вставлен обратно на рабочее поле, а при выполнении команды Delete объект удаляется совсем. Перед удалением объект также должен быть выделен.

Соединение компонентов схемы проводниками

Для соединения компонентов проводниками нужно подвести указатель мыши к выводу компонента. При этом на выводе компонента появится большая черная точка. Нажав левую кнопку мыши, переместите её указатель к выводу компонента, с которым нужно соединиться, и отпустите кнопку мыши. Выводы компонентов соединяются проводником. Все проводники в Electronics Workbench по умолчанию черного цвета, но цвет проводника можно изменить. Для этого нужно двойным щелчком на изображении проводника открыть окно, приведенное на рисунке, и в окне мышью выбрать требуемый цвет.

Установка значений параметров компонентов

Установка значений параметров компонентов производится в диалоговом окне свойств компонента, которое открывается двойным щелчком мыши по изображению компонента или командой Value из меню Circuit (при этом компонент должен быть выделен). В диалоговом окне при помощи клавиатуры и мыши нужно ввести требуемые значения параметров компонента и нажать Assent или Cancel для подтверждения или отмены установки значений. Выбор модели компонента осуществляется в диалоговом окне выбора модели компонента, которое открывается двойным щелчком мыши по изображению компонента или командой Model из меню Circuit. В диалоговом окне можно выбрать модель компонента и отредактировать значения её параметров. Для редактирования значений параметров модели нужно нажать кнопку Edit. При этом откроется окно свойств модели, в котором при помощи мыши и клавиатуры можно изменять значения её параметров. Сохранить введенные значения параметров можно нажатием кнопки Assent. После этого происходит возврат к предыдущему окну.

После построения схемы можно каждому компоненту присвоить позиционное обозначение или просто какое-либо имя. Это можно сделать при помощи команды Label из меню Circuit или нажатием Ctrl+L, предварительно выделив компонент. После этого откроется диалоговое окно, в котором нужно ввести обозначение или имя компонента и нажать клавишу Enter.

Подключение приборов

В Electronics Workbench имеется семь приборов, формирующих различные воздействия и анализирующих реакцию схемы. Эти приборы представлены в виде пиктограмм, расположенных на панели инструментов. Для подключения прибора к схеме нужно мышью перетащить прибор с панели инструментов на рабочее поле и подключить выводы прибора к исследуемым точкам. Некоторые приборы нужно заземлять, иначе их показания будут неверными.

Расширенное изображение прибора выводится в окне, которое появляется после двойного щелчка мышью по уменьшенному изображению прибора или после выполнения команды Zoom из меню Circuit. Закрыть эти окна можно командой Close из меню, появляющегося при щелчке на кнопке в левом верхнем углу окна. Также можно использовать комбинацию Alt+F4.

Вставка компонента в цепь

После того как схема построена, можно вставить в неё дополнительные компоненты. Для этого нужно мышью переместить компонент в требуемую точку схемы и, поместив его над проводником, отпустить кнопку мыши.

Одним из достоинств пакета EWB является возможность смоделировать ситуацию, возникающую при самых различных уровнях приборной оснащённости исследователя и освоить методики измерения, соответствующие этим уровням. Например, измерение величин напряжений и токов на интересующих элементах схемы возможно с помощью лишь одного универсального прибора–мультиметра (который привыкли называть тестером), или с помощью вольтметра и амперметра, или, наконец, с помощью осциллографа, одновременно наблюдая их формы.

Таким образом, в процессе использования программного пакета EWB следует учесть некоторые особенности и преимущества, которые, без сомнения, устраняют недостатки исследований на реальных лабораторных стендах.

Виртуальная лабораторная работа № 1

Исследование однофазного однополупериодного выпрямителя и двухполупериодного выпрямителя со средней точкой

Цель работы

1. Изучение принципов выпрямления в схемах неуправляемых однофазных выпрямителей (однополупериодного, двухполупериодного со средней точкой) с помощью осциллограмм токов и напряжений в основных ветвях схемы. Исследование внешних характеристик выпрямителей без сглаживающего фильтра и с различными фильтрами.

2. Использование комплекса программ Electronics Workbench (EWB) для компьютерного моделирования выпрямительных устройств.

Описание лабораторного стенда

Схемы виртуальных лабораторных работ на базе пакета EWB для исследования схем неуправляемых однофазных однополупериодного и двухполупериодного выпрямителей со средней точкой (файл ООВ и ОДВ), показаны на рис.1 и рис.2.

Она содержит:

- источник (E1) синусоидального напряжения на 220 В, 50 Гц;
- однофазный трансформатор (Tr);
- полупроводниковые диоды (D1, D2);
- активное сопротивление (резисторы R_{d1} , R_{d2} , R_{d3} , R_{d4}) нагрузки;
- индуктивность (L) сглаживающего фильтра;
- ёмкость (C) сглаживающего фильтра;
- измерители (вольтметры V1, V2) средних значений напряжений на нагрузке и на диоде;
- измерители (амперметры A1, A2) средних значений токов на нагрузке и на диоде;
- осциллографы (XSC1, XSC2, XSC3) для наблюдения формы напряжений и токов на нагрузке, на диоде и на источнике питания.

Однополупериодная схема выпрямления (рис.1)

В однофазной однополупериодной схеме выпрямления вторичная обмотка трансформатора Tr и диод D1 соединены последовательно. Выпрямитель может работать без сглаживающего фильтра и с различными видами фильтров.

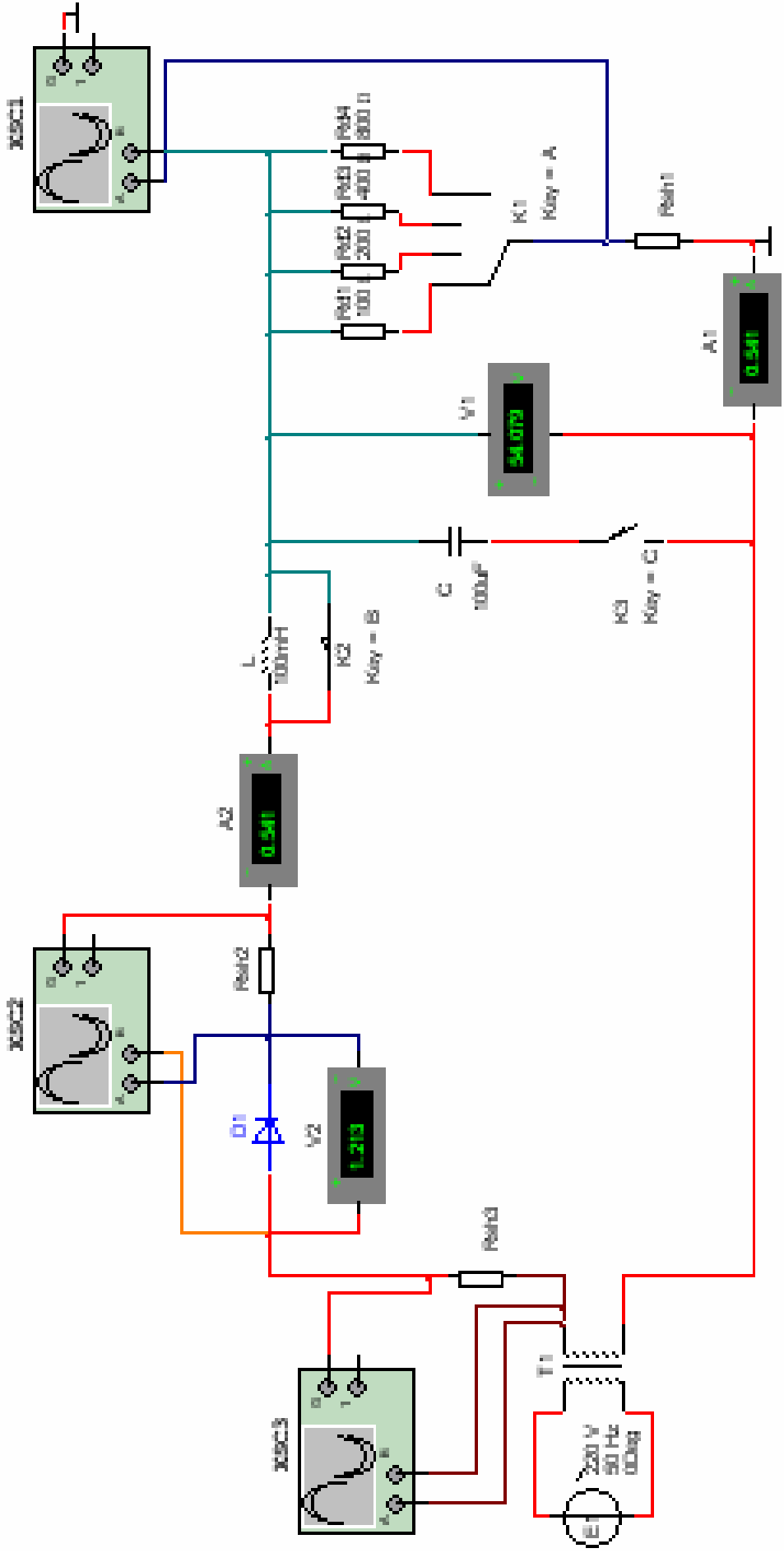
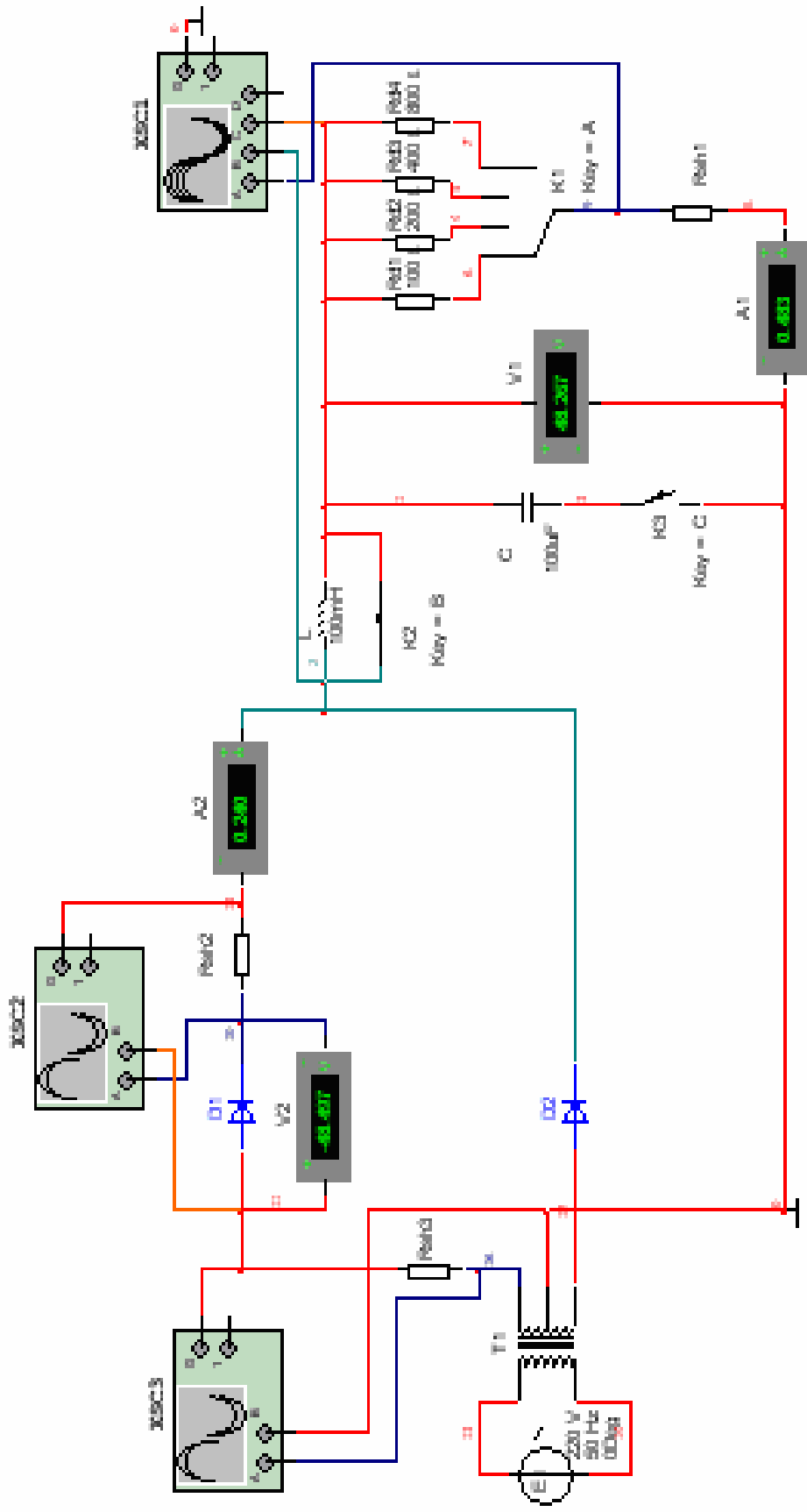


Рис. 1. Схема виртуальной лабораторной установки для исследования схемы однофазного однополупериодного выпрямителя (файл OOB)



Двухполупериодная схема выпрямления со средней точкой (рис.2)

В однофазной двухполупериодной схеме выпрямления со средней точкой вторичная обмотка трансформатора Tr имеет вывод средней точки.

Напряжение со вторичной обмотки трансформатора поступает на диоды $D1$ и $D2$, катоды которых соединены.

Выпрямитель может работать без сглаживающего фильтра и с различными видами фильтров.

Подготовка лабораторного стенда к работе

Открыть папку «Виртуальные лабораторные работы», находящуюся на «Рабочем столе» компьютера. Выделить файл с названием «ООВ» или «ОДВ» курсором мыши и нажать клавишу «Enter», либо два раза щелкнуть левой кнопкой мыши по этому файлу.

Перед Вами появится исследуемая схема лабораторной установки и подключенные к ней приборы для измерения (осциллографы, амперметры и вольтметры).

Для изменения параметров схемы необходимо пользоваться соответствующими клавишами:

- клавиша «А» имитирует ключ «К1» в схеме, служащий для изменения активного сопротивления нагрузки в пределах от 100 Ом до 800 Ом.

- клавиша «В» имитирует ключ «К2» в схеме, служащий для включения/выключения индуктивности фильтра.

- клавиша «С» имитирует ключ «К3» в схеме, служащий для включения/выключения ёмкости фильтра.

Если исследуемая схема готова к измерениям, то для её активации необходимо щёлкнуть на изображении молнии в панели инструментов или нажать клавишу «F5» на клавиатуре.

В случае случайного удаления или изменения схемы необходимо: закрыть программу нажатием кнопки в виде крестика в правом верхнем углу экрана, затем заново запустить и открыть файл с данной лабораторной работой.

Задание

1. Исследование однополупериодного выпрямителя.

Снять осциллограммы напряжения $U_2(t)$, тока $i_2(t)$ вторичной обмотки трансформатора, выпрямленных напряжений $U_d(t)$ до и после $U_o(t)$ фильтра, а также тока $i_{VD1}(t)$ и напряжения $U_{VD1}(t)$ диода $VD1$ при работе выпрямителя:

- а) без фильтра,
- б) с C – фильтром,
- в) с L – фильтром.

2. Исследование двухполупериодного выпрямителя со средней точкой.

Действуя аналогично п. I, исследовать схему выпрямителя.

3. Снять и построить внешние характеристики выпрямителя (для схемы выпрямления со средней точкой) при работе:

- а) без фильтра,
- б) с C – фильтром,
- в) с L – фильтром.

Методические указания по выполнению работы

К пунктам 1,2. Осциллограммы напряжений и токов снять при номинальном $I_{\text{дном}}$ токе нагрузки, соответствующие значению нагрузки $R_{\text{д1}}=100$ Ом для следующих случаев:

- а) выпрямитель без фильтра («К2» - замкнуть, («К3» - разомкнуть)
- б) выпрямитель с C – фильтром («К2» - замкнуть, («К3» - замкнуть)
- в) выпрямитель с L – фильтром («К2» - разомкнуть, («К3» - разомкнуть).

К пунктам 3. Для построения внешней характеристики необходимо измерить значения тока и напряжения с нагрузок $R_{\text{д1}} \div R_{\text{д4}}$, переключая ключ «К1» на разные значения сопротивления нагрузки. Внешние характеристики строятся для случаев:

- а) выпрямитель без фильтра («К2» - замкнуть, («К3» - разомкнуть)
- б) выпрямитель с C – фильтром («К2» - замкнуть, («К3» - замкнуть)
- в) выпрямитель с L – фильтром («К2» - разомкнуть, («К3» - разомкнуть).

Содержание отчета

Отчет должен включать:

1. Схемы виртуальной лабораторной работы исследуемых выпрямителей без фильтра, с C - и L - фильтрами.
2. Осциллограммы напряжений и токов $U_2(t)$, $i_2(t)$, $U_d(t)$, $i_d(t)$, $U_o(t)$, $U_{\text{вд}}(t)$, $i_{\text{вд}}(t)$ для исследуемых схем выпрямителей без фильтра, с C - и L - фильтром (три семейства осциллограмм).
3. Внешние характеристики для каждого выпрямителя в одном масштабе (три семейства кривых) при работе без фильтра, с C - и L - фильтром.

Схема установки, графики и осциллограммы должны быть распечатаны. Отчет составляется каждым студентом самостоятельно.

Вопросы для допуска к лабораторной работе

1. Для чего служат выпрямители?
2. Чем отличаются однополупериодные выпрямители от двухполупериодных?

3. Что называется внешней характеристикой выпрямителя и как ее получают?
4. Как влияют сглаживающие фильтры на величину выходного напряжения выпрямителя и его внешнюю характеристику.

Вопросы к защите лабораторной работы

1. Поясните принцип работы исследованных выпрямителей.
2. Почему при работе выпрямителя с емкостным сглаживающим фильтром угол проводимости диодов меньше угла проводимости диодов выпрямителя при работе без фильтра?
3. Объясните ход характеристик (внешних) выпрямителя при работе на различные виды сглаживающих фильтров.
4. Чем отличается однополупериодный выпрямитель от двухполупериодного выпрямителя со средней точкой?

Виртуальная лабораторная работа №2

Исследование однофазного мостового выпрямителя

Цель работы

1. Изучение принципов выпрямления в схеме неуправляемого однофазного мостового выпрямителя с помощью осциллограмм токов и напряжений в основных ветвях схемы. Исследование внешних характеристик выпрямителя без сглаживающего фильтра и при использовании различных фильтров.

2. Использование комплекса программ Electronics Workbench (EWB) для компьютерного моделирования выпрямительных устройств.

Описание лабораторного стенда

Схема виртуальной лабораторной установки на базе пакета EWB для исследования неуправляемого мостового выпрямителя (файл OMB), показана на рис.1.

- источник (E1) синусоидального напряжения на 220 В, 50 Гц;
- однофазный трансформатор (Tr);
- полупроводниковые диоды (D1, D2, D3, D4);
- активное сопротивление (резисторы R_{d1} , R_{d2} , R_{d3} , R_{d4}) нагрузки
- индуктивность (L) сглаживающего фильтра
- измерители (амперметры V1, V2) средних значений напряжений на нагрузке и на диоде
- измерители (амперметры A1, A2) средних значений токов на нагрузке и на диоде
- осциллографы (XSC1, XSC2, XSC3) для наблюдения формы напряжений и токов на нагрузке, на диоде и на источнике питания.

В мостовой схеме выпрямления четыре диода VD1÷VD4 соединены так, что в течение одной половины периода сетевого напряжения вторичной обмотки трансформатора Tr подается на нагрузку через одну пару диодов VD1, VD4, а в течение половины периода – через другую пару VD2, VD3.

Подготовка лабораторного стенда к работе

Открыть папку “Виртуальные лабораторные работы”, находящуюся на “Рабочем столе” компьютера. Выделить файл с названием «OMB» курсором мыши и нажать клавишу «Enter», либо два раза щелкнув левой кнопкой мыши по этому файлу.

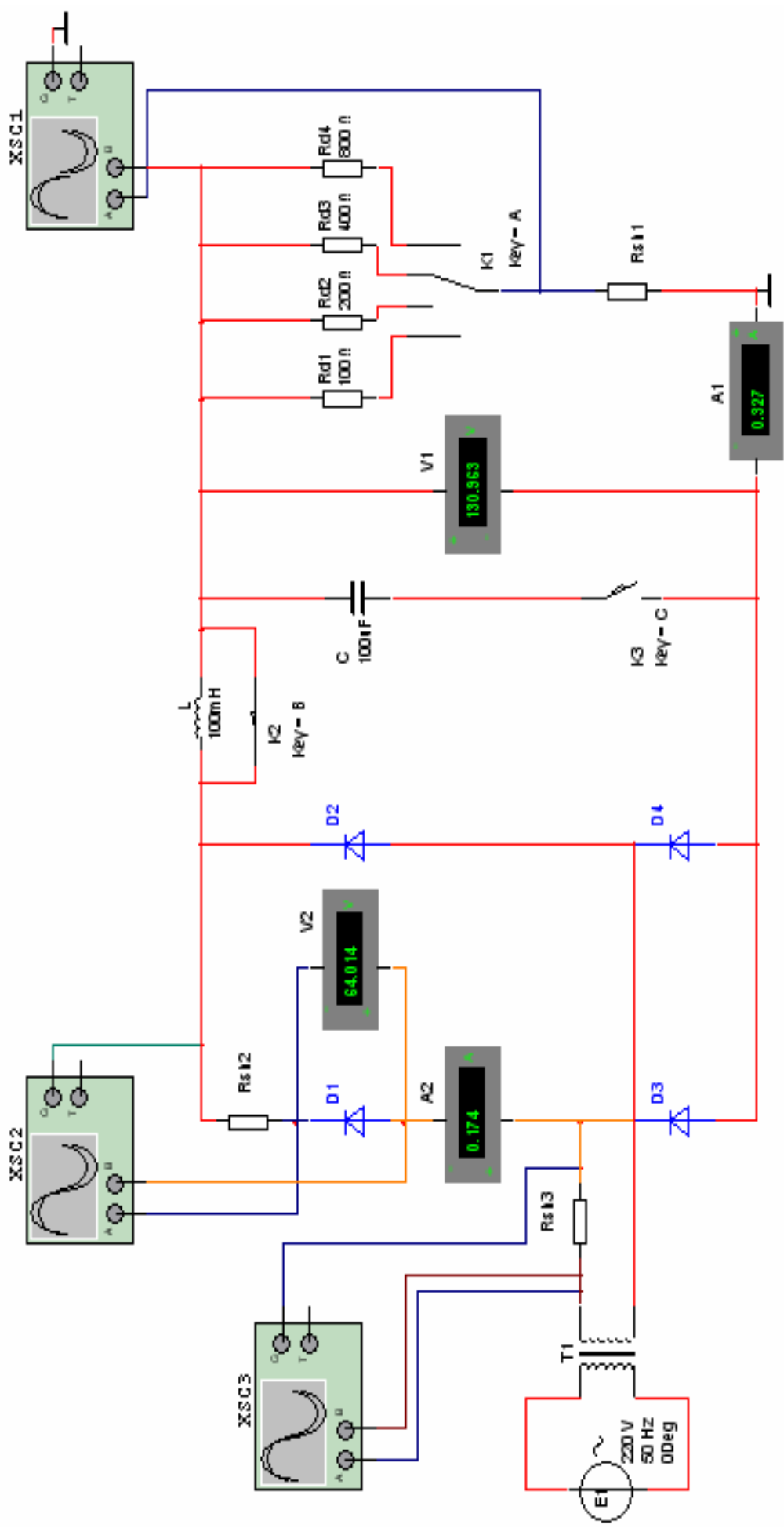


Рис. 1. Схема виртуальной лабораторной установки для исследования схемы однофазного мостового выпрямителя (файл OMB)

Перед вами появится исследуемая схема лабораторной установки и подключенные к ней приборы для измерения (осциллографы, амперметры и вольтметры).

Для изменения параметров схемы необходимо пользоваться соответствующими клавишами:

- клавиша «А» имитирует ключ «К 1» в схеме, служащий для изменения активного сопротивления нагрузки в пределах от 100 Ом до 800 Ом.

- клавиша «В» имитирует ключ «К 2» в схеме, служащий для включения, выключения индуктивности фильтра.

- клавиша «С» имитирует ключ «К3» в схеме, служащий для включения, выключения ёмкости фильтра.

Если исследуемая схема готова к измерениям, то для её активации необходимо щёлкнуть на изображении молнии в панели инструментов или нажать клавишу «F5» на клавиатуре.

В случае случайного удаления или изменения схемы необходимо: закрыть программу нажатием кнопки в виде крестика в правом верхнем углу экрана, затем заново запустить и открыть файл с данной лабораторной работой.

Задание

1. Снять осциллограммы напряжения $U_2(t)$ тока $i_2(t)$ вторичной обмотки трансформатора, выпрямленных напряжений $U_d(t)$ до и после $U_o(t)$ фильтра, а также тока $i_{vd1}(t)$ и напряжения $U_{vd}(t)$ диода D1 при работе выпрямителя:

- а) без фильтра,
- б) с С-фильтром,
- в) с L-фильтром.

2. Снять и построить внешние характеристики выпрямителя при работе:

- а) без фильтра,
- б) с С - фильтром,
- в) с L- фильтром.

Методические указания по выполнению работы

К пункту 1. Осциллограммы напряжений и токов снять при номинальном $I_{d\text{ ном}}$ токе нагрузки, соответствующий значению нагрузки, соответствующий значению нагрузки $R_{d1}=100$ Ом для следующих случаев:

К пункту 2. Для построения внешней характеристики необходимо измерить значения тока и напряжения с нагрузок $R_{d1}-R_{d4}$, переключая ключ «К1» на разные значения сопротивления нагрузки. Внешние характеристики строятся для случаев:

- а) выпрямитель без фильтра («К2»- замкнут, «К3»-разомкнут);
- б) выпрямитель с С-фильтром («К2»-замкнут, «К3»-замкнут);
- в) выпрямитель с L – фильтром («К2»-разомкнут, «К3»-разомкнут).

Содержание отчета

Отчет должен включать:

1. Схемы виртуальной лабораторной работы исследуемого выпрямителя без фильтра, с С- и L-фильтрами по отдельности.
2. Осциллограммы напряжений и токов $U_2(t)$, $i_2(t)$, $U_d(t)$, $i_d(t)$, $U_o(t)$, $U_{vd}(t)$, $i_{vd}(t)$ для исследуемой схемы выпрямителя без фильтра, с С-и L-фильтром.
3. Внешние характеристики выпрямителя должны быть в одном масштабе для случаев: без фильтра, с С-фильтром и L – фильтром.

Схема установки, графики и осциллограммы должны быть распечатаны. Отчет составляется каждым студентом самостоятельно.

Вопросы для допуска к лабораторной работе

1. Для чего служат выпрямители?
2. Чем отличается мостовой выпрямитель от выпрямителя со средней точкой?
3. Что называется внешней характеристикой выпрямителя и как ее получают на опыте.
4. Как влияют сглаживающие фильтры на величину выходного напряжения выпрямителя и его внешнюю характеристику?

Вопросы к защите лабораторной работы

1. Поясните принцип работы исследованного выпрямителя.
2. Почему при работе выпрямителя с С – сглаживающим фильтром угол проводимости диодов меньше угла проводимости диодов выпрямителя при работе без фильтра.
3. Объясните ход внешних характеристик выпрямителя при работе на различные виды сглаживающих фильтров.

Виртуальная лабораторная работа № 3

Исследование сглаживающих фильтров

Цель работы

1. Изучение принципов сглаживания пульсаций выпрямленного напряжения различными схемами сглаживающих фильтров с помощью осциллограмм токов и напряжений в основных ветвях схемы, а также определение коэффициента сглаживания исследуемых сглаживающих фильтров, включаемых на выходе однофазного мостового выпрямителя.
2. Использование комплекса программ Electronics Workbench (EWB) для компьютерного моделирования выпрямительных устройств.

Описание лабораторного стенда

Схема виртуальной лабораторной работы на базе пакета EWB для исследования сглаживающих фильтров (файл СФВ), показана на рис.4.

Она содержит:

- источник (E1) синусоидального напряжения на 220В, 50 Гц;
- однофазный трансформатор (Tr);
- полупроводниковые диоды (D1, D2, D3,D4);
- активное сопротивление (резисторы R_{d1} , R_{d2} , R_{d3} , R_{d4}) нагрузки;
- индуктивности (L1, L2) сглаживающего фильтра;
- ёмкости (C1,C2) сглаживающего фильтра;
- активное сопротивление (резистор R1) сглаживающего фильтра;
- измерители (мультиметры ХММ1, ХММ2)средних значений напряжений до и после сглаживающего фильтра;
- осциллографы (ХКС1, ХКС2) для наблюдения напряжений до и после сглаживающего фильтра.

Подготовка лабораторного стенда к работе

Открыть папку «Виртуальные лабораторные работы»,находящуюся на «Рабочем столе» компьютера. Выделить файл с названием «СФВ» курсором мыши и нажать клавишу «Enter», либо два раза щелкнув левой кнопкой мыши по этому файлу.

Перед вами появится исследуемая схема лабораторной установки и подключенные к ней приборы для измерения (осциллографы, амперметры и вольтметры).

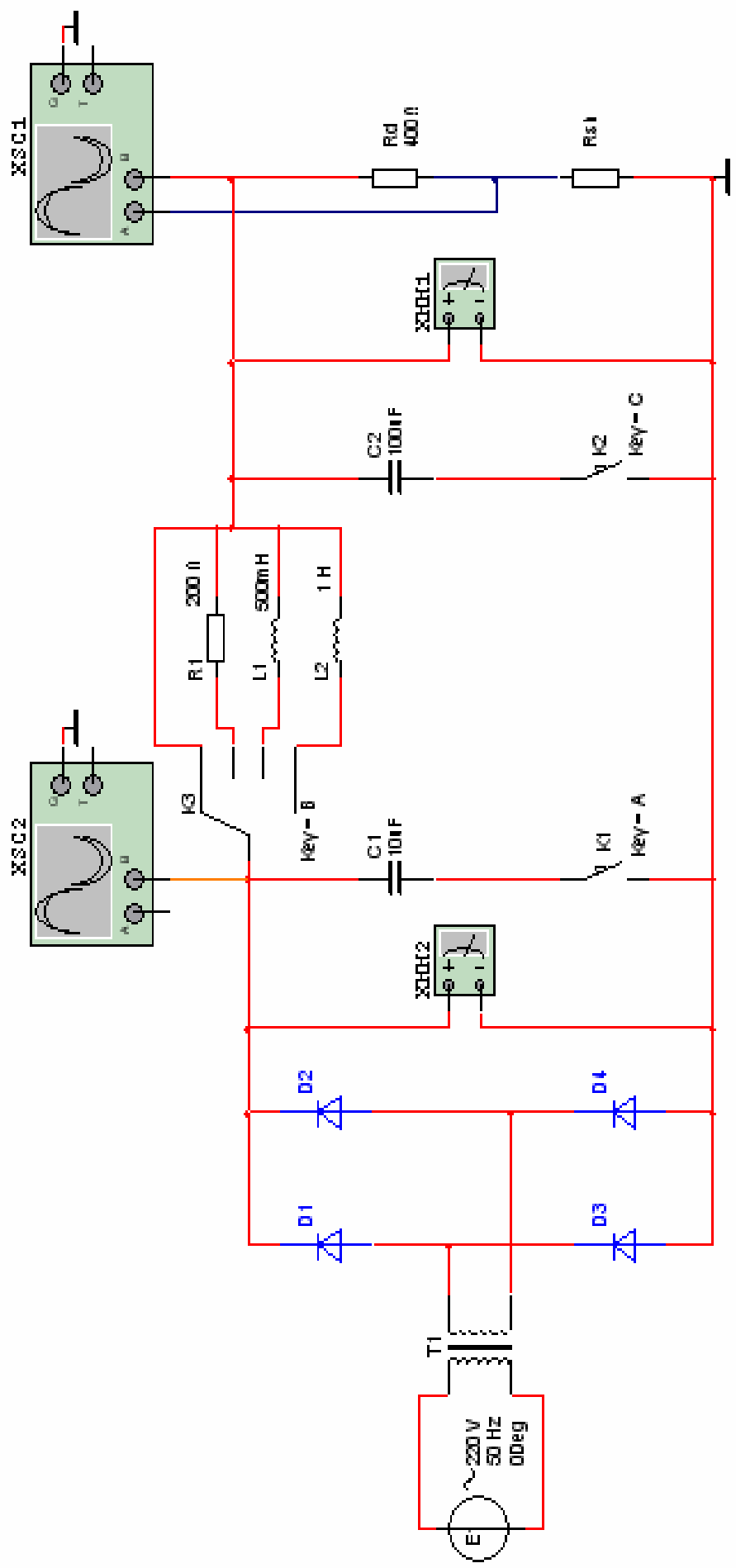


Рис. 1. Схема виртуальной лабораторной установки для исследования схем сглаживающих фильтров (файл СФМ)

Для изменения параметров схемы необходимо пользоваться соответствующими клавишами:

-клавиша «А» имитирует ключ «К1» в схеме, служащий для включения/выключения ёмкости $C1$ сглаживающего фильтра:

-клавиша «С» имитирует ключ «К2» в схеме, служащий для включения и выключения ёмкости $C2$ сглаживающего фильтра.

-клавиша «В» имитирует ключ «К3» в схеме, служащий для переключения индуктивности $L1$, $L2$ и сопротивления $R1$ сглаживающего фильтра или для создания работы выпрямителя без сглаживающего фильтра

Если исследуемая схема готова к измерениям, то для её активации необходимо щёлкнуть на изображении молнии в панели инструментов или нажать клавишу «F5» на клавиатуре.

В случае случайного удаления или изменения схемы необходимо: закрыть программу нажатием кнопки в виде крестика в правом верхнем угле экрана, затем заново запустить, и открыть файл с данной лабораторной работой.

Задание

1. Исследование С- фильтров.

1. С – фильтр (для ёмкости $C1$: «К1»- замкнут, «К2»-разомкнут, «К3» - крайнее верхнее положение; для ёмкости $C2$: «К1» - разомкнут, «К2» - замкнут, «К3»- крайнее верхнее положение).

Зарисовать осциллограммы напряжений на входе $U_d(t)$ и на выходе $U_0(t)$ фильтра, а также измерить их средние значения U_d , U_0 и амплитудные значения пульсаций $U_0(t)$ фильтра, а также измерить их средние значения U_d , U_0 и амплитудные значения пульсаций U_{dm1} , U_{0m} для значений ёмкости $C1$ и $C2$.

По результатам измерений вычислить значения коэффициентов пульсации q_{nd} и q_{no} А также сглаживания С фильтра.

2. Г- образный RC –фильтр (К1- разомкнут, «К2»- замкнут, «К3»-в положении R1).

Действуя аналогично п.п.1.1, исследовать схему фильтра с резистором $R1$ и емкостями $C1$, $C2$.

3. П-образный RC –фильтр («К1»- замкнут, «К2»- замкнут, «К3»-в положении R1).

Действуя аналогично п.п.1.1, исследовать схему фильтра с резистором $R1$ и емкостями $C1$, $C2$.

II. Исследование L- фильтров.

1. L- фильтра («К1»-разомкнут, «К2»-разомкнут, «К3»- в положении $L1$ или $L2$).

Действуя аналогично п.п.1.1,-исследовать схему фильтра для значений индуктивности $L1$ и $L2$.

2. Г- образный LC- фильтр («К1»)-разомкнут, «К2»-замкнут. «К3» - в положении $L1$ или $L2$).

Действия аналогично п.п.1.1, исследовать схему фильтра с индуктивностью $L1$, емкостью $C1$.

3. П-образный LC –фильтр («К1»- замкнут, «К2»- замкнут, «К3»-в положении $L1$).

Действуя аналогично п.п.1.1,-исследовать схему фильтра для значений индуктивности $L1$ и емкостями $C1, C2$.

Методические указания по выполнению работы

Для четкого представления осциллограмм напряжений $U_d(t)$ и $U_0(t)$ в каждом пункте исследования заранее делают их заготовки на миллиметровке с указанием кривой $U_2(t)$. Осциллографирование напряжений $U_d(t)$ и $U_0(t)$ для всех типов фильтров производится при одном и том же настройке параметров осциллографа.

Результаты измерений и расчетов заносят в таблицу

		С-фильтр				L-фильтр			
		C1	C2	R1C1	C1R1C2	L1	L2	L1C1	C1L1C2
Измерения	$U_d, В$								
	$U_0, В$								
	$U_{dm1}, В$								
	$U_{om1}, В$								
Расчеты	Q_{nd}								
	Q_{no}								
	S								

Содержание отчета

Отчет должен включать:

1. Схему виртуальной лабораторной установки исследуемых сглаживающих фильтров.
2. Осциллограммы напряжений $U_d(t)$ и $U_0(t)$ для всех типов сглаживающих фильтров.
3. Таблица результатов измерений и расчетов.

Вопросы для допуска к лабораторной работе

1. Для чего служат сглаживающие фильтры?
2. Что такое коэффициент пульсации и коэффициент сглаживания?
3. Как измеряются средние значения пульсирующего сигнала и его амплитуда пульсации?

Вопросы к защите лабораторной работы

1. Объясните основные параметры выпрямленного напряжения.
2. Объясните принцип действия С–фильтра. Как определяются параметры элементов С–фильтров?
3. Объясните принцип действия L–фильтра. Как определяются параметры элементов С–фильтров?
4. Объясните принцип действия электронного фильтра. В каких случаях целесообразно использовать электронные фильтры?
5. Почему сглаживающие фильтры влияют на вид внешней характеристики выпрямителя?

Виртуальная лабораторная работа № 4

Исследование однофазного управляемого выпрямителя со средней точкой

Цель работы

1. Изучение принципов работы схемы однофазного управляемого выпрямителя со средней точкой с помощью осциллограмм токов и напряжений в основных ветвях схемы. Исследование регулировочных и внешних характеристик выпрямителя при различных углах управления и нагрузках.
2. Использование комплекса программ Electronics Workbench (EWB) для компьютерного моделирования выпрямительных устройств.

Описание лабораторного стенда

Схема виртуальной лабораторной установки на базе пакета HSPICE для исследования однофазного управляемого выпрямителя со средней точкой (файл ОУВ) показана на рис.1.

-источники (E1, E2) синусоидального напряжений на 220 В, 50 Гц, имитирующие напряжения вторичных обмоток силового трансформатора выпрямителя со средней точкой;

-функциональный генератор (XFG1), имитирующий систему управления выпрямителя;

- тиристоры (T1, T2);

- активное сопротивление (резисторы R_{d1} , R_{d2} , R_{d3} , R_{d4}) нагрузки;

- индуктивность (L) нагрузки;

- измеритель (вольтметр 1) среднего значения напряжения на нагрузке;

- измеритель (амперметр A1) среднего значения тока на нагрузке;

- осциллографы (XSC1, XSC2, XSC3) для наблюдения формы напряжений и токов на нагрузке, на тиристоре и на функциональном генераторе.

Подготовка лабораторного стенда к работе

Открыть папку «Виртуальные лабораторные работы», находящуюся на «Рабочем столе» компьютера. Выделить файл с названием «ОУВ» курсором мыши и нажать клавишу «Enter», либо два раза щелкнув левой кнопкой мыши по этому файлу.

Перед Вами появится исследуемая схема лабораторной установки и подключенные к ней приборы для измерения (осциллографы, амперметр, вольтметр и генератор).

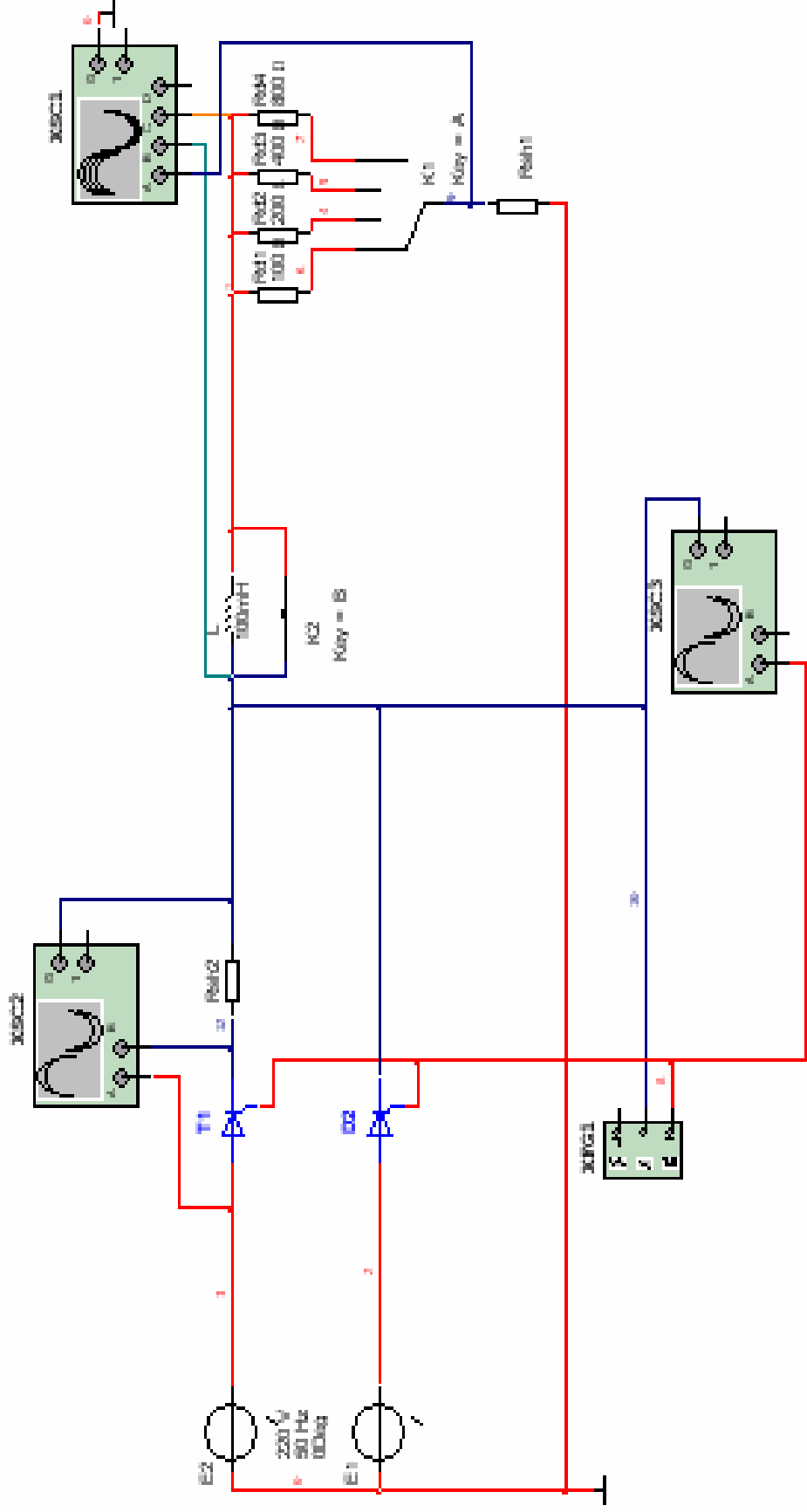


Рис.1. Схема виртуальной лабораторной установки для исследования схемы однофазного управляемого выпрямителя со средней точкой (файл ОУВ)

Для изменения параметров схемы необходимо пользоваться соответствующими клавишами:

- клавиша “А” имитирует ключ «К 1» в схеме и служащий для изменения активного сопротивления нагрузки в пределах от 100 Ом до 800 Ом.

- клавиша “В” имитирует ключ «К2» в схеме, служащий для включения /выключения индуктивности нагрузки.

Если исследуемая схема готова к измерениям, то для её активации необходимо щёлкнуть на изображении молнии в панели инструментов или нажать клавишу «Ф5» на клавиатуре.

В случае случайного удаления или изменения схемы необходимо: закрыть программу нажатием кнопки в виде крестика в правом верхнем угле экрана, затем заново запустить и открыть файл с данной лабораторной работой.

Рабочее задание

1. Снять регулировочную характеристику $U_{d\alpha} = f(\alpha)$ при R_d и $R_d L_d$ нагрузках.
2. Снять внешнюю характеристику при $U_{d\alpha} = f(I_d)$ при R_d и $R_d L_d$ нагрузках для $\alpha = 0^\circ$ и $\alpha = 30^\circ$.
3. Снять осциллограммы $U_d(\sigma)$, $i_d(\sigma)$, $i_a(\sigma)$, $U_{ак}(\sigma)$, при R_d и $R_d L_d$ нагрузках для $\alpha = 0^\circ$ и $\alpha = 30^\circ$.

Методические указания по выполнению работы

К пункту 1. Для построения регулировочной характеристики выпрямителя необходимо изменять момент подачи отпирающих импульсов от системы управления, т.е. угла регулирования. Значения угла регулирования α изменяется путём изменения коэффициента скважности γ выходных сигналов функционального генератора. Соответствие α и γ имеет следующий вид:

α (град)	0°	30°	60°	90°	120°	150°	180°
γ (%)	1	16	33	50	67	83	99

К пункту 2. Для построения внешней характеристики необходимо измерить значения тока и напряжения с нагрузки, переключая ключ «К1» на разные значения сопротивления $R_{d1} \div R_{d4}$. Внешние характеристики строятся для случаев:

- а) для R_d нагрузки («К2» - замкнут);
- в) для $R_d L_d$ нагрузки («К2» - разомкнут).

К пункту 3. Осциллограммы напряжений и токов снять при номинальном $I_{\text{дном}}$ токе нагрузки, соответствующее значению нагрузки $R_{\text{д1}}=100$ Ом для следующих случаев:

- а) для $R_{\text{д}}$ нагрузки («К2» - замкнут);
- в) для $R_{\text{д}} L_{\text{д}}$ нагрузки («К2» - разомкнут).

Содержание отчета

Отчет должен включать:

1. Схема виртуальной лабораторной работы исследуемого выпрямителя.
2. Осциллограммы напряжений и токов.
3. Регулировочные и внешние характеристики для каждого случая в одном масштабе (три семейства кривых).

Схема установки, графики и осциллограммы должны быть распечатаны. Отчет составляется каждым студентом самостоятельно.

Вопросы для допуска к лабораторной работе

1. Поясните принцип действия однофазного регулируемого выпрямителя со средней точкой.
2. Что такое угол регулирования α и как зависит среднее значение напряжения $U_{\text{д}\alpha}$ на нагрузке от угла α в управляемых выпрямителях?
3. Как устанавливать требуемый угол α .
4. Какие формы должны иметь осциллограммы токов и напряжений и как их получить?
5. Что такое регулировочная характеристика в управляемых выпрямителях?

Вопросы к защите лабораторной работы

1. Как осуществляется регулирование напряжения на нагрузке в управляемых выпрямителях?
2. Проанализируйте последовательность переключения тиристорov и осциллограмм $U_{\text{д}}(\nu)$, $i_{\text{д}}(\nu)$ совместно с осциллограммой тока тиристора в схеме со средней точкой при $\alpha = 0^\circ$, $\alpha = 30^\circ$:
а) при активной нагрузке; б) при активно-индуктивной нагрузке.
3. Объясните факторы, влияющие на внешнюю характеристику управляемого выпрямителя.
4. Объясните форму регулировочной характеристики управляемого выпрямителя:
а) при активной нагрузке; б) при активно-индуктивной нагрузке.
5. Объясните факторы, влияющие на коэффициент мощности и КПД выпрямителя.

Виртуальная лабораторная работа № 5

Исследование трехфазного однотактного выпрямителя со средней точкой (схема Миткевича)

Цель работы

1. Изучение принципа работы и внешней характеристики неуправляемого трехфазного выпрямителя со средней точкой, экспериментальная проверка основных соотношений между токами и напряжениями, ознакомление с формой кривых напряжений и токов в различных звеньях схемы выпрямителя.

2. Использование комплекса программ Electronics Workbench (EWB) для компьютерного моделирования выпрямительных устройств.

Описание лабораторного стенда

Схема виртуальной лабораторной установки на базе пакета УИБ для исследования неуправляемого трехфазного выпрямителя со средней точкой (файл ТСТ), показана рис. 5.

- источники (E1, E2, E3) синусоидального напряжения на 220 В, 50 Гц;
- полупроводниковые диоды (D1, D2, D3);
- активное сопротивление (резисторы R_{d1} , R_{d2} , R_{d3} , R_{d4}) нагрузки;
- индуктивность (L_d)
- измерители (вольтметры V1, V2) средних значений напряжений на нагрузке и на диоде;
- измерители (амперметры A1, A2) средних значений напряжений на нагрузке и на диоде;
- осциллографы (ХКС1, ХКС2) для наблюдения формы напряжений и токов на нагрузке, диоде и источнике питания.

В библиотеке компонентов программы EWB отсутствует модель трехфазного трансформатора, необходимого для создания виртуального стенда трехфазных схем выпрямителей.

В этой работе эта проблема решена путем применения трех источников синусоидального напряжения (E1, E2, E3), сдвинутых по фазе друг относительно друга на 120° . Эти источники имитируют напряжение вторичных обмоток трансформатора, последовательно к источникам могут быть включены активные сопротивления и индуктивности.

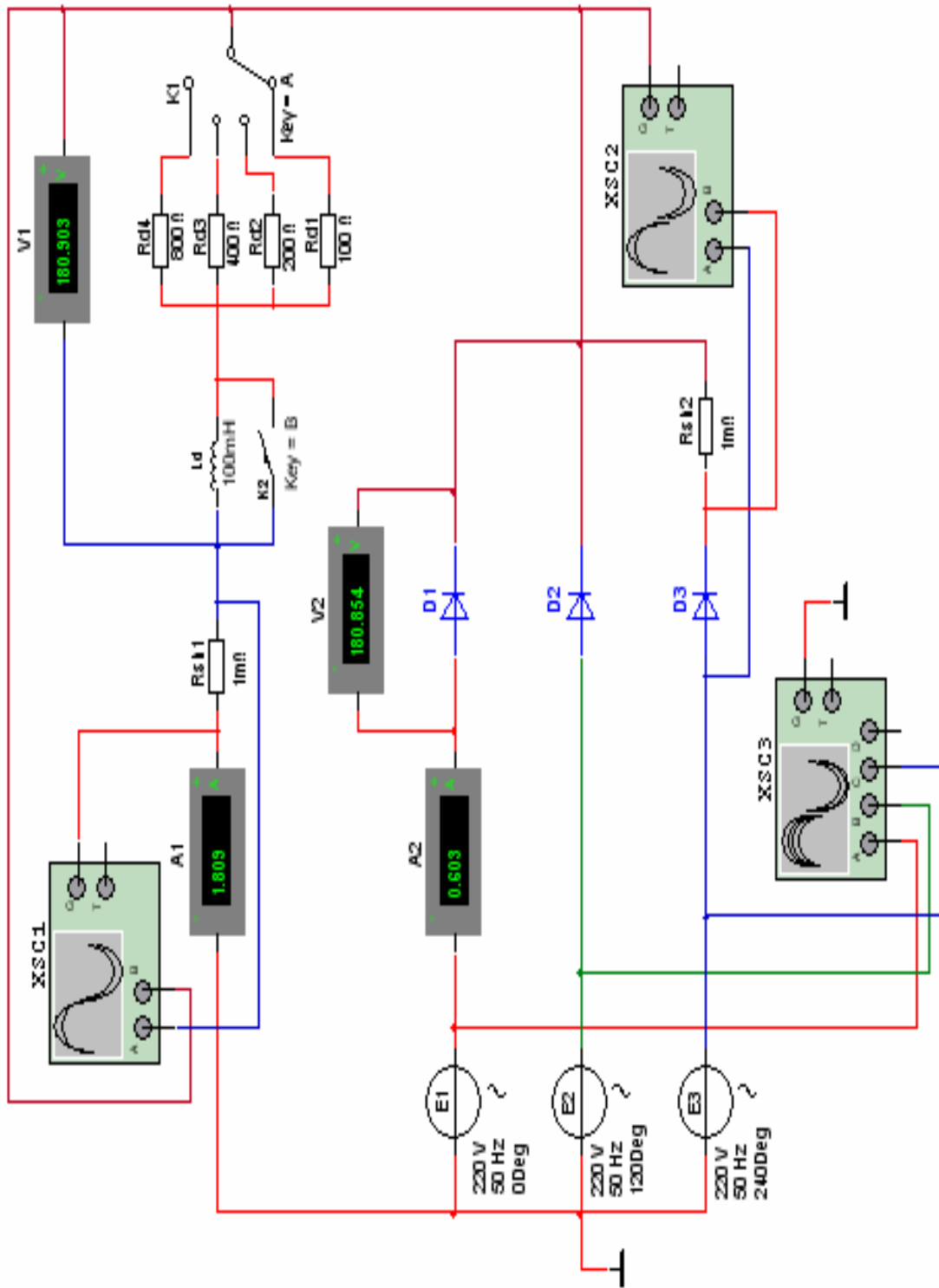


Рис.1 Схема виртуальной лабораторной установки для исследования схемы трехфазного выпрямителя со средней точкой (файл ТСТ)

Подготовка лабораторного стенда к работе

Открыть папку «Виртуальные лабораторные работы», находящуюся на «Рабочем столе» компьютера. Выделить файл с названием «ТСТ» курсором мыши и нажать клавишу «Enter», либо два раза щелкнув левой кнопкой мыши по этому файлу.

Перед вами появится исследуемая схема лабораторной установки и подключенные к ней приборы для измерения (осциллографы, амперметры и вольтметры).

Для изменения параметров схемы необходимо пользоваться соответствующими клавишами:

- клавиша «А» имитирует ключ «К1» в схеме, служащий для изменения активного сопротивления нагрузки в пределах от 100 Ом до 800 Ом.

- клавиша «В» имитирует ключ «К2» в схеме, служащий для включения/выключения индуктивности L_d .

В случае случайного удаления или изменения, или изменения схемы необходимо: закрыть программу нажатием кнопки в виде «х» в правом верхнем углу экрана, затем заново запустить и открыть файл с данной лабораторной работой.

Задание

1. Снять и построить внешние характеристики выпрямителя $U_d=f(I_d)$ при активной (R_d) и активно-индуктивной ($R_d L_d$) нагрузках.

2. Замерить показания измерительных приборов и по полученным данным определить соотношения напряжений и токов:

$$\frac{U_d}{U_2}, \frac{I_a}{I_d}, \frac{I_2}{I_d}$$

при работе выпрямителя на активную нагрузку.

3. Снять осциллограммы:

а) напряжения U_d и тока I_d на грузке.

б) напряжения $U_{ак}$ и тока i_2 на вентиле.

в) напряжения U_2 и тока i_2 источника питания (имитирующего напряжения и тока вторичной обмотки трансформатора), при работе выпрямителя на $R_d L_d$ нагрузках.

Методические указания по выполнению работы

К пункту 1. Для построения внешней характеристики необходимо измерить значения тока и напряжения нагрузки для различных значений резисторов $R_{d1}-R_{d4}$, как для активного, так и для активно-индуктивного характера сопротивления нагрузки. При этом для получения активного сопротивления нагрузки ключ «К2» замкнут, а ключ «К1» соединяет поочередно соответствующий резистор. Для получения активно-

индуктивного сопротивления нагрузки ключ «K2» разомкнут, а ключ «K1» соединяет поочередно соответствующий резистор.

К пункту 2. Соотношения для напряжений и токов определить при значении $I_{d,ном}$ выпрямленного тока, соответствующий значению нагрузки $R_{d1}=100\text{Ом}$.

К пункту 3. Осциллограммы напряжений и токов снять при номинальном $I_{d,ном}$ токе нагрузки, соответствующий значению нагрузки $R_{d1}=0\text{Ом}$.

Содержание отчета

Отчет должен включать:

1. Описание лабораторной работы, включая схему виртуальной лабораторной установки.
2. Графики зависимостей $U_d=f(I_d)$ при активной и активно-индуктивной нагрузках.
3. Осциллограммы токов и напряжений.
4. Результат сравнения полученных данных с теоретическими.

Схема установки, графики и осциллограммы должны быть распечатаны. Отчет составляется каждым студентом самостоятельно.

Вопросы для допуска к выполнению лабораторной работы

1. Объясните ход внешней характеристики выпрямителя.
2. Чему равна максимальная величина обратного напряжения на вентиле?
3. Сравните соответствующие осциллограммы токов и напряжений на различных элементах выпрямителя при работе на активную и активно – индуктивную нагрузки. Объясните причину отличия этих осциллограмм.
4. Чем отличаются трехфазные выпрямители от однофазных.?
5. Как выбирается вентиль в трехфазных выпрямителях?
6. Имеет ли место вынужденное намагничивание сердечника трансформатора? Почему?

Вопросы к защите лабораторной работы

1. Объясните ход внешней характеристики выпрямителя.
2. Чему равна максимальная величина обратного напряжения на вентиле?
3. Сравните соответствующие осциллограммы токов и напряжений на различных элементах выпрямителя при работе на активную и активно – индуктивную нагрузки. Объясните причину отличия этих осциллограмм.
4. Чем отличаются трехфазные выпрямители от однофазных?
5. Как выбирается вентиль в трехфазных выпрямителях?
6. Имеет ли вынужденное намагничивание сердечника трансформатора? Почему?

Виртуальная лабораторная работа № № 6

Исследование трехфазного мостового выпрямителя (схема Ларионова)

Цель работы

1. Изучение принципа работы и внешней характеристики неуправляемого трехфазного мостового выпрямителя, экспериментальная проверка основных соотношений между токами и напряжениями, ознакомление с формой кривых напряжений и токов в различных звеньях схемы выпрямителя.
2. Использование комплекса программ Electronics Work Bench (EWB) для компьютерного моделирования выпрямительных устройств.

Описание лабораторного стенда

Схемы виртуальной лабораторной установки на базе пакета EWB для исследования неуправляемого трехфазного мостового выпрямителя (файл ТМВ), показана на рис.1.

Она содержит:

- источники (E1, E2, E3) синусоидального напряжения на 220 В, 50 Гц;
- полупроводниковые диоды (D1, D2, D3, D4, D5, D6);
- активное сопротивление (резисторы R_{d1} , R_{d2} , R_{d3} , R_{d4}) нагрузки;
- индуктивность (L_d) нагрузки;
- измерители (вольтметры V1, V2) средних значений напряжений на нагрузке и на диоде;
- измерители (амперметры A1, A2) средних значений токов на нагрузке и на диоде;
- осциллографы (XSC1, XSC2, XSC3) для наблюдения формы напряжений и токов на нагрузке, диоде и источнике питания.

В библиотеке компонентов программы EWB отсутствует модель трехфазного трансформатора, необходимого для создания виртуального стенда трехфазных схем выпрямителей.

В этой работе эта проблема решена путем применения трех источников синусоидального напряжения (E1, E2 и E3), сдвинутых по фазе друг относительно друга на 120° . Эти источники имитируют напряжение вторичных обмоток трансформатора, а для отражения параметров обмоток трансформатора последовательно к источникам могут быть включены активные сопротивления и индуктивности.

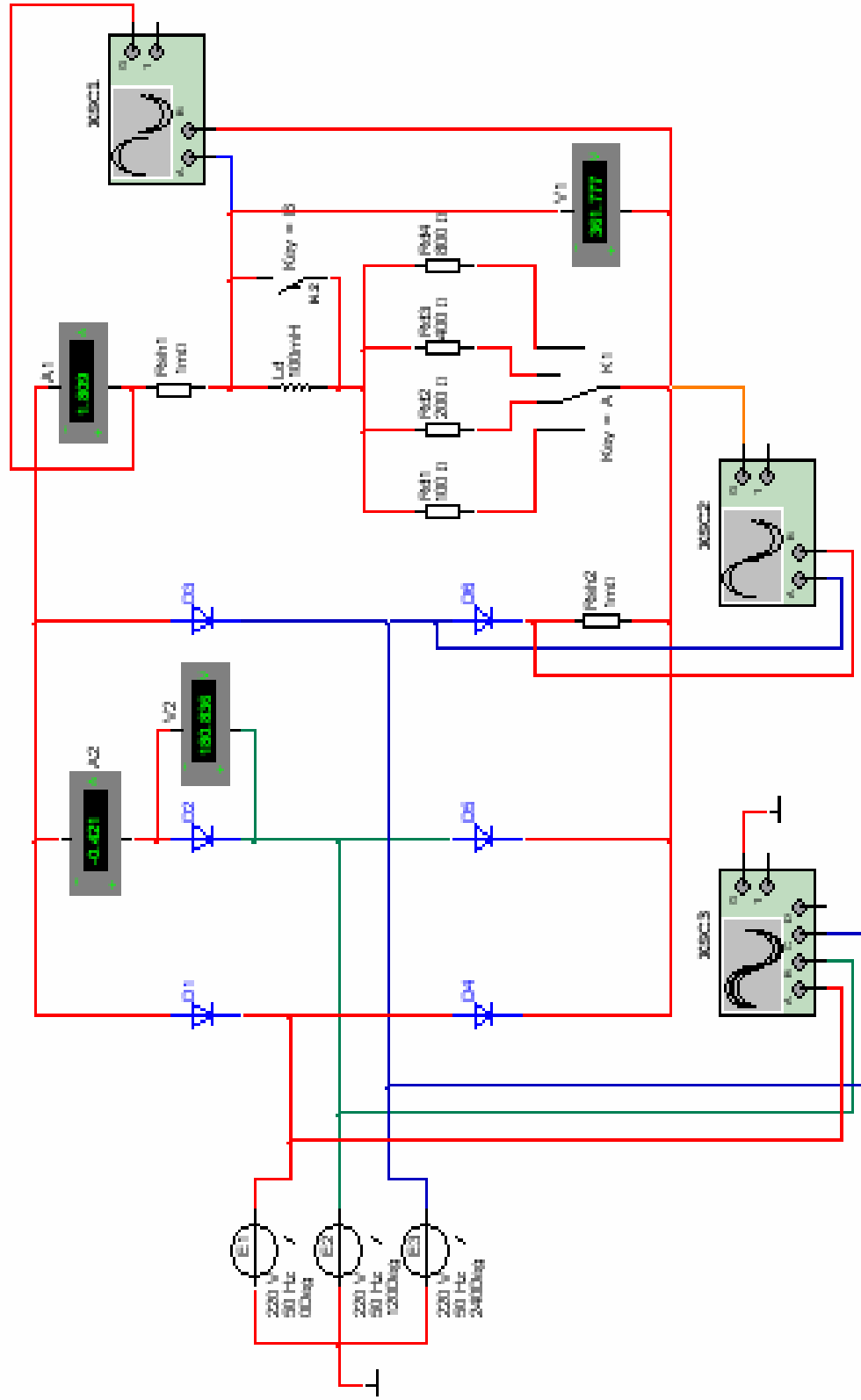


Рис. 1 Схема виртуальной лабораторной установки для исследования схемы трехфазного мостового выпрямителя (файл ТМВ)

Подготовка лабораторного стенда к работе

Открыть папку «Виртуальные лабораторные работы», находящуюся на «Рабочем столе» компьютера. Выделить файл с названием «ТМВ» курсором мыши и нажать клавишу «Enter», либо два раза щелкнув левой кнопкой мыши по этому файлу.

Перед вами появится исследуемая схема лабораторной установки и подключенные к ней приборы для измерения (осциллографы, амперметры и вольтметры).

Для изменения параметров схемы необходимо пользоваться соответствующими клавишами:

- клавиша «А» имитирует ключ «K1» в схеме, служащий для изменения активного сопротивления нагрузки в пределах от 100 Ом до 800 Ом.

- клавиша «В» имитирует ключ «K2» в схеме, служащий для включения/выключения индуктивности L_d нагрузки.

Если исследуемая схема готова к измерениям, то для её активации необходимо щёлкнуть на изображении молнии в панели инструментов или нажать клавишу «F5» на клавиатуре.

В случае случайного удаления или изменения схемы необходимо: закрыть программу нажатием кнопки в виде крестика в правом верхнем углу экрана, затем заново запустить и открыть файл с данной лабораторной работой.

Задание

1. Снять и построить внешние характеристики выпрямителя $U_d = f(I_d)$
2. Замерить показания измерительных приборов и по полученным данным определить соотношения напряжений и токов:

$$\frac{U_d}{U_2}; \frac{I_a}{I_d}; \frac{I_2}{I_d}$$

при работе выпрямителя на активную нагрузку.

3. Снять осциллограммы:

а) напряжения U_d и I_d тока на нагрузке.

б) напряжения U_{ak} и i_a тока источника на вентиле.

в) напряжения U_2 и тока i_a источника питания

(имитирующего формы напряжения и тока вторичной обмотки трансформатора), при работе выпрямителя на R_d и $R_d L_d$ нагрузках.

Методические указания по выполнению работы

К пункту 1. Для построения внешней характеристики необходимо измерить значения тока и напряжения нагрузки для различных значений резисторов $R_{d1} \div R_{d4}$, как для активного, так и для активно-индуктивного характера сопротивления нагрузки. При этом для получения активного

сопротивления нагрузки ключ “К2” замкнут, а ключ “К1” соединяет поочередно соответствующий резистор. Для получения активно-индуктивного сопротивления нагрузки ключ “К2” разомкнут, а ключ “К1” соединяет поочередно соответствующий резистор.

К пункту 2. Соотношения для напряжений и токов определить при значении $I_{d \text{ ном}}$ выпрямленного тока, соответствующий значению нагрузки $R_{d1}=100 \text{ Ом}$.

К пункту 3. Осциллограммы напряжений и токов снять при номинальном $I_{d \text{ ном}}$ токе нагрузки, соответствующий значению нагрузки $R_{d1}=100 \text{ Ом}$.

Содержание отчета

Отчет должен включать:

1. Описание лабораторной работы, включая схему виртуальной лабораторной установки.
2. Графики зависимостей $U_d=f(I_d)$ при активной и активно-индуктивной нагрузках.
3. Осциллограммы токов и напряжений.
4. Результат сравнения полученных данных с теоретическими.

Схема установки, графики и осциллограммы должны быть распечатаны. Отчет составляется каждым студентом самостоятельно.

Вопросы для допуска к выполнению лабораторной работы

1. Поясните принцип действия неуправляемого трехфазного мостового выпрямителя.
2. Какие формы должны иметь осциллограммы токов и напряжений на различных звеньях схемы и как их получить?
3. Как можно получить внешнюю характеристику выпрямителя?

Вопросы к защите лабораторной работы

1. Объясните ход внешней характеристики выпрямителя.
2. Чему равна максимальная величина обратного напряжения на вентиле?
3. Сравните соответствующие осциллограммы токов и напряжений на различных элементах выпрямителя при работе на активную и активно – индуктивную нагрузки. Объясните причину отличия этих осциллограмм.
4. Чем отличаются трехфазные выпрямители от однофазных?
5. Как выбирается вентиль в трехфазных выпрямителях?
6. Имеет ли вынужденное намагничивание сердечника трансформатора? Почему?

Литература

1. Березин О.К., Костиков В.Г., Шахнов В.А. Источники электропитания радиоэлектронной аппаратуры.-М.: «Три Л», 2000.-400с.
2. Электропитание устройств связи: Учебник для вузов/ А.А. Бокуняев, Б.В. Горбачев, В.Е.Китаев и др.; Под ред. В.Е.Китаева. – М.:Радио и связь, 1988. 280 с.
3. Бокуняев А.А., Горбачев Б.В.,Захаров М.Ф. и др. Электропитание устройств и систем телекоммуникаций (конспект лекций)-М.: МТУСИ. 2004, 129 с.
4. Электропитание устройств связи: Учебное пособие./ Б.М.Махкамджанов, М.Э.Яськова, У.Т.Алиев; Под ред. Х.С.Соатова – Ташкент: ТУИТ. 2005, 129 с.
5. Ромаш Э.М. Источники вторичного электропитания радиоэлектронной аппаратуры. – М.: Радио и связь, 1981. – 224 с.
6. Китаев В.Е., Бокуняев А.А., Колканов М.Ф. Расчет источников электропитания устройств связи. Учебное пособие для институтов связи. – М.: Радио и связь 1993. – 226 с.

Сборник виртуальных работ по курсу
«Электропитание устройств связи»

Методические указания обсуждены и
рекомендованы к печати на УМС ТУИТ
Протокол № от 2008 г.

Составители:

доц. Сапаев М.С.
доц. Махкамджанов Б.М.
ст.пр. Алиев У.Т.
ст.пр. Худайбергганов Ш.К.
ст. пр. Абдуллаева С.М.
асс. Амурова Н.Ю.

Редакционно-издательский сектор

Отв. редактор Абдуазизов А.А.

Корректор Абдуллаева С.Х..