

Министерство образования и молодежной политики
Чувашской Республики
Государственное автономное профессиональное
образовательное учреждение Чувашской Республики
«Чебоксарский техникум транспортных и строительных технологий»
(ГАПОУ «Чебоксарский техникум ТрансСтройТех»
Минобразования Чувашии)



Ю. В. Гуськов

Моделирование электрических цепей
в программе Electronics Workbench 5.12

Учебное пособие

Чебоксары 2018

ББК 31.21
Г-96

Рецензенты:

Логинов И.К., преподаватель высшей категории ГАПОУ «Чебоксарский техникум ТрансСтройТех» Минобразования Чувашии.

Иванов М.Ю., кандидат технических наук, заведующий кафедрой «Транспортные, технологические машины и наземные транспортно-технологические средства» Волжского филиала МАДГТУ (МАДИ).

Гуськов Ю. В.

Моделирование электрических цепей в программе Electronics Workbench 5.12: Учебное пособие. - Чебоксары: Изд-во Чебоксарского техникума ТрансСтройТех, 2018. – 39 с.: ил.

Приведены общие сведения о программе Electronics Workbench 5.12, описания компонентов, измерительных приборов, рекомендации по моделированию электрических схем, лабораторный практикум.

Для студентов специальности 23.02.04 Техническая эксплуатация подъемно-транспортных, строительных, дорожных машин и оборудования, профессий 23.01.06 Машинист дорожных и строительных машин, 15.01.05 Сварщик (ручной и частично механизированной сварки (наплавки)).

Рассмотрено и одобрено предметно-цикловой комиссией «Дорожник» ГАПОУ «Чебоксарский техникум ТрансСтройТех» Минобразования Чувашии (протокол № 3 от 23.11.2018 г.).

Рекомендовано методическим советом ГАПОУ «Чебоксарский техникум ТрансСтройТех» Минобразования Чувашии (протокол № __ от __ ____ 2018 г.).

ББК 31.21

© Ю. В. Гуськов, 2018
© Чебоксарский техникум
ТрансСтройтех, 2018

Содержание

Введение	4
1. Интерфейс программы Electronics Workbench 5.12	6
2. Компоненты	7
3. Измерительные приборы	12
4. Моделирование схем	17
5. Лабораторный практикум	18
Лабораторная работа 1. Преобразования двухполюсников	18
Лабораторная работа 2. Линейные цепи постоянного тока	21
Лабораторная работа 3. Последовательная цепь синусоидального тока	24
Лабораторная работа 4. Параллельная цепь синусоидального тока	26
Лабораторная работа 5. Соединение звездой в трехфазной цепи	28
Лабораторная работа 6. Соединение треугольником в трехфазной цепи	30
Лабораторная работа 7. Нелинейные цепи с диодами	32
Лабораторная работа 8. Нелинейные цепи с транзисторами	34
Заключение	37
Список литературы	38

Введение

Проверка правильности выполнения теоретического расчета электрических схем может осуществляться двумя способами: экспериментальными исследованиями реальных схем, моделированием схем на персональных компьютерах.

Длительное время в электротехнике преобладал первый способ, который помимо достоинств, имел ряд существенных недостатков:

- для экспериментального исследования схем требуется соответствующее измерительное оборудование: вольтметры, амперметры, электронные осциллографы, генераторы сигналов, частотомеры и др.;
- погрешности реальных измерительных приборов не позволяют сравнивать результаты эксперимента и расчета с требуемой для практики точностью;
- для исследования схем необходимо собирать их макеты из реальных элементов, что приводит к существенным материальным и временным затратам.

Моделирование электрических цепей на компьютерах позволяет обойтись без реальных измерительных приборов и макетов исследуемых схем, уменьшить погрешность результатов экспериментов, сократить время опытов, но имеет и некоторые недостатки:

- трудно учесть в моделях паразитные параметры элементов схем: внутренние сопротивления и проводимости источников; собственные индуктивности и емкости реальных резисторов; потери в катушках индуктивности и конденсаторах;
- порой невозможно определить допустимость использования модели для получения требуемой точности моделирования, например, при использовании в схемах электромеханических двигателей или генераторов [1,2,3,4,5,6,7].

Несмотря на недостатки, моделирование электрических схем на компьютерах получает все более широкое распространение. Это связано с тем, что программы моделирования достаточно просты в освоении и удобны в работе. Предварительное исследование схемы с помощью компьютера позволяет найти оптимальные параметры для работы исследуемого устройства, не прибегая к его практической реализации.

В настоящее время широкое распространение получили следующие программы моделирования схем: PSpice, MicroCap, Design Lab, Proteus, Electronics Workbench (EWB). Все они могут быть использованы для учебных целей [1,2,3].

Программа Electronics Workbench (впоследствии NI MULTISIM) была разработана фирмой Interactive Image Technologies Ltd. Она позволяет строить схемы различной степени сложности при помощи следующих операций:

- выбор элементов и приборов из библиотек;
- перемещение элементов и схем в любое место рабочего поля;
- поворот элементов и групп элементов на углы, кратные 90° ;
- копирование, вставка или удаление элементов, групп элементов, фрагментов схем и целых схем;
- изменение цвета проводников;
- выделение цветом контуров схем для более удобного восприятия;
- одновременное подключение нескольких измерительных приборов и наблюдение их показаний на экране монитора;
- присваивание элементу условного обозначения;
- изменение параметров элементов схем в широком диапазоне.

Все операции производятся при помощи мыши и клавиатуры. Управление только с клавиатуры件 невозможно [1,2,3,4,5,6,7].

Программа EWB отличается от других программ наличием измерительных приборов, которые по внешнему виду, органам управления и характеристикам приближены к реальным промышленным аналогам.

Путем настройки приборов можно:

- изменять шкалы приборов в зависимости от диапазона измерений;
- задавать режим работы прибора;
- задавать вид входных воздействий на схему (постоянные и гармонические токи и напряжения, треугольные и прямоугольные импульсы).

Графические возможности программы позволяют:

- одновременно наблюдать несколько кривых на графике;
- отображать кривые на графиках различными цветами;
- измерять координаты точек на графике;
- импортировать данные в графический редактор, что позволяет произвести необходимые преобразования рисунка и вывода его на принтер.

Существует ряд версий программы: EWB 4.1, EWB 5 PRO, EWB 5.12. В учебных заведениях России наиболее часто используется версия 5.12 [1,2,3,4,5,6,7].

1. Интерфейс программы Electronics Workbench 5.12

Программа Electronics Workbench 5.12 использует стандартный оконный интерфейс Windows, что значительно облегчает ее использование. Главное окно программы показано на рисунке 1.

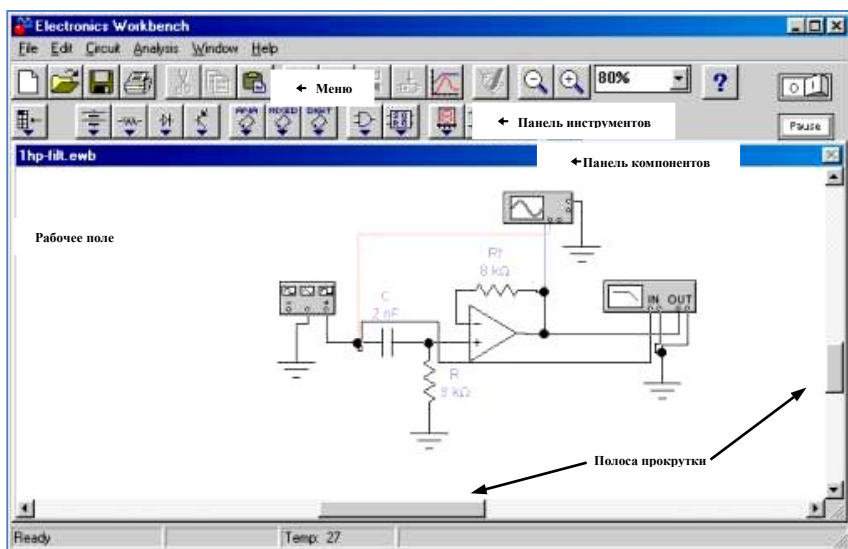


Рисунок 1 - Главное окно программы EWB

Окно содержит строку меню, панель инструментов, панель компонентов, рабочее поле для составления схем, полосы прокрутки. В правом верхнем углу располагаются значок активации и остановки расчета схемы.

Строка меню содержит меню File, Edit, Circuit, Analysis, Window, Help [1,2,3,4,5,6,7].

Ниже строки меню в рабочем окне EWB расположена стандартная *строка панели инструментов* (рисунок 2).



Рисунок 2 - Строка панели инструментов

Под панелью инструментов расположена строка - *панель компонентов*. Каждая кнопка панели компонентов представляет собой библиотеку компонентов (элементов) схем, контрольно-измерительных приборов, инструментов и т.д. [1,2,3,4,5,6,7]

2. Компоненты

Панель компонентов (рисунок 3) содержит пиктограммы тринадцати групп:

- 1 - Sources (источники тока и напряжения);
- 2 - Basic (пассивные компоненты);
- 3 – Diodes (диоды);
- 4 - Transistors (транзисторы);
- 5 - Analog ICs (аналоговые микросхемы);
- 6 - Mixed ICs (микросхемы смешанного типа);
- 7 - Digital ICs (цифровые микросхемы);
- 8 - Logic Gates (логические цифровые микросхемы);
- 9 - Digital (цифровые микросхемы);
- 10 - Indicators (индикаторные устройства);
- 11 - Controls (аналоговые вычислительные устройства);
- 12 - Miscellaneous (компоненты смешанного типа);
- 13 - Instruments (контрольно-измерительные приборы).

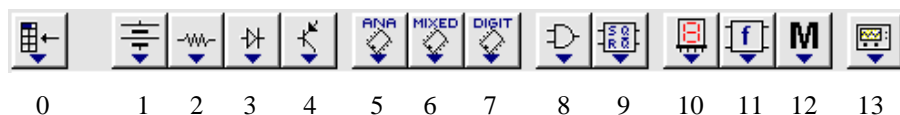








Рисунок 3 - Панель компонентов

Рассмотрим элементы, наиболее часто используемые при моделировании линейных и нелинейных электрических цепей постоянного и переменного тока.

Источники. Все источники в EWB идеальные (таблица 1). В эту группу входят источники постоянного напряжения и тока, переменного напряжения и тока, функциональный генератор. В эту группу разработчики программы включили заземление [1,2,3,4,5,6,7].

Таблица 1 – Источники напряжения и тока

Условное обозначение	Наименование источника	Примечания
	Источник постоянного напряжения	Короткой жирной чертой обозначается вывод, имеющий отрицательный потенциал по отношению к другому выводу.
	Источник постоянного тока	Стрелка указывает направление тока.
	Источник переменного напряжения	Напряжение источника отсчитывается от вывода со знаком “~”.
	Источник переменного тока	Стрелка указывает направление тока.
	Функциональный генератор	Вырабатывает сигналы синусоидальной, прямоугольной и треугольной форм.
	Заземление	Имеет нулевое напряжение.








Пассивные компоненты. В группу основных пассивных компонентов входят резисторы, конденсаторы, катушки индуктивности (таблица 2). Дополнительно сюда включены узел и ключ, переключаемый клавишей [Space][1,2,3,4,5,6,7].

Таблица 2 – Пассивные компоненты

Условное обозначение	Наименование элемента	Примечания
<p>1 k Ohm</p> 	Резистор (сопротивление)	По умолчанию установлено сопротивление 1 кОм.
<p>[R]/1 k Ohm /50%</p> 	Потенциометр	Параметры задаются с помощью диалогового окна.
<p>1 uF</p> 	Конденсатор (емкость)	
<p>[C]/10 uF/50%</p> 	Конденсатор переменной емкости	
<p>1 mH</p> 	Катушка (индуктивность)	
<p>[L]/10 mH/50%</p> 	Катушка переменной индуктивности	
	Трансформатор	Имеется возможность редактирования параметров.
	Узел (точка соединения)	Используется для нанесения надписей длиной до 14 символов.
<p>[Space]</p> 	Переключатель	Управляется нажатием клавиши «Пробел» (по умолчанию)

Элементы электронных устройств. К этой группе относятся полупроводниковые диоды (Diodes), транзисторы (Transistors), операционные усилители (Analog ICs), логические элементы (Logic Gates), интегральные микросхемы (Mixed ICs, Digital ICs, Digital) [1,2,3,4,5,6,7]. Базовые элементы электронных устройств приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Базовые элементы электронных устройств

Условное обозначение	Наименование элемента	Примечания
1	2	3
	Полупроводниковый диод	Модель выпрямительного диода.
	Стабилитрон	Рабочим является отрицательное напряжение.
	Тиристор	Модель динистора или тристора.
	Биполярный транзистор типа n-p-n	Буквы обозначают тип проводимости полупроводника.
	Биполярный транзистор типа p-n-p	Направление стрелки указывает направление протекания тока.
	Полевой транзистор p-типа	Управляется напряжением на затворе.
	Полевой транзистор n-типа	

Продолжение таблицы 3

1	2	3
	Линейная модель операционного усилителя с тремя выводами	Вход «-» является инвертирующим, вход «+» - неинвертирующим. Предназначен для работы с обратной связью.
	Логический элемент И	Реализует функцию логического умножения.
	Логический элемент ИЛИ	Реализует функцию логического сложения.
	Логический элемент НЕ	Изменяет состояние входного сигнала на противоположное.
	Логический элемент ИЛИ-НЕ	
	Логический элемент И-НЕ	
	8-разрядный аналого-цифровой преобразователь	Преобразует аналоговое напряжение в число.
	8-разрядный цифро-аналоговый преобразователь	Имеет 8 цифровых входов и 2 входа для подачи опорного тока.

3. Измерительные приборы

К измерительным приборам относятся вольтметр, амперметр, мультиметр, осциллограф, анализатор частотных характеристик, генератор слов, логический анализатор, логический преобразователь. Измерительные приборы приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Измерительные приборы

Условное обозначение	Наименование прибора	Примечания
	Вольтметр	Измеряет напряжение.
	Амперметр	Измеряет ток.
	Мультиметр	Измеряет напряжение, ток, сопротивление и уровень напряжения в дБ.
	Осциллограф	Аналог двухлучевого запоминающего осциллографа.
	Анализатор частотных характеристик	Используется для получения АЧХ и ФЧХ схемы.
	Генератор слов	Используется для задания цифровых последовательностей.
	Логический анализатор	Позволяет наблюдать сигналы в восьми точках схемы одновременно.
	Логический преобразователь	Выполняет функциональные преобразования в схеме.

Вольтметр. Используется для измерения постоянного (DC) и переменного напряжения (AC). Изменение вида напряжения осуществляется в поле Value, обозначение – в поле Label (рисунок 4).

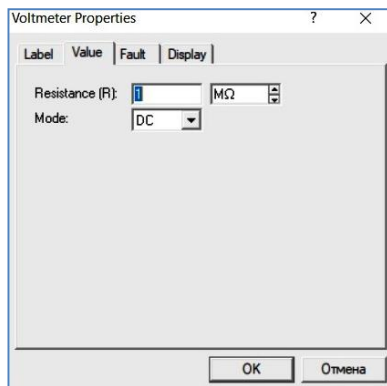


Рисунок 4 – Диалоговое окно вольтметра

Внутреннее сопротивление прибора по умолчанию составляет 1 МОм.

Выделенная толстой линией сторона прямоугольника, изображающего вольтметр, соответствует отрицательной клемме.

Амперметр. Используется для измерения постоянного и переменного тока. Внутреннее сопротивление прибора по умолчанию составляет 1 мОм [1,2,3,4,5,6,7].

Мультиметр. Используется для измерения напряжения, тока, сопротивления, уровня напряжения в децибелах (рисунок 5).



Рисунок 5 – Изображение мультиметра

Для измерения напряжения или сопротивления прибор подключают параллельно исследуемому участку.

Для измерения тока мультиметр подключают последовательно в ветвь схемы, в которой нужно провести измерение.

Для измерения уровня напряжения в децибелах мультиметр подключается одним из выводов к точке, уровень напряжения в которой нужно измерить, а другим выводом к точке, относительно которой производится измерение. При измерении уровня переменного напряжения измеряется уровень действующего значения. Для измерения уровня напряжения в другой точке схемы следует переставить выводы мультиметра и снова включить схему [1,2,3,4,5,6,7].

Осциллограф. Имеет две модификации: простую и расширенную (рисунок 6). Прибор имеет каналы А и В с отдельными регулировками чувствительности; смещения по вертикали (Y Position A, Y Position B); заземленный 0 и открытый DC входы.

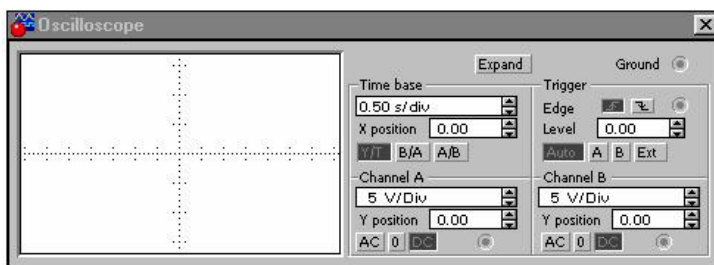


Рисунок 6 – Изображение осциллографа

Развертка осциллографа может работать в трех режимах: временном Y/T; функциональном В/А и функциональном А/В. Смещение по горизонтали регулируется клавишей X Position.

Общий вывод осциллографа Ground подключают к земле.

Анализатор частотных характеристик. Предназначен для измерения амплитудно-частотных (в режиме Magnitude) и фазочастотных (в режиме Phase) характеристик цепей. Изображение прибора приведено на рисунке 7.

Прибор измеряет отношение амплитуд и разность начальных фаз двух сигналов, подаваемых на входы In и Out [1,2,3,4,5,6,7].

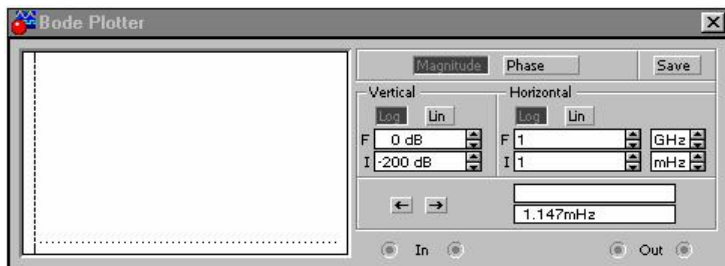


Рисунок 7 – Изображение анализатора частотных характеристик

Левые зажимы входа и выхода подключают к исследуемой цепи, правые зажимы соединяют с общей точкой Ground. Кроме этого, к входу цепи должен быть подключен какой-либо источник переменного напряжения, настроек в этом источнике производить не нужно [1,2,3,4,5,6,7].

Генератор слов. Прибор (рисунок 8) используется для задания цифровых последовательностей.

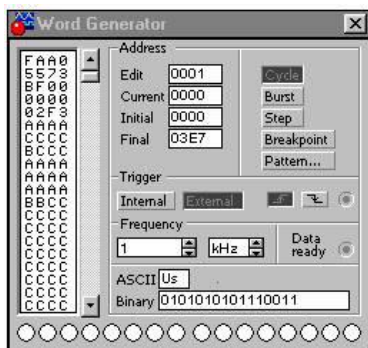


Рисунок 8 – Изображение генератора слов

На восемь выходов в нижней части генератора параллельно подаются биты генерируемого слова. На выход тактового сигнала подается последовательность тактовых импульсов с заданной частотой. Вход синхронизации используется для подачи синхронизирующего сигнала от внешнего источника.

Ввод слов производится в левой части окна генератора при помощи мыши и клавиатуры [1,2,3,4,5,6,7].

Логический анализатор. Используется для наглядного представления и измерения параметров сигнала. Прибор имеет восемь независимых входов для анализа сигналов (рисунок 9). Выдает информацию в виде временных диаграмм, имеющих форму прямоугольных импульсов [1,2].

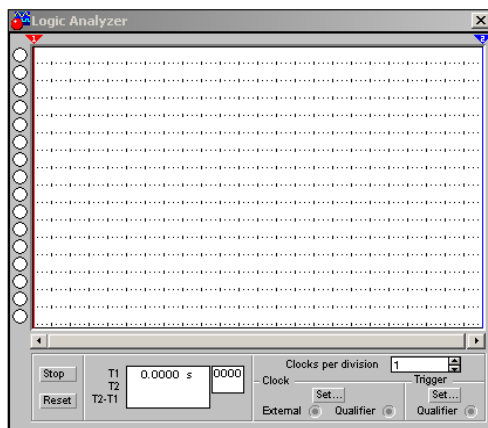


Рисунок 9 – Изображение логического анализатора

Логический преобразователь. Предназначен для выполнения различных функциональных преобразований в схеме (рисунок 10).

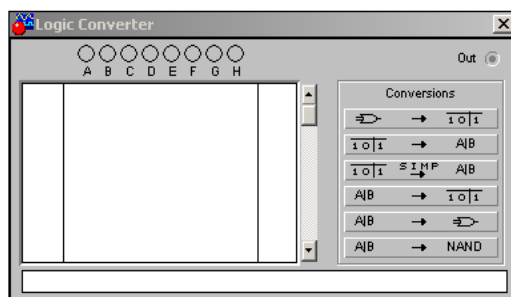


Рисунок 10 – Изображение логического преобразователя

Прибор позволяет получить таблицы истинности исследуемой схемы, преобразовывать таблицы истинности в логическое выражение или логическое выражение в таблицу истинности, создавать логические схемы по заданному логическому выражению [1,2,3,4,5,6,7].

4. Моделирование схем

При проектировании схемы большинство действий выполняется с использованием левой кнопки мыши. Правая кнопка используется для вызова контекстного меню свойств компонентов или измерительных приборов.

Для создания электрической цепи необходимо произвести следующие действия:

- найти и выбрать необходимые компоненты;
- разместить компоненты на рабочем пространстве окна схемы;
- соединить компоненты проводами;
- установить значения параметров компонентов.

Поиск и выбор компонентов производится с помощью мыши и второй линейки значков. Для уменьшения ошибок при выборе компонента рекомендуется пользоваться контекстной помощью.

Размещение компонентов в окне схемы осуществляется мышью. Выбранный компонент «захватывается» и «устанавливается» в нужное место окна схем при нажатой левой клавише мыши. Для вращения компонента используются иконки на первой линейке значков или соответствующие пункты контекстного меню или меню Circuit [1,2,3,4,5,6,7].

Соединение выводов всех компонентов друг с другом осуществляется только проводами. Для создания проводника выделяют узел первого компонента, начинают движение мышкой в выбранном направлении и появившийся провод при нажатой левой клавише мышки помещают на узел второго компонента. Только после этого спокойно без рывков отпускают левую клавишу мышки. Проводник подключается с четырех сторон узла: сверху, снизу, справа и слева.

Установка параметров компонента осуществляется наведением курсора на элемент, нажатием правой кнопки мышки и выбором соответствующего пункта контекстного меню. Для изменения параметров можно также два раза нажать левую кнопку мышки или использовать подменю Component Properties, меню Circuit. В появившейся диалоговой панели устанавливаются параметры компонентов. Для резисторов, конденсаторов и катушек индуктивности используется закладка Value.

Уничтожение компонентов и проводов производится после наведения на них курсора, нажатия правой кнопки мышки и выбора пункта меню Delete.

Увеличение или уменьшение изображения схемы осуществляется после выбора Zoom In или Zoom Out из меню Circuit или после использования соответствующих значков на первой линейке иконок программы [1,2,3,4,5,6,7].

Для установки дополнительных параметров отображения схемы используется меню Circuit, пункт Schematic Option.

В программе Electronics Workbench 5.12 участки большой схемы можно преобразовать в подсхему. Подсхема обозначается как небольшой прямоугольник с выводами. Для создания подсхемы необходимо выделить участок схемы, причем линии выделения должны пересекать те проводники, которые в дальнейшем станут выводами подсхемы. Затем нужно выбрать пункт Create Subcircuit меню Circuit и следовать появляющимся указаниям. В окне Favorites появляется изображение созданной подсхемы. Использование подсхем позволяет получить компактную схему сложного устройства [1,2,3,4,5,6,7].

5. Лабораторный практикум

Лабораторная работа 1 Преобразования двухполюсников

Цель работы. Исследование последовательного и параллельного соединений резисторов, идеальных источников ЭДС и тока.

Эксперимент 1. Замена последовательного соединения резисторов эквивалентным сопротивлением

1. Рассчитать эквивалентное сопротивление двухполюсника, состоящего из двух последовательно соединенных резисторов, относительно зажимов А и В по формуле $R_3 = R_1 + R_2$ [1,2,3,4,5,6,7].
2. Собрать схему цепи, изображенной на рисунке 11.

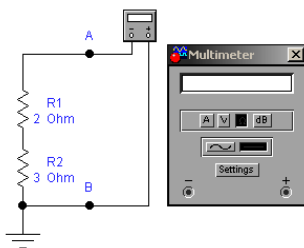


Рисунок 11 – Последовательное соединение резисторов

3. Включить схему и проверить условие эквивалентности.

Эксперимент 2. Замена параллельного соединения резисторов эквивалентным сопротивлением

1. Рассчитать эквивалентное сопротивление двухполюсника, состоящего из двух параллельно соединенных резисторов, относительно зажимов А и В по формуле $R_3 = R_1 \cdot R_2 / (R_1 + R_2)$ [1,2,3,4,5,6,7].
2. Собрать схему цепи, изображенной на рисунке 12.
3. Включить схему и проверить условие эквивалентности.

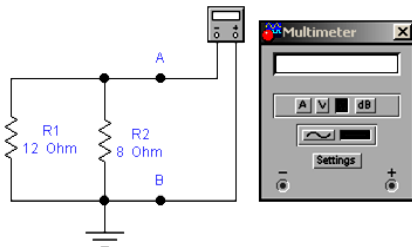


Рисунок 12 – Параллельное соединение резисторов

Эксперимент 3. Замена последовательного соединения идеальных источников ЭДС

1. Рассчитать значение эквивалентной ЭДС для последовательного соединения двух источников ЭДС относительно зажимов А и В по формуле $E_3 = E_1 + E_2$. ЭДС E_3 будет направлена в сторону большей ЭДС.
2. Собрать схему цепи, изображенной на рисунке 13.

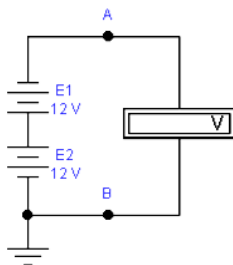


Рисунок 13 – Последовательное соединение источников ЭДС

3. Подключить мультиметр и проверить условие эквивалентности [1,2,3,4,5,6,7].

Эксперимент 4. Замена параллельного соединения идеальных источников тока

1. Рассчитать ток эквивалентного источника тока для двухполюсника, изображенного на рисунке 14, относительно зажимов А и В по формуле $J_3 = J_1 + J_2$. Ток J_3 будет направлен в сторону большего тока.

2. Собрать цепь, подключить амперметр и проверить условие эквивалентности [1,2,3,4,5,6,7].

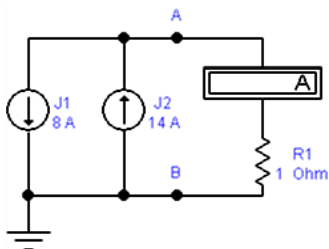


Рисунок 14 – Параллельное соединение источников тока

Содержание отчета:

1. Тема и цель работы.
2. Результаты экспериментов 1-4.
3. Выводы по работе.

Лабораторная работа 2

Линейные цепи постоянного тока

Цель работы. 1. Исследование схемы с одним источником напряжения, построение вольтамперных характеристик резисторов.

2. Моделирование сложной цепи постоянного тока.

Эксперимент 1. Исследование схемы с источником ЭДС

1. Собрать схему электрической цепи по рисунку 15. Установить заданные преподавателем параметры цепи.

2. Изменяя напряжение на зажимах источника в пределах от 20 до 100 В, занести в таблицу 5 показания приборов.

3. Рассчитать значения сопротивлений R_1, R_2, R_3 для каждого опыта по закону Ома [1,2,3,4,5,6,7].

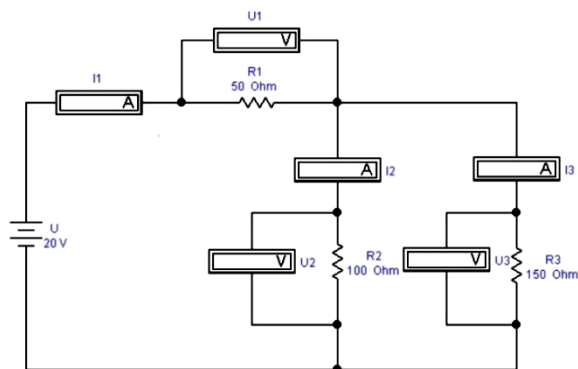


Рисунок 15 – Схема с одним источником напряжения

4. Для напряжения $U = 60$ В методом свертывания определить токи ветвей и напряжения на участках цепи. Сравнить полученные значения с результатами измерения в пункте 2.

5. Рассчитать баланс мощностей с оценкой погрешностей.

6. Построить вольтамперные характеристики резисторов.

7. Отразить результаты эксперимента в выводах [1,2,3,4,5,6,7].

Таблица 5 – Результаты первого эксперимента

Номера измерений	Измерения						Вычисления			
	U	I_1	I_2	I_3	U_1	U_2	R_1	R_2	R_3	R_{Σ}
	В	А			В		Ом			
1	20									
2	40									
3	60									
4	80									
5	100									

Эксперимент 2. Исследование сложной цепи постоянного тока

1. Собрать схему электрической цепи по рисунку 16.
2. Установить заданные преподавателем параметры цепи.

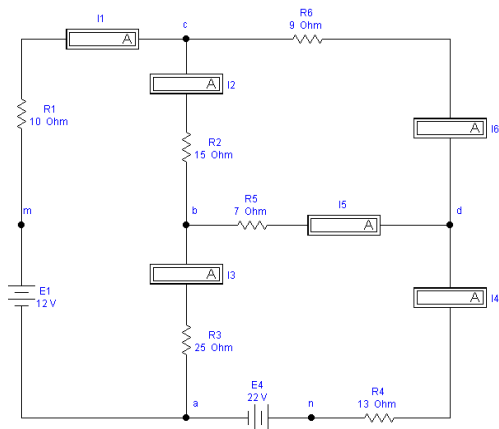


Рисунок 16 – Схема сложной цепи постоянного тока

2. Измерить токи ветвей и заполнить таблицу 6 [1,2,3,4,5,6,7].

Таблица 6 - Показания измерительных приборов

Токи	I_1, A	I_2, A	I_3, A	I_4, A	I_5, A	I_6, A
Значения						

3. Определить токи ветвей методом уравнений Кирхгофа. Результаты расчета занести в таблицу 7.

Таблица 7 - Результаты расчета токов

Токи	I_1, A	I_2, A	I_3, A	I_4, A	I_5, A	I_6, A
Значения						

4. Рассчитать баланс мощностей с оценкой погрешности вычислений.

Мощность источников:

$$P_{\text{и}} = E_1 I_1 + E_4 I_4 \text{ (Вт)}.$$

Мощность потребителей:

$$P_{\text{п}} = I_1^2 R_1 + I_2^2 R_2 + I_3^2 R_3 + I_4^2 R_4 + I_5^2 R_5 + I_6^2 R_6 \text{ (Вт)}.$$

Погрешность вычислений (небаланс):

$$\delta_p = \left| \frac{P_{\text{и}} - P_{\text{п}}}{P_{\text{и}}} \right| \cdot 100\% .$$

Погрешность не должна превышать допустимого значения $\delta_d = 0,5\%$.

5. Отобразить результаты эксперимента в выводах [1,2,3,4,5,6,7].

Содержание отчета:

1. Тема и цель работы.
2. Результаты экспериментов 1-2.
3. Выводы по работе.

Лабораторная работа 3

Последовательная цепь синусоидального тока

Цель работы. Исследование последовательной цепи синусоидального тока, определение параметров цепи, установление условий резонанса напряжений.

Эксперимент 1. Исследование последовательной цепи синусоидального тока

1. Собрать электрическую цепь, принципиальная схема которой приведена на рисунке 17.

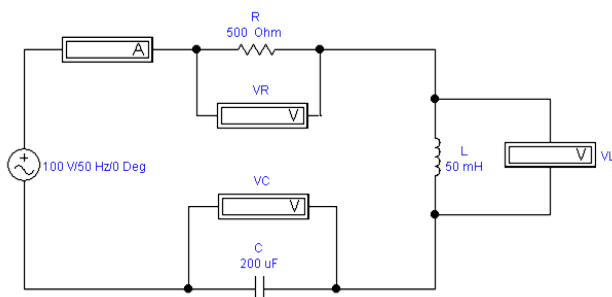


Рисунок 17 – Последовательная цепь синусоидального тока

2. Установить параметры активного сопротивления R , индуктивности L и емкости C по заданию преподавателя.

3. Изменяя напряжение на входе электрической цепи в пределах от 25 до 100 В, записать в таблицу 8 показания приборов.

4. Определить параметры электрической цепи, заполнить таблицу 9.
Расчетные формулы:

$$\omega = 2\pi f; X_L = \omega L; X_C = 1/(\omega C); X = X_L - X_C;$$

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}; P = I^2 R; Q = I^2 X; S = I^2 Z; \cos \varphi = R/Z.$$

5. Построить векторную диаграмму для третьего опыта.

6. Отобразить результаты эксперимента в выводах [1,2,3,4,5,6,7].

Таблица 8 - Результаты измерений

№ опыта	U	U_R	U_L	U_C	I
	В				А
1	25				
2	50				
3	75				
4	100				

Таблица 9 - Результаты вычислений

№ опыта	X_L	X_C	X	Z	P	Q	S	$\cos \varphi$
	Ом				Вт	вар	ВА	
1								
2								
3								
4								

Эксперимент 2. Резонанс напряжений

1. Изменяя емкость конденсатора C , для напряжения $U = 80$ В получить режим резонанса напряжений ($I = \max$). Записать показания измерительных приборов.

2. Определить резонансные частоты по формулам:

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}; f_0 = \frac{\omega_0}{2\pi}.$$

3. Построить векторную диаграмму для резонанса напряжений.

4. Отобразить результаты эксперимента в выводах [1,2,3,4,5,6,7].

Содержание отчета:

1. Наименование и цель работы.
2. Результаты экспериментов.
3. Векторные диаграммы.
4. Выводы по работе.

Лабораторная работа 4

Параллельная цепь синусоидального тока

Цель работы. Исследование параллельной цепи синусоидального тока, определение параметров цепи и резонанса токов.

Эксперимент 1. Исследование последовательной цепи синусоидального тока

1. Собрать электрическую цепь, схема которой представлена на рисунке 18. Установить заданные преподавателем параметры цепи.

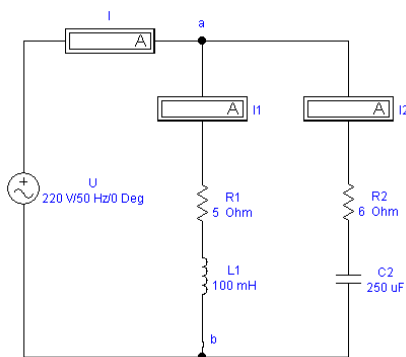


Рисунок 18 – Параллельная цепь синусоидального тока

2. Изменяя напряжение от 25 до 100 В, измерить токи ветвей и занести их значения в таблицу 10 [1,2,3,4,5,6,7].

Таблица 10 - Результаты измерений

№ опыта	U	I	I_1	I_2
	В	А		
1	25			
2	50			
3	75			
4	100			

3. Рассчитать параметры цепи, приведенные в таблице 11.

Таблица 11 – Расчетные параметры цепи

№ опыта	ω	X_L	X_C	Z_1	Z_2	G_1	G_2	G	B_L	B_C	B	Y_1	Y_2	Y
	рад/с	Ом				См								
1.														
2.														
3.														
4.														

Продолжение таблицы 11

№ опыта	P_1	P_2	P	Q_L	Q_C	Q	S_1	S_2	S	$\cos \varphi_1$	$\cos \varphi_1$	$\cos \varphi$
	Вт			вар			ВА					
1.												
2.												
3.												
4.												

Расчетные формулы:

$$\omega = 2\pi f; X_L = \omega L_1; X_C = \frac{1}{\omega C_2}; Z_1 = \sqrt{R_1^2 + X_L^2}; Z_2 = \sqrt{R_2^2 + X_C^2};$$

$$G_1 = \frac{R_1}{Z_1^2}; G_2 = \frac{R_2}{Z_2^2}; G = G_1 + G_2; B_L = \frac{X_L}{Z_1^2}; B_C = \frac{X_C}{Z_2^2}; B = B_L - B_C;$$

$$Y_1 = \sqrt{G_1^2 + B_L^2}; Y_2 = \sqrt{G_2^2 + B_C^2}; Y = \sqrt{G^2 + B^2}; S = UY; S_1 = U^2 Y_1;$$

$$S_2 = UI_2 = U^2 Y_2; P = U^2 G; P_1 = U^2 G_1; P_2 = U^2 G_2; Q_L = U^2 B_L;$$

$$Q_C = U^2 B_C; Q = U^2 B; \cos \varphi = \frac{G}{Y}; \cos \varphi_1 = \frac{G_1}{Y_1}; \cos \varphi_2 = \frac{G_2}{Y_2}.$$

4. Построить векторную диаграмму для второго опыта.

5. Отобразить результаты эксперимента в выводах [1,2,3,4,5,6,7].

Эксперимент 2. Резонанс токов

1. Изменяя параметры цепи, получить режим резонанса токов ($I = \min$).

2. Определить резонансные частоты по формулам:

$$\omega'_0 = \frac{1}{\sqrt{L_1 C_2}} \sqrt{\frac{L_1 - R_1^2}{C_2 - R_2^2}}; f'_0 = \frac{\omega'_0}{2\pi}.$$

3. Построить векторную диаграмму для резонанса токов.

4. Отобразить результаты эксперимента в выводах [1,2,3,4,5,6,7].

Содержание отчета:

1. Наименование и цель работы.

2. Результаты экспериментов.

3. Векторные диаграммы.

4. Выводы по работе.

Лабораторная работа 5

Соединение звездой в трехфазной цепи

Цель работы. Исследование трехпроводной трехфазной цепи при соединении потребителей звездой, выявление соотношений между линейными и фазными напряжениями.

Эксперимент 1. Исследование трехпроводной трехфазной цепи при соединении потребителей звездой

1. Собрать электрическую цепь по рисунку 19. Установить заданные преподавателем параметры источников и сопротивлений.

2. Исследовать работу трехфазной трехпроводной цепи в четырех режимах: 1) сопротивления фаз равны: $R_A = R_B = R_C$ (симметричная нагрузка); 2) сопротивление фазы А больше сопротивления других фаз: (несимметричная нагрузка); 3) сопротивление фазы А равно бесконечности (обрыв фазы А); 4) сопротивление фазы А равно нулю (короткое замыкание фазы А). Результаты измерений записать в таблицу 12.

3. По данным таблицы 12 построить векторные диаграммы для первого и третьего опытов.

4. Отобразить результаты эксперимента в выводах [1,2,3,4,5,6,7].

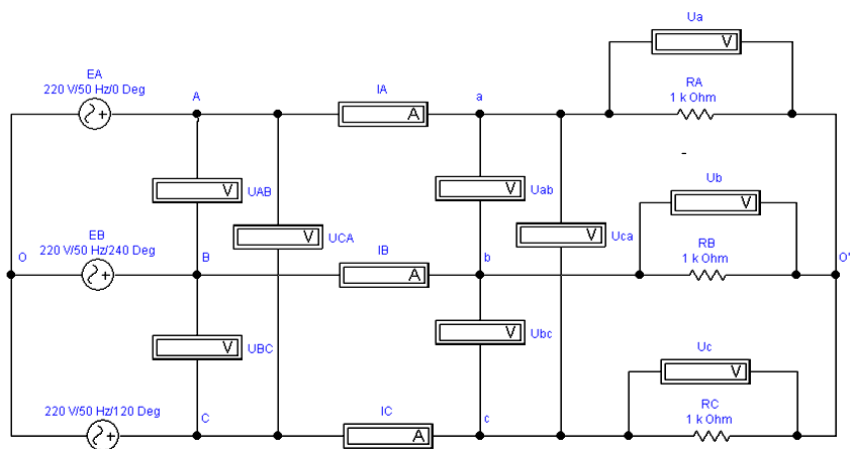


Рисунок 19 – Трехпроводная трехфазная цепь

Таблица 12 - Результаты эксперимента

№ п.п.	Измерено									Вычислено			
	I_A	I_B	I_C	U_A	U_B	U_C	U_{AB}	U_{BC}	U_{CA}	P_A	P_B	P_C	P
	А			В						Вт			
1													
2													
3													
4													

Содержание отчета:

1. Тема и цель работы.
2. Результаты эксперимента.
3. Векторные диаграммы.
4. Выводы по работе [1,2,3,4,5,6,7].

Лабораторная работа 6

Соединение треугольником в трехфазной цепи

Цель работы. Исследование трехфазной цепи при соединении потребителей треугольником; выявление соотношений между линейными и фазными токами и напряжениями.

Эксперимент 1. Исследование трехфазной цепи при соединении потребителей треугольником

1. Собрать схему электрической цепи по рисунку 20. Установить заданные преподавателем параметры источников и сопротивлений.

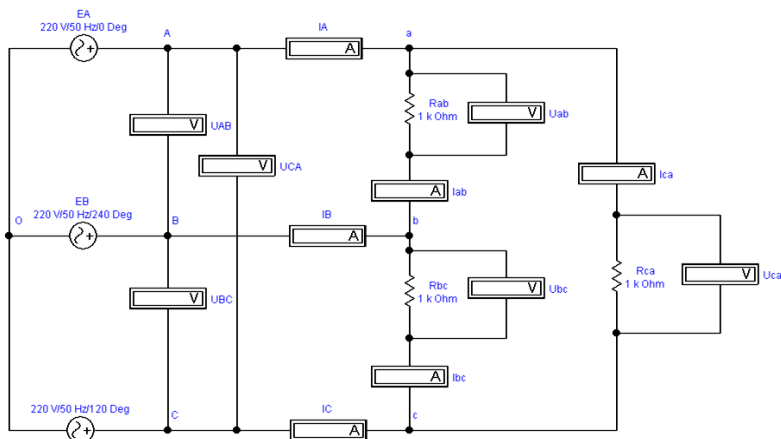


Рисунок 20 – Соединение треугольником в трехфазной цепи

2. Изменяя нагрузку фаз, снять показания приборов в четырех опытах: 1) симметричная нагрузка фаз ($R_{ab} = R_{bc} = R_{ca}$); 2) нагрузка фазы АВ меньше других фаз; 3) обрыв в фазе АВ приемника; 4) обрыв в линии А при симметричном приемнике. Результаты измерений записать в таблицу 13 [1,2,3,4,5,6,7].

Таблица 13 - Результаты эксперимента

№ опыта	Измерено									Вычислено			
	напряжение, В			ток, А						мощность, Вт			
	U_{AB}	U_{BC}	U_{CA}	I_A	I_B	I_C	I_{AB}	I_{BC}	I_{CA}	P_{AB}	P_{BC}	P_{CA}	P
1													
2													
3													
4													

3. Вычислить мощности фаз приемника и суммарную мощность.
4. Построить векторные диаграммы для первого и третьего опытов.
5. Отобразить результаты эксперимента в выводах [1,2,3,4,5,6,7].

Содержание отчета:

1. Тема и цель работы.
2. Результаты эксперимента.
3. Векторные диаграммы.
4. Выводы по работе.

Лабораторная работа 7

Нелинейные цепи с диодами

Цель работы. 1. Исследование напряжения и тока диода при прямом и обратном включении; снятие, построение и исследование вольтамперной характеристики диода.

Эксперимент 1. Прямое и обратное включения диода

1. Собрать схему электрической цепи по рисунку 21. Выбрать диод из библиотек National или General по заданию преподавателя.

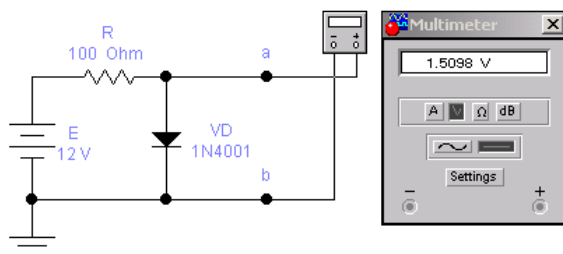


Рисунок 21 – Прямое включение диода

2. Включить схему. Записать напряжение на диоде $U_{пр}$ при прямом включении.

3. Перевернуть диод и включить схему. Записать напряжение $U_{об}$ на диоде при обратном включении.

4. Определить ток для прямого и обратного включения по формулам:

$$I_{пр} = \frac{E - U_{пр}}{R}; I_{об} = \frac{E - U_{об}}{R}.$$

5. Проверить правильность расчета токов включением амперметра в ветвь с диодом для прямого и обратного включения.

6. Отобразить результаты эксперимента в выводах [1,2,3,4,5,6,7].

Эксперимент 2. Снятие вольтамперной характеристики диода

1. Собрать схему электрической цепи по рисунку 22. Установить в схеме диод по заданию преподавателя.

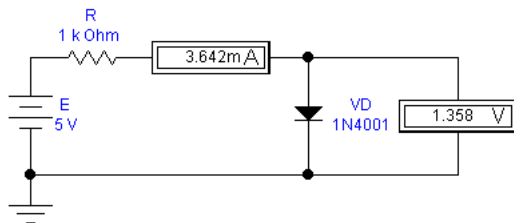


Рисунок 22 – Схема для снятия вольтамперной характеристики диода

2. Включить схему. Изменяя величину ЭДС источника, записать значения напряжения $U_{пр}$ и тока $I_{пр}$ диода в таблицу 14.

Таблица 14 - Результаты измерений

$E, \text{В}$	$U_{пр}, \text{В}$	$I_{пр}, \text{мА}$	$E, \text{В}$	$U_{об}, \text{В}$	$I_{об}, \text{мкА}$
5			0		
4			0,2		
3			0,6		
2			1		
1,5			3		
1,0			6		
0,5			9		
0			12		

3. Перевернуть диод. Последовательно увеличивая ЭДС источника, записать значения напряжения $U_{об}$ и тока $I_{об}$ в таблицу 14 [1,2,3,4,5,6,7].

4. По полученным данным построить график $I(U)$.

5. Построить касательную к прямой ветви ВАХ при $I_{пр} = 4 \text{ мА}$. Оценить дифференциальное сопротивление диода по наклону касательной.

6. Определить статическое сопротивление диода на постоянном токе $I_{пр} = 4 \text{ мА}$ по формуле $R_{ст} = U_{пр}/I_{пр}$.

7. Определить по точке резкого излома ВАХ диода напряжение изгиба [1,2,3,4,5,6,7].

Содержание отчета

1. Тема и цель работы.
2. Результаты экспериментов.
3. Вольтамперная характеристика диода.
4. Результаты исследования ВАХ диода.
5. Выводы по работе.

Лабораторная работа 8 Нелинейные цепи с транзисторами

Цель работы. Исследование нелинейных цепей с биполярными транзисторами, расчет параметров и построение характеристик.

Эксперимент 1. Определение статического коэффициента передачи тока транзистора

1. Собрать схему по рисунку 23. Установить модель биполярного транзистора по заданию преподавателя.

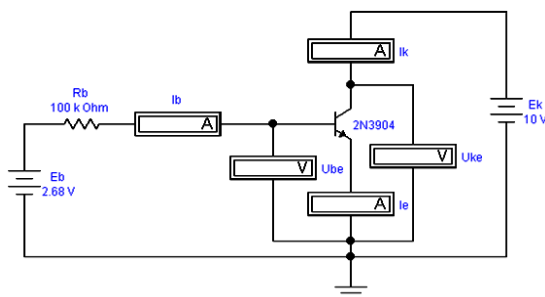


Рисунок 23 – Нелинейная цепь с биполярным транзистором

2. Включить схему. Записать изменения тока коллектора, тока базы и напряжения коллектор-эмиттер. Рассчитать статический коэффициент передачи тока транзистора по формуле $\beta = I_K/I_B$.

3. Изменить номинал источника E_B до 5 В. Включить схему. Записать изменения тока коллектора, тока базы и напряжения коллектор-эмиттер. Рассчитать статический коэффициент передачи тока β .

4. Отобразить результаты эксперимента в выводах [1,2,3,4,5,6,7].

Эксперимент 2. Получение выходной характеристики транзистора в схеме с общим эмиттером

1. В схеме рисунка 23 провести измерения тока коллектора для каждого значения E_B и E_K и заполнить таблицу 15.

2. По данным таблицы 15 построить график $I_K = f(E_K)$.

Таблица 15 - Результаты измерений

Параметры		E_K , В					
E_B , В	I_B , мкА	0,1	0,5	1	5	10	20
1,66							
2,68							
3,68							
4,68							
5,7							

3. Отобразить результаты эксперимента в выводах.

Эксперимент 3. Получение входной характеристики транзистора в схеме с ОЭ

1. В схеме цепи рисунка 23 установить значение напряжения источника E_K равным 10 В и провести измерения тока базы I_B , напряжения база-эмиттер $U_{BЭ}$, тока коллектора I_K для различных значений напряжения источника E_B в соответствии с таблицей 16. Обратите внимание, что коллекторный ток примерно равен току в цепи эмиттера [1,2,3,4,5,6,7].

2. По данным таблицы 16 построить графики зависимостей $I_B(U_{BЭ})$, $I_3(U_{BЭ})$.

3. Отобразить результаты эксперимента в выводах.

Таблица 16 - Результаты измерений

$E_{б}, В$	$I_{б}, мкА$	$U_{бэ}, В$	$I_{к}, мА$	$I_{э}, мА$
1,66				
2,68				
3,68				
4,68				
5,7				

Содержание отчета

1. Тема и цель работы.
2. Результаты экспериментов.
3. Выходная и входная характеристики.
4. Выводы по работе.

Заключение

В настоящем учебном пособии приведены краткое описание программы Electronics Workbench 5.12, основные рекомендации по моделированию электрических схем, лабораторные работы по исследованию линейных электрических цепей.

Моделирование электрических цепей и электронных устройств в настоящее время получило широкое распространение. Используется множество прикладных программ, которые достаточно просты в освоении, позволяют провести измерения параметров цепей без реальных измерительных приборов и дорогостоящих стендов, сократить время экспериментов и уменьшить погрешность результатов [1,2,3,4,5,6,7].

Программа EWB 5.12 отличается от своих аналогов наличием широкого набора компонентов и измерительных приборов, которые по своим характеристикам внешнему виду приближены к реальным промышленным образцам. Процесс сборки схемы отличается простотой и доступностью. Результаты измерений легко передаются в Word. Имеется возможность получения экспериментальных графиков с помощью осциллографа или анализатора частотных характеристик.

Предложены восемь лабораторных работ по исследованию соединенных элементов, резистивных цепей постоянного тока, последовательных и параллельных цепей синусоидального тока, трехфазных цепей при соединении потребителей звездой и треугольником, нелинейных цепей с диодами и транзисторами.

В процессе изучения дисциплин «Электротехника», «Основы электротехники», «Электротехника и электроника» студенты выполняют практические работы по исследованию и расчету электрических цепей. Автор выражает уверенность, что настоящее учебное пособие станет для них хорошим помощником при изучении вышеназванных дисциплин, при проверке результатов вычислений [1,2,3,4,5,6,7].

Список литературы

1. Гуськов Ю.В. Основы моделирования электрических схем: Учебное пособие. – Чебоксары: Изд-во волжского филиала МАДИ (ГТУ), 2005. – 66 с.: ил.
2. Кучумов А. И. Электроника и схемотехника: Учебное пособие. 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Гелиос АРВ, 2004.
3. Марченко А.Л. Лабораторный практикум по электротехнике и электронике в среде Multisim. Учебное пособие для вузов / А.Л. Марченко, С.В. Освальд. – М.: ДМК Пресс, 2010. – 448 с.: ил.
4. Панфилов Д. И., Иванов В. С., Чепурин И. Н. Электротехника и электроника в экспериментах и упражнениях: Практикум на Electronics Workbench: В 2 т. / Под общ. ред. Д. И. Панфилова. – Т.1: Электротехника. – М.: ДОДЭКА, 1999.
5. Серебряков А.С. Электротехника и электроника. Лабораторный практикум на Electronics Workbench и Multisim: Учеб. пособие / А.С. Серебряков. – М.: высш. шк., 2009. – 335 с.: ил.
6. Тяпичев Г.А. Персональный компьютер в радиолюбительской практике. – М.: Издательский дом «Додэка-XXI», 2006. – 400 с.: ил.

Учебное издание

Гуськов Юрий Викторович

**Моделирование электрических цепей
в программе Electronics Workbench 5.12**

Учебное пособие

ГАПОУ «Чебоксарский техникум ТрансСтройТех»
Минобразования Чувашии
428027, Чебоксары, ул. Хузангая, д. 18

