

Министерство образования и науки
Украины
Севастопольский национальный
технический университет



МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к выполнению лабораторных работ по электротехническим
дисциплинам с применением компьютерных технологий

Для студентов дневной и заочной форм обучения
направлений:

6.0915 – Компьютерная инженерия

6.0902 –Инженерная механика

Севастополь

2006



УДК 655.3.06

Методические указания к выполнению лабораторных работ по электротехническим дисциплинам с применением компьютерных технологий / Сост. Г.Ф., Косова В.Н.Мирянова – Севастополь. Изд-во СевНТУ, 2006. – 24 с.

Методические указания предназначены для студентов, обучающихся по направлениям: 6.0915 – Компьютерная инженерия, 6.0902 –Инженерная механика.

Целью методических указаний является формирование навыков исследования свойств электрических цепей с использованием компьютерных технологий. Лабораторные работы предполагают изучение основных элементов электрических цепей, использование разнообразных виртуальных измерительных приборов, исследование основных законов электрических цепей. Каждая работа содержит теоретические сведения, указания по ее выполнению и оформлению, перечень контрольных вопросов.

Методические указания рассмотрены и утверждены на заседании кафедры СПЭМС 30 ноября 2005 г., протокол №7

Допущено учебно-методическим центром СевНТУ в качестве методических указаний.

Рецензент доцент кафедры СПЭМС, канд.техн.наук. Башук Е.Б.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	3
1 Лабораторная работа №1. Изучение свойств элементов и принципов работы электронной лаборатории Electronics Workbench.....	4
2 Лабораторная работа №2. Исследование применения измерительных приборов для определения характеристик схем.....	10
3 Лабораторная работа №3. Исследование различных методов измерения омического (активного) сопротивления.....	16
4 Лабораторная работа №4. Исследование основных законов линейных электрических цепей.....	20
Библиографический список.....	24

ВВЕДЕНИЕ

При изучении электротехнических дисциплин вместе с традиционными методами проведения лабораторных работ для интенсификации учебного процесса применяются пакеты компьютерных программ. Они обладают стандартным, интуитивно понятным интерфейсом и обширными возможностями, требуют минимум времени для их освоения, предоставляют компьютерные инструменты для самостоятельной работы и позволяют получить представление о современных средствах разработки электронных устройств, а также развить творческий потенциал студентов.

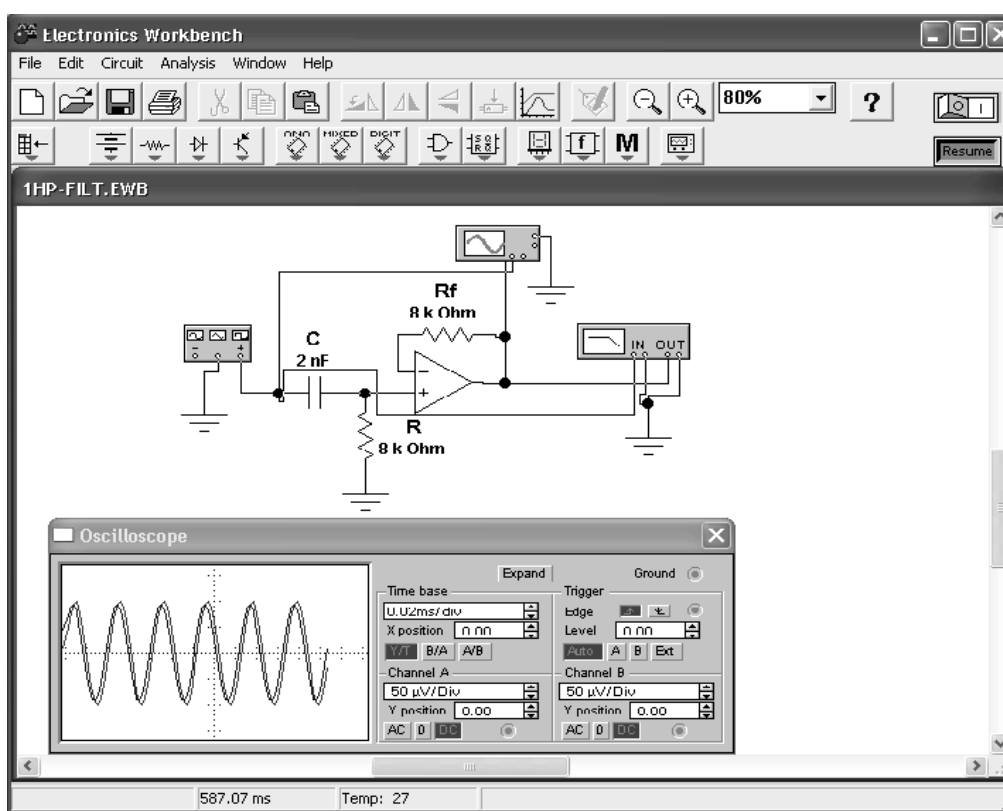


Рисунок 1.1 -Внешний вид интерфейса пользователя

Этим критериям в наибольшей степени отвечают программные средства типа Electronics Workbench (EWB) фирмы Interactive Image Technologies Ltd. (Canada), использующие виртуальные приборы, внешний вид и органы управления которых полностью имитируют свой прототип. Интерфейс пользователя EWB изображен на рисунке 1.1.

В методическом указании приведены описания лабораторных работ в среде данной электронной лаборатории EWB.

1.ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1

ИЗУЧЕНИЕ СВОЙСТВ ЭЛЕМЕНТОВ И ПРИНЦИПОВ РАБОТЫ ЭЛЕКТРОННОЙ ЛАБОРАТОРИИ ELECTRONICS WORKBENCH

1.1. Цель работы

Ознакомление с видами схмотехнических элементов, их свойствами, принципами и алгоритмами построения схем с помощью пакета Electronics Workbench (EWB), размещением элементов на рабочем поле, средствами задания параметров схмотехнических элементов.

1.2. Теоретический раздел

Пакет EWB предназначен для моделирования и анализа реальных электротехнических и электронных схем.

Пакет EWB запускается с помощью иконки в меню *Пуск*.

Алгоритм построения электрической схемы анализируемого устройства:

1. Необходимые компоненты переносятся с панели компонентов в рабочую область.
2. Компоненты соединяются друг с другом с помощью проводников.
3. Устанавливаются значения параметров компонентов.
4. К схеме подключаются необходимые измерительные приборы: вольтметр, амперметр, осциллограф, и др.

Алгоритм анализа работы устройства:

1. Схема активируется нажатием виртуального выключателя питания.
2. Производится настройка измерительных приборов
3. Анализируются полученные результаты.
4. Требуемые результаты (осциллограммы периодического процесса или амплитудно-частотная характеристика устройства и др) сохраняются для оформления лабораторной работы.

1.3. Описание лабораторной установки

Виртуальная лаборатория состоит из полосы меню, панели инструментов и рабочей области.

Полоса меню состоит из следующих разделов:

File - организация работы с файлами.

Edit - редактирование и работа с текущим документом. Опции раздела позволяют копировать, удалять, перемещать элементы или блоки схемы. Возможна настройка визуальных параметров схемы (расположение и

ориентация элементов схемы, настройка цветов и шрифта, поиск и другие стандартные функции).

Circuit - раздел, позволяющий вращать, приближать и отдалять элементы схемы, менять номинальное значение параметров, выбирать модели элементов.

Analysis - раздел выбора видов анализа схем. Соответствующей настройкой выбирается расчет режима по постоянному или переменному току, режим анализа переходных процессов, расчет частотных характеристик, проведение спектрального анализа и др. **Window** - раздел выбора экранных настроек при работе с документами. **Help** - раздел доступа к справочной системе EWB.

Панель инструментов состоит из “быстрых кнопок”, имеющих аналоги в меню, кнопок запуска и приостановки работы схем, набора электронных аналоговых и цифровых схем, индикаторов, элементов управления и инструментов. Все компоненты лаборатории можно условно разбить на следующие группы: базовые компоненты, источники (рисунок 1.2), линейные компоненты, ключи, нелинейные компоненты, индикаторы, логические компоненты, узлы комбинационного типа, узлы последовательного типа, гибридные компоненты.

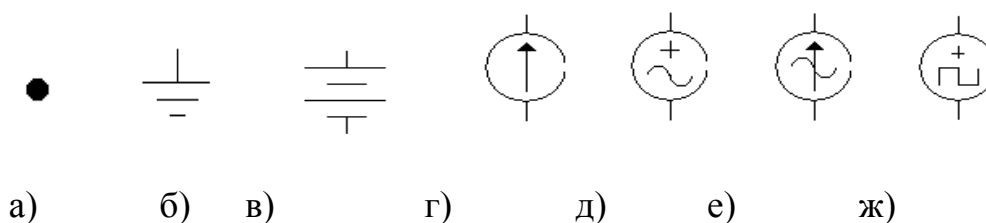


Рисунок 1.2 – Базовые компоненты и источники

На рисунке 1.2а изображен соединяющий узел, который применяется для соединения проводников (не более четырех) и создания контрольных точек. После сборки схемы можно вставить дополнительные узлы соединения проводников.

На рисунке 1.2б изображено заземление, которое имеет нулевое напряжение и обеспечивает исходную точку для отсчета потенциалов. Не все схемы нуждаются в заземлении для моделирования. Схема, содержащая: операционный усилитель, трансформатор, управляемый источник, осциллограф должна быть обязательно заземлена, иначе приборы не будут производить измерения или их показания окажутся неправильными.

На рисунке 1.2в указано обозначение источника постоянного напряжения. ЭДС источника (батареи) измеряется в вольтах. Короткой чертой в изображении батареи обозначается вывод, имеющий отрицательный потенциал по отношению к другому выводу. Батарея является идеальным элементом с внутренним сопротивлением, равным нулю, ее выходное напряжение не зависит от нагрузки. Если необходимо использовать две параллельно включенные батареи, то следует включить последовательно между ними небольшое сопротивление (например, в 1 Ом).

На рисунке 1.2г приведено обозначение источника постоянного тока. Ток источника измеряется в амперах. Источник тока (идеальный) имеет бесконечно большое внутреннее сопротивление, поэтому его ток не зависит от сопротивления нагрузки. Стрелка указывает направление тока (от "+" к "-").

На рисунке 1.2д показано обозначение источника переменного напряжения. Действующее значение (root-mean-square - RMS) напряжения источника измеряется в вольтах. Имеется возможность установки частоты и начальной фазы. Напряжение источника отсчитывается от вывода со знаком "~".

На рисунке 1.2е обозначен источник переменного тока. Действующее значение тока источника измеряется в амперах. Имеется возможность установки частоты и начальной фазы. Ток источника отсчитывается от вывода со знаком "~".

На рисунке 1.2ж приводится обозначение генератора тактовых импульсов, вырабатывающего последовательность прямоугольных импульсов. Регулируется амплитуда импульсов, коэффициент заполнения (скважность) и частота следования импульсов. Отсчет амплитуды импульсов генератора производится от вывода, противоположного выводу "+".

При необходимости предусмотрено использование источника напряжения, управляемого напряжением; источника тока, управляемого напряжением; источника тока, управляемого током; источника напряжения, управляемого током.

Линейные элементы представлены на рисунке 1.3.

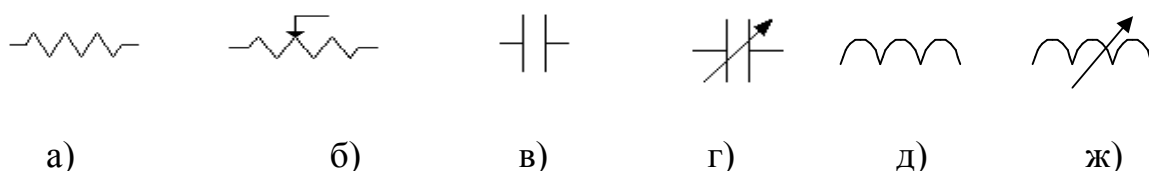


Рисунок 1.3 – Линейные элементы

Сопротивление резистора, указанного на рисунке 1.3а, измеряется в омах (Ом).

Величина сопротивления переменного резистора на рисунке 1.3б устанавливается в диалоговом окне. Начальное положение движка и шаг приращения задается в процентах.

Ёмкость конденсатора (рисунок 1.3в) измеряется в фарадах (Ф). Изменение величины емкости C переменного конденсатора (рисунок 1.3г) производится умножением значения коэффициента пропорциональности на начальное значение емкости. Значение емкости можно установить в диалоговом окне.

Индуктивность катушки на рисунке 1.3д измеряется в генри (Гн).

Величину индуктивности катушки с переменной индуктивностью (рисунок 1.3ж) задают, используя коэффициент пропорциональности, или с помощью диалогового окна.

Ключ в выключенном состоянии (разомкнутом) представляет собой бесконечно большое сопротивление, во включенном состоянии его сопротивление равно нулю. Ключи могут управляться: клавишей, таймером, напряжением, током. В EWB при параллельном соединении с другим ключом или батареей рекомендуется последовательно ввести в цепь резистор сопротивлением 1 Ом.

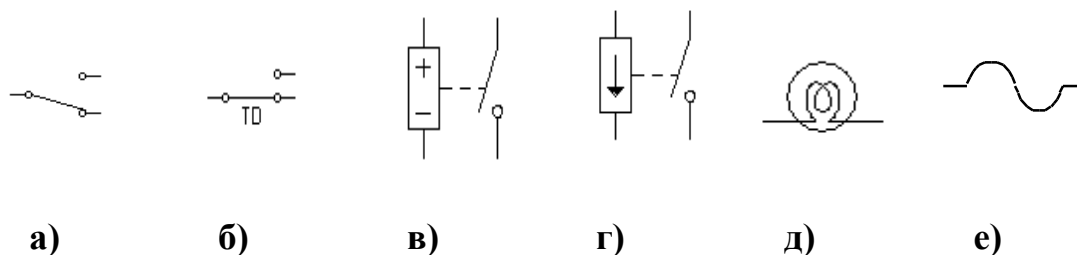


Рисунок 1.4-Ключевые элементы,

Ключ, указанный на рисунке 1.4а, может быть замкнут или разомкнут при помощи управляющих клавиш на клавиатуре. Имя управляющей клавиши можно ввести с клавиатуры в диалоговом окне, появляющемся после двойного щелчка мышью на изображении ключа.

Реле времени на рисунке 1.4б представляет собой ключ, который размыкается в момент времени **Toff** и замыкается в момент времени **Ton**. **Ton** и **Toff** должны быть больше 0. Если **Ton < Toff**, то в начальный момент времени, когда $t = 0$, ключ находится в разомкнутом состоянии. Замыкание ключа происходит в момент времени $t = \text{Ton}$, а размыкание - в момент времени $t = \text{Toff}$. Если **Ton > Toff**, то в начальный момент времени, когда $t = 0$, ключ находится в замкнутом состоянии. Размыкание ключа происходит в момент времени $t = \text{Toff}$, а замыкание - в момент времени $t = \text{Ton}$. **Ton** не может равняться **Toff**.

Ключ, управляемый напряжением на рисунке 1.4в, имеет два управляющих параметра: включающее (**Von**) и выключающее (**Voff**) напряжения. Он замыкается, когда управляющее напряжение больше или равно включающему напряжению **Von**, и размыкается, когда оно равно или меньше, чем выключающее напряжение **Voff**.

Ключ, управляемый током на рисунке 1.4г, работает аналогично ключу, управляемому напряжением. Когда ток через управляющие выводы превышает ток включения **Ion**, ключ замыкается; когда ток падает ниже тока выключения **Ioff** - ключ размыкается.

Лампа накаливания (рисунок 1.4д) - элемент резистивного типа, преобразующий электроэнергию в световую энергию. Параметры: максимальная мощность **Pmax** и максимальное напряжение **Vmax**. При напряжении на лампе большем **Vmax** (в этот момент мощность, выделяющаяся

в лампе, превышает $P_{\max}$) она перегорает. При этом изменяется изображение лампы (обрывается нить) и проводимость ее становится равной нулю.

Предохранитель (рисунок 1.4ж) разрывает цепь, если ток в ней превышает максимальный ток $I_{\max}$. В схемах, где используются источники переменного тока, $I_{\max}$ является максимальным мгновенным значением тока.

1.4. Порядок выполнения работы

1. Запустите EWB.

2. Подготовьте новый файл в формате *.ewb для работы. Для этого необходимо выполнить следующие операции из меню: **File/New**. При выполнении операции **Save as** будет необходимо указать имя файла, в котором будет храниться схема на диске.

3. Соберите на рабочем поле схему на рисунке 1.5. Для этого перенесите элементы принципиальной схемы на рабочую область EWB. Соедините контакты элементов для получения схемы, образуя контуры для протекания тока. Задайте номиналы и свойства каждого элемента. Сохраните файл.

4. Запишите в отчете названия и номинальные значения параметров элементов схемы, указанной на рисунке 1.5.

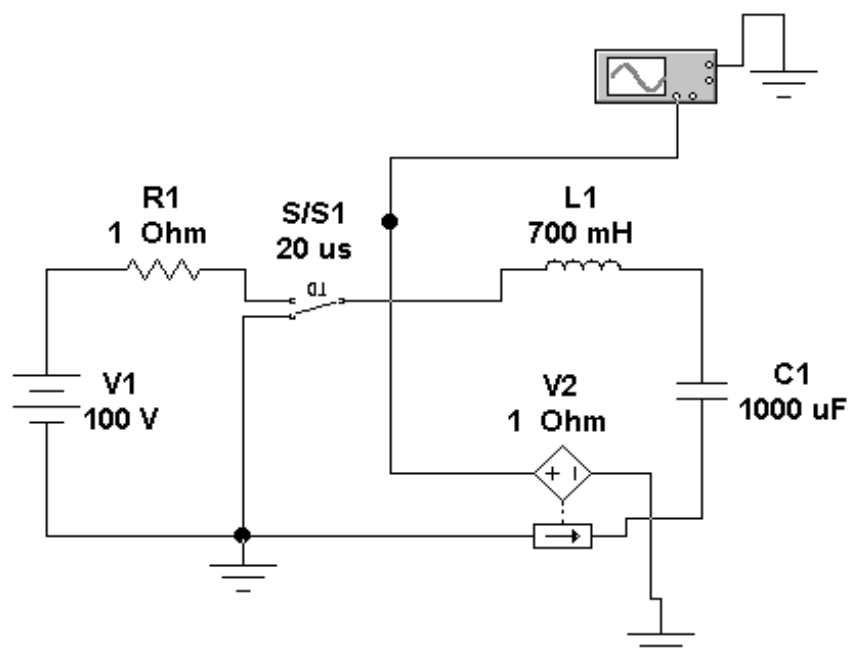
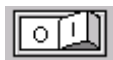


Рисунок 1.5 - Принципиальная схема

5. Составьте схему цепи, состоящей из последовательно соединенных источника постоянного напряжения величиной 10 В, резистора сопротивлением 1 Ом и лампы накаливания. Включите схему, нажав на



6.клавишу .Удвойте величину напряжения источника. Произведите включение схемы. Опишите результат эксперимента. Рассчитайте активную мощность, выделяемую в лампе накаливания в обоих случаях.

1.5. Содержание отчета

1. Описание внешнего вида интерфейса пользователя EWB.
2. Описание компонентов принципиальной схемы на рисунке 1.5.
3. Значения параметров компонентов схемы на рисунке 1.5.
4. Распечатки файлов с изображением принципиальных схем, соответствующих заданиям в пункте 1 и 5.
5. Схема и описание эксперимента в пункте 5.
6. Расчет активной мощности лампы накаливания.
- 7.Выводы.

1.6. Контрольные вопросы

1. Перечислите этапы алгоритма формирования схемы.
2. Опишите структуру интерфейса пакета EWB.
3. Дайте классификацию компонент в каталогах библиотек EWB.
4. Укажите условные обозначения и опишите порядок задания резисторов.
5. Какие виды ключей используются в электронной лаборатории?
6. Укажите условные обозначения и опишите порядок задания индуктивностей.
7. Укажите условные обозначения и опишите порядок задания конденсаторов.
8. Опишите принцип действия простого ключа и реле времени, изобразите их условные обозначения.
9. Опишите принцип действия ключа, управляемого напряжением, изобразите его условное обозначение.
10. Опишите принцип действия ключа, управляемого током, изобразите его условное обозначение.
11. Опишите принцип действия лампы накаливания, изобразите её условное обозначение.
12. Опишите принцип действия предохранителя, изобразите его условные обозначения.

2. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК СХЕМ

2.1. Цель работы Ознакомление с измерительными приборами пакета EWB, применяемыми при исследовании схем.

1. Изучение способов подключения измерительных приборов.
2. Исследование схем с помощью измерительных приборов.

2.2. Теоретический раздел

Все виды измерений в EWB осуществляются с помощью элементов панели инструментов *Instruments*, изображенной на рисунке 2.1а, и с помощью приборов в поле индикаторов *Indicators*, изображенном на рисунке 2.1б, а также с помощью команд меню *Analysis*.



а)



б)

Рисунок 2.1 - Панель инструментов а) и индикаторов б)

Приборы на панели *Indicators*. Вольтметр и амперметр не требуют настройки, автоматически изменяют диапазон измерений. В одной схеме можно применять несколько приборов одновременно. Приборами можно измерять постоянное напряжение и ток. При измерении переменного синусоидального напряжения вольтметр показывает действующее значение

напряжения $U = \frac{U_m}{\sqrt{2}}$, где U_m - амплитудное значение напряжения.

Амперметр действует аналогично. Выделенная толстой линией сторона прямоугольника, изображающего прибор, соответствует отрицательной клемме. Двойным щелчком мыши на изображении прибора открывается диалоговое окно для изменения параметров прибора: вида измеряемого напряжения или тока (опция *Mode*, которая выбирается из списка). Величина внутреннего сопротивления прибора вводится с клавиатуры в строке *Resistanc*. Вольтметр подключается параллельно к участку измерения, амперметр включается последовательно с элементом, в котором определяется ток.

Приборы на панели Instruments. Мультиметр (Multimeter) используется для измерения переменного (действующее значение) или постоянного напряжения, или тока, или сопротивления. Мультиметр автоматически выставляет диапазоны измерений. Внутреннее сопротивление и ток мультиметра имеют значения приближенные к идеальным и могут быть изменены кнопкой *Settings*.

Осциллограф (*Oscilloscope*) представлен графически условным изображением или виртуальным экраном, на котором отображаются колебания одного или двух электронных сигналов во времени, что дает возможность определять амплитуду, начальную фазу, период колебания, или сравнивать одну временную диаграмму с другой.

Осциллограф имеет два канала (CHANNEL) А и В с отдельной регулировкой чувствительности в диапазоне от 10 мкВ/дел (mV/Div) до 5 кВ/дел (kV/Div) и регулировкой смещения по вертикали (Y POS).

Выбор режима по входу: Режим **AC** - наблюдение только сигналов переменного тока (режим "закрытого входа", на входе усилителя прибора включается разделительный конденсатор, не пропускающий постоянную составляющую). В режиме **0** входной зажим замыкается на землю. В режиме **DC** (он включен по умолчанию) проводятся осциллографические измерения как постоянного, так и переменного тока. Входной сигнал непосредственно поступает на вход вертикального усилителя, расположенный с правой стороны от кнопки DC.

Выбор режима развертки: В режиме **Y/T** (включен по умолчанию) по вертикали подается напряжение сигнала, по горизонтали отсчитывается время. Длительность развертки (TIME BASE) может быть задана в диапазоне от 0,1 нс/дел (ns/div) до 1 с/дел (s/div) с возможностью установки смещения в тех же единицах по горизонтали, т.е. по оси X (X POS). В режиме **B/A**: по вертикали подается сигнал канала В, по горизонтали — сигнал канала А; в режиме **A/B**: - наоборот. В режиме **Y/T** предусмотрен ждущий режим (TRIGGER) с запуском развертки (EDGE) по переднему или заднему фронту запускающего сигнала при регулируемом уровне (LEVEL) запуска, а режим AUTO работает от канала А, от канала В или от внешнего источника (EXT), подключаемого к зажиму в блоке управления TRIGGER. Заземление осциллографа осуществляется с помощью клеммы GROUND в правом верхнем углу прибора.

При нажатии на кнопку [Expand] появляется виртуальный экран, возникает возможность просмотра изображения по горизонтали и его сканирования с помощью вертикальных визирных линий (синего и красного цвета), которые за треугольники могут быть установлены курсором в любое место экрана. В индикаторных окошках под экраном приводятся результаты измерения напряжения, интервалов времени и их приращений (между визирными линиями). Изображение можно инвертировать нажатием кнопки [REVERSE] и записать данные в файл нажатием кнопки [SAVE]. Возврат к исходному состоянию осциллографа — нажатием кнопки [REDUCE].

В работе рассматриваются резистивный, емкостный и индуктивный элементы в цепи синусоидального тока, частотой f , с периодом $T = \frac{1}{f}$.

На резистивном элементе угол сдвига фаз φ между напряжением и током равен нулю. Векторная и временная диаграммы тока и напряжения цепи с резистивным элементом изображены на рисунке 2.2.

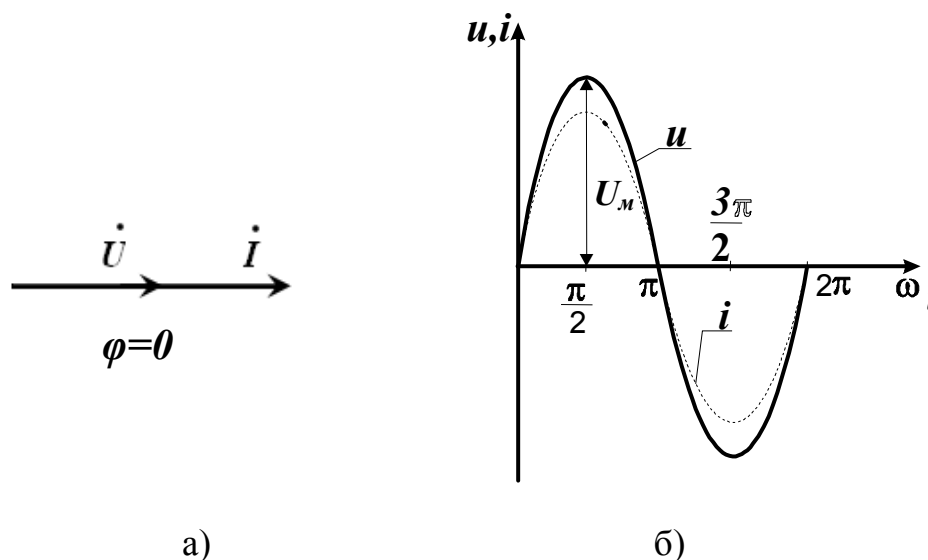


Рисунок 2.2 – Векторная (а) и временная (б) диаграммы тока и напряжения цепи с резистивным элементом

Для резисторного элемента справедлив закон Ома, как для мгновенных значений тока и напряжения

$$u(t) = R i(t), \quad (2.1)$$

так и для действующих значений тока I и напряжения U

$$U = R I \quad (2.2)$$

где R – активное сопротивление резистора, Ом.

В конденсаторе ток опережает напряжение на угол 90° . Векторная и временная диаграммы тока и напряжения цепи с идеальным конденсатором представлены на рисунке 2.3. Соотношение, связывающее мгновенное значение тока i_C и мгновенным значением напряжения на конденсаторе, определяется формулой

$$i_C = C \frac{du_C}{dt}, \quad (2.3)$$

где C – емкость конденсатора, Ф. Действующие значения тока и напряжения связаны соотношением

$$U = X_C I, \quad (2.4)$$

где $X_C = \frac{1}{\omega C}$ – реактивное емкостное сопротивление конденсатора, Ом,

ω ($\omega = 2\pi f$) - круговая частота, Рад/с.

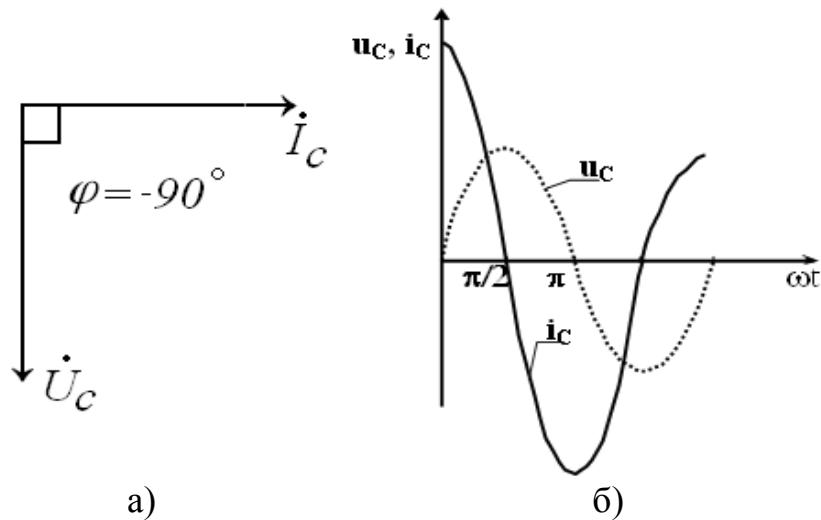


Рисунок 2.3 – Векторная (а) и временная (б) диаграммы цепи с идеальным конденсатором

На идеальном индуктивном элементе напряжение опережает ток на угол 90° . Векторная и временная диаграммы цепи с идеальной катушкой показаны на рисунке 2.4.

Соотношение между мгновенным током i_L и мгновенным напряжением u_L на идеальной катушке определяется формулой

$$u_L = L \frac{di_L}{dt}, \quad (2.5)$$

где L – индуктивность катушки, Гн.

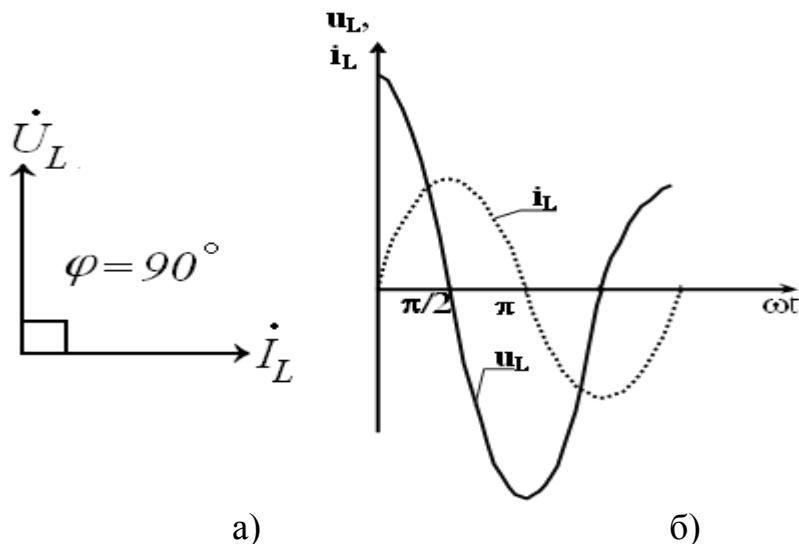


Рисунок 2.4 – Векторная (а) и временная (б) диаграммы цепи с идеальной катушкой индуктивности

Действующее значения тока и напряжения связаны соотношением

$$U = X_L I, \quad (2.6)$$

где $X_L = \omega L$ -индуктивное сопротивление, Ом.

2.3. Порядок выполнения работы

1. Соберите схему последовательно соединенных конденсатора С и резисторов R и RSH. и установите параметры элементов в соответствии с рисунком 2.5.

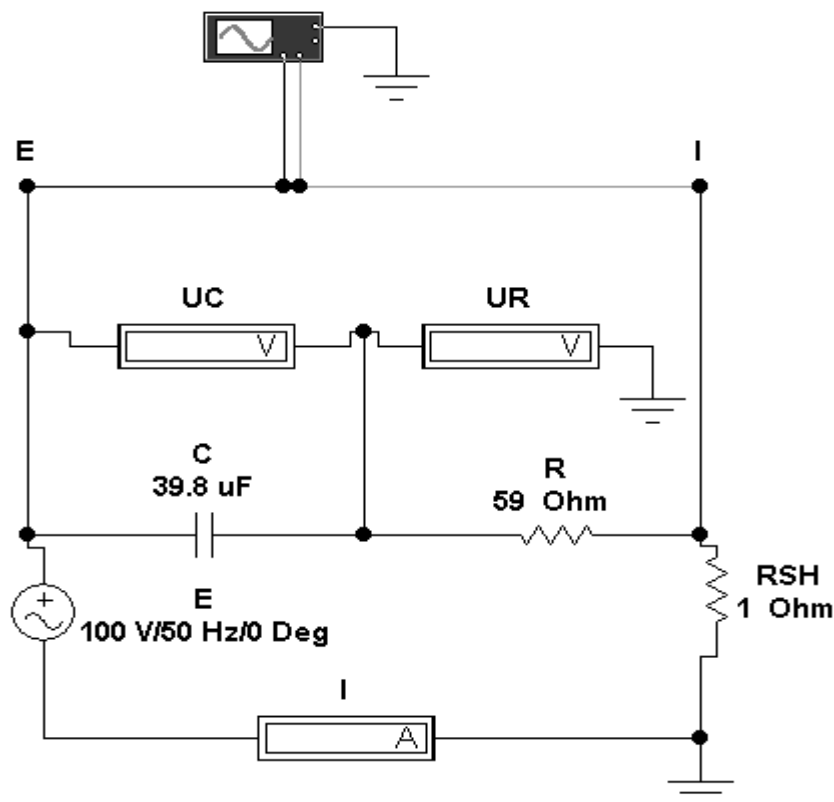


Рисунок 2.5 – Экспериментальная схема

2. Рассчитайте входное комплексное сопротивление цепи по формуле в алгебраической форме: $\bar{Z} = Z e^j$, где $Z = \sqrt{(X_C)^2 + (R_{общ})^2}$ - модуль входного сопротивления цепи, $R_{общ} = R + RSH$ - активное сопротивление цепи,

$$\varphi = \arctg\left(\frac{X_C}{R_{общ}}\right) \text{ - угол сдвига фаз между входным напряжением и током.}$$

Вычислите комплексы действующих значений тока и напряжения на каждом

элементе $\dot{I} = I e^{j\phi_i} = \frac{\dot{U}}{Z}$, $\dot{U}_R = U_R e^{j\phi_{U_R}}$, $\dot{U}_C = U_C e^{j\phi_{U_C}}$. Результаты расчета занесите в таблицу 2.1.

Таблица 2.1- Результаты эксперимента и расчета

Величина	Z, Ом.	ϕ°	I, А	αI°	U _R , В	αU_R°	U _C , В	αU_C°	U, В	αU°
Расчет										
Опыт										

3. Нажмите кнопку включения питания на панели инструментов .

Запишите показания вольтметров и амперметра в таблицу 2.1 в строку «Опыт».

4. Подключите осциллограф, перечертите в отчет осциллограммы тока и напряжения конденсаторе С и резисторе R. Укажите на них амплитуды сигналов, используя для их определения визирные линии, определите период Т, как временной интервал между визирными линиями и частоту сигнала по формуле $\omega = \frac{2\pi}{T}$. Определите экспериментальные значения фазовых сдвигов напряжений между током и напряжением на конденсаторе С и резисторе R. Занесите их в таблицу 2.1 в строку «Опыт».

5. Остановите моделирование (Остановку моделирования, можно выполнить кнопкой **Pause**). Закоротите источник напряжения. Подключите параллельно резистору R мультиметр в режиме омметра. Включите питание. Запишите показание прибора. В случае серьезной ошибки в схеме (например, отсутствие нулевого потенциала в схеме) выдается предупреждение.

6. Замените в схеме на рисунке 2.5 емкостной элемент индуктивным L=0,2545 Гн. Проведите расчеты и анализ данной цепи так же, как в пп. 2,3,4. Заполните таблицу 2.2 аналогичную таблице 2.1.

7. Постройте векторные диаграммы токов и напряжений обеих схем.

2.3. Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Схемы эксперимента. Описание компонентов принципиальных схем.
3. Параметры настройки амперметра и вольтметра.
4. Параметры настройки осциллографа.
5. Файлы с изображением принципиальных схем, соответствующих заданиям в пункте 4, 5 и 6 и их распечатки.

6. Осциллограммы (временные диаграммы) токов и напряжений, с указанием амплитуд, начальных фаз, частоты, периода.
7. Расчетные значения входного комплексного сопротивления, комплекса тока в контуре, комплекса напряжения на каждом элементе принципиальных схем, соответствующих заданиям в пункте 4, 5 и 6.
8. Векторные диаграммы токов и напряжений обеих схем.
9. Выводы.

2.5. Контрольные вопросы

1. Каким образом включаются в цепь амперметр и вольтметр? Какие значения тока и напряжения они регистрируют в цепи переменного тока?
2. Как осуществить настройку амперметра и вольтметра для измерения действующего значения тока и напряжения.
3. Каково назначение осциллографа, перечислите параметры его настройки.
4. Опишите порядок включения осциллографа. Каким образом с помощью осциллографа можно получить значения амплитуды сигнала и его частоты и фазового сдвига?
5. Каково назначение мультиметра, перечислите параметры его настройки. Как с помощью мультиметра можно определить сопротивление элемента цепи?
6. Какие соотношения связывают мгновенные и комплексные значения тока и напряжения в элементах **R**, **C**, **L**.
7. Дайте определение понятиям: период, частота, амплитуда, действующее значение напряжения (тока). Как они определяются с помощью осциллографа?
8. Изобразите векторные диаграммы тока и напряжения для каждого элемента **R**, **C**, **L**. Определите угол сдвига фаз между током и напряжением.
9. Перечислите измерительные приборы пакета EWB, применяемые при анализе схем. Какие параметры сигналов измеряются с их помощью?
10. Опишите действия для выбора режима развертки осциллографа.

3. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3 ИССЛЕДОВАНИЕ РАЗЛИЧНЫХ МЕТОДОВ ИЗМЕРЕНИЯ ОМИЧЕСКОГО (АКТИВНОГО) СОПРОТИВЛЕНИЯ

3.1. Цель работы

Изучение методов измерения сопротивления. Формирование навыков в использовании измерительных приборов

3.2. Теоретический раздел

Рассмотрим методы измерения сопротивления. Измерение сопротивления состоит в определении значения электрического сопротивления устройства и

является важной практической задачей. Например, измерение сопротивления изоляции – обязательное испытание электротехнических устройств после монтажа и в процессе эксплуатации при техническом обслуживании.

Измерение электрического сопротивления производится: методом компарирования тока или напряжения, использованием измерительных мостов косвенным способом,

Косвенное измерение является простейшим, состоит в измерении тока и напряжения и использовании закона Ома для определения сопротивления.

При **компарировании напряжений** сравниваются падения напряжений U_X , U_I , вызываемые постоянным током на измеряемом сопротивлении R_X и на образцовом сопротивлении R_I , значение которого точно известно.

Измерение напряжений производят высокоомным вольтметром, сопротивление которого $R_V > (10^2 \div 10^4) R_X$. Измеряемое сопротивление определяется по формуле

$$R_X = \frac{U_X R_I}{U_I}. \quad (3.1)$$

При **компарировании токов** уравнивают токи, обусловленные постоянным напряжением, и протекающие через измеряемый объект и образцовый. При этом неизвестное сопротивление R_X и образцовое сопротивление R_I поочередно подключают к постоянному напряжению и измеряют соответствующие токи I_X , I_I . Неизвестное сопротивление вычисляют по формуле

$$R_X = \frac{I_I (R_I + R_A)}{I_X} - R_A. \quad (3.2)$$

Если внутреннее сопротивление амперметра R_A гораздо меньше R_X и R_I , то справедливо соотношение

$$R_X = \frac{I_I R_I}{I_X}. \quad (3.3)$$

Измерительный мост Уитстона (мост постоянного тока) позволяет определить значение одного из четырех сопротивлений, три из которых известны. Неизвестное сопротивление R_X и образцовое сопротивление R_I , значение которого известно с высокой точностью, образуют делитель напряжения. Второй делитель напряжения, подключенный параллельно первому, образован сопротивлениями R_2, R_3 . Изменяя **отношение плеч моста** $b = R_2/R_3$, т.е. уравнивая отношения противоположно лежащих сопротивлений так, чтобы рабочее напряжение обоими делителями делилось одинаково, получают равные потенциалы точек подключения измерительного прибора. В этом случае ток через нуль-амперметр отсутствует, мост уравновешен. Значение неизвестного сопротивления в этом случае равно $R_X = b R_I$.

Измерение сопротивления мультиметром. Прибор подключается параллельно с измеряемым участком, содержит встроенный источник постоянного напряжения и фиксирует сопротивление в Ом. Мультиметр автоматически выставляет диапазоны измерений. Внутреннее сопротивление и ток мультиметра имеют значения приближенные к идеальным и могут быть изменены кнопкой *Settings*. Если прибор имеет цифровой индикатор, его называют цифровым мультиметром.

3.3. Порядок выполнения работы

1. Измерьте сопротивление R_X косвенным способом (рисунок 3.1а).

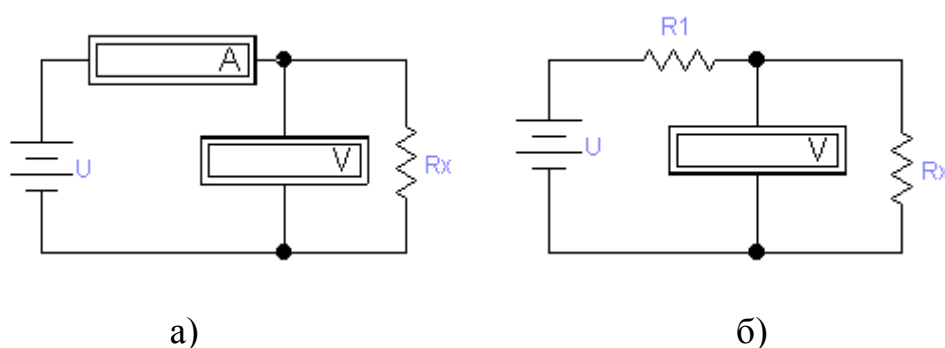


Рисунок 3.1 – Принципиальные схемы

2. Определите сопротивление R_X методом компарирования напряжения по схеме на рисунке 3.1б, используя образцовое сопротивление $R_1=1\text{Ком}$. Напряжение источника, создающего постоянный ток, $U = 12\text{В}$. Внутреннее сопротивление вольтметра установите $R_V = 100\text{Мом}$
3. Составьте самостоятельно схему цепи для измерения неизвестного сопротивления R_X компарированием токов. Проведите измерения. Сравните результаты вычисления сопротивления по формулам (3.2), (3.3).
4. Соберите схему моста Уитстона, изображенную на рисунке 3.2.

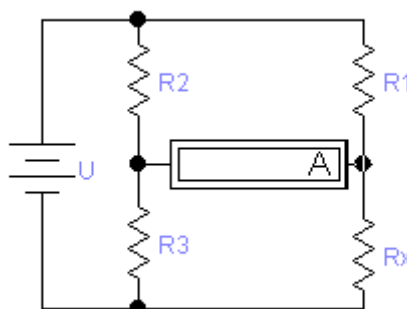


Рисунок 3.2 - Схема моста Уитстона

Установите сопротивление $R_1=1\text{Ком}$, $R_2=2\text{КОм}$. Изменяя сопротивление R_3 , обеспечьте отсутствие тока через нуль-амперметр, т.е. получите уравновешенный мост. Рассчитайте *отношение плеч моста* $b = R_2/R_3$. Определите значение неизвестного сопротивления R_X .

5. Выполните настройку цифрового мультиметра для измерения сопротивления резистора, соберите схему, зафиксируйте в таблице показания мультиметра.

6. Заполните таблицу 3.1.

Таблица 3.1 - Численные результаты экспериментов

Схема	Значение сопротивления R_X , Ом	Параметры приборов
3.1a		
3.1б		
Схема компарирования токов		
3.2		
Схема измерения мультиметром		

3.4. Содержание отчета

1. Цель работы
2. Все используемые формулы и произведенные на их основе расчеты.
3. Принципиальные схемы экспериментов и описание их компонентов
4. Таблица численных результатов экспериментов.
5. Файлы с изображением принципиальных схем, соответствующих выполненным измерениям.
6. Выводы, содержащие сравнение методов измерения сопротивления

3.5. Контрольные вопросы

1. Каким образом можно подключить вывод компонента к проводнику?
2. Назовите элемент для образования в схеме узла соединений.
3. Перечислите этапы алгоритма формирования принципиальной схемы.
4. Какой источник питания используется в эксперименте, его параметры?
5. Перечислите измерительные приборы, используемые в эксперименте, как определить их свойства.
6. Какое соединение элементов называется последовательным, параллельным?
7. Как работает схема моста Уитстона?
8. Для чего и как используется мультиметр? Как производится его

настройка?

9. Перечислите методы определения сопротивления участка цепи.

10. Опишите алгоритм определения сопротивления компарированием напряжения.

11. Как определяется сопротивление методом компарирования тока?

4. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №4

ИССЛЕДОВАНИЕ ОСНОВНЫХ ЗАКОНОВ ЛИНЕЙНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ

4.1. Цель работы

Ознакомление с основными свойствами и теоремами линейных цепей: свойством наложения (суперпозиции), свойством взаимности, свойством линейности, теоремой компенсации, теоремой об эквивалентном источнике.

4.2. Теоретические сведения

Свойство наложения. При наличии в схеме источников э.д.с. и источников тока, ток в любой ветви равен сумме токов, протекающих в этой ветви под действием каждого источника э.д.с. и тока в отдельности.

Свойство взаимности. Если единственный в схеме источник э.д.с., включенный, например в k -ю ветвь приводит к возникновению тока (напряжения) в i -й ветви, то тот же источник э.д.с., включенный в i -ю ветвь создает в k -й ветви тот же ток (напряжение).

Свойство линейности. При изменении эдс (тока) источника или сопротивления в одной ветви справедливы линейные соотношения между токами и напряжениями любых ветвей:

$$\begin{aligned} I_k &= a + b I_n, & I_k &= a_1 + b_1 U_n, \\ U_k &= a_2 + b_2 I_n, & u_k &= a_3 + b_3 U_n, \end{aligned}$$

где a, b – коэффициенты, I_k, I_n, U_n, U_k – токи и напряжения ветвей с номерами k, n .

Теорема компенсации. Ток в электрической цепи не изменится, если сопротивление пассивного элемента в ней заменить источником э.д.с., величина эдс, которого равна напряжению на этом элементе и направлена навстречу току в нем.

Теорема об эквивалентном источнике напряжения (Теорема Гельмгольца-Тевенина). Активный двухполюсник, по отношению к рассматриваемой ветви, можно заменить эквивалентным источником напряжения, э.д.с. которого равна напряжению холостого хода на зажимах этой

ветви, а внутреннее сопротивление – входному сопротивлению пассивного двухполюсника, в котором источники энергии заменены их внутренними сопротивлениями.

Теорема об эквивалентном источнике тока (Теорема Нортон).

Активный двухполюсник по отношению к рассматриваемой ветви можно заменить эквивалентным источником тока, ток которого равен току в этой ветви, замкнутой накоротко, а внутренняя проводимость источника – входной проводимости пассивного двухполюсника, в котором источники энергии заменены их внутренними сопротивлениями.

4.3. Порядок выполнения работы

1. Запустите EWB.

2. Подготовьте новый файл в формате *.ewb для работы.

3. Соберите схему на рисунке 4.1 на рабочей области EWB. Для этого соедините контакты элементов для получения схемы, образуя контуры для протекания тока. Задайте номиналы и свойства каждому элементу, совпадающие со схемой на рисунке 4.1. Источники энергии в схеме идеальные.

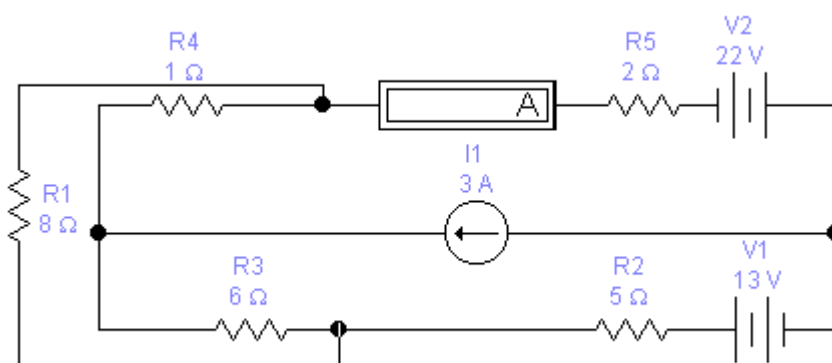


Рисунок 4.1 – Принципиальная схема эксперимента

4. Проведите исследование **свойства наложения**. Для этого создайте три копии схемы. В каждой копии должен действовать один единственный источник энергии, другие должны быть исключены. При исключении идеальный источник напряжения заменяется участком с нулевым сопротивлением, а идеальный источник тока разрывом участка цепи в который он был включен. Определите значение силы тока в резисторе R5 амперметром в каждой схеме. Проверьте справедливость выражения

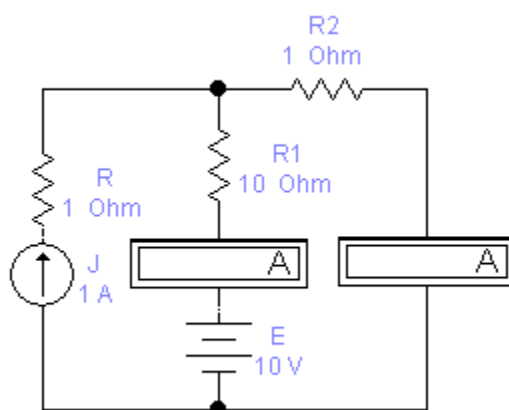
$$I_{R5} = I_{R5,V1} + I_{R5,V2} + I_{R5,I1},$$

где токи от действия всех источников и каждого в отдельности обозначены:

$$I_{R5}, \quad I_{R5,V1}, \quad I_{R5,V2}, \quad I_{R5,I1}.$$

5. Проведите исследование **свойства взаимности**. Преобразуйте схему на рисунке 4.1 так, чтобы в ней остался единственный источник напряжения V1 (Замените идеальный источник тока разрывом, а идеальный источник напряжения отрезком провода нулевого сопротивления). Измерьте силу тока в резисторе R1, включив в эту ветвь амперметр. Проведите еще один эксперимент. Поменяйте местами источник напряжения V1 и резистор R1. Убедитесь, используя амперметр, что ток через резистор R1 при новом его положении остался прежним.

6. Проведите исследование **свойства линейности**. Зависимость между токами I_1 и I_2 линейна и имеет вид $I_1 = a + bI_2$. С помощью амперметров измерьте силу тока в ветвях с резисторами R и R2, выполнив опыты при работе исходной схемы на рисунке 4.2 в двух режимах: холостом ходе и коротком замыкании ветви с резистором R2.



4.2. Схема исследования свойства линейности

Коэффициенты a, b вычислите, решив систему уравнений

$$\begin{cases} I_{1K} = a + bI_{2K}, \\ I_{1X} = a + bI_{2X}. \end{cases}$$

7. Проведите проверку справедливости **теоремы компенсации** по схеме на рисунке 4.1. Для этого измерьте напряжение на резисторе R5 вольтметром, затем замените резистор R5 источником напряжения величину и направление которого определите по теореме компенсации. Сравните токи в ветви с резистором R1 в исходной и в преобразованной схеме.

8. Проведите проверку справедливости **теоремы об эквивалентном источнике напряжения**, используя схему на рисунке 4.1. Составьте схему цепи для измерения напряжения холостого хода на участке с резистором R5. Проведите измерения напряжения. Соберите схему для определения внутреннего сопротивления эквивалентного источника напряжения, заменив источники энергии их внутренними сопротивлениями. Измерьте сопротивление мультиметром. Соберите схему, заменив активный

двухполюсник эквивалентным источником напряжения. Измерьте значение силы тока в резисторе R5 амперметром.

9. Проведите проверку справедливости **теоремы об эквивалентном источнике тока**. Самостоятельно предложите алгоритм проведения эксперимента (факультативное задание).

4.4.Содержание отчета

1. Файлы с изображением принципиальных схем, соответствующих проведенным экспериментам и их распечатки.(Для каждого пункта исследования должен быть отдельный файл)

2. Перечень, описание, значения параметров компонентов принципиальных схем.

3. Подробное изложение выполненных вычислений.

4. Выводы

4.5. Контрольные вопросы

1. Каким образом можно изменить параметры компонента схемы?

2. Как мультиметром измеряют силу тока, напряжение, сопротивление?

3. Перечислите основные свойства линейных цепей.

4. Сформулируйте основные теоремы линейных цепей.

5. Перечислите этапы алгоритма формирования принципиальной схемы.

6. Какие характерные режимы работы схем используются в эксперименте?

7. Опишите алгоритм исследования свойства наложения.

8. Опишите алгоритм исследования свойства взаимности.

9. Опишите алгоритм исследования свойства линейности.

10. Опишите алгоритм проверки справедливости теоремы компенсации

11. Опишите алгоритм проверки справедливости теоремы об эквивалентном источнике напряжения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники. Электрические цепи/ Л.А. Бессонов.– М.: Изд-во «Гардарики», 2002. –640 с.

2. Теоретические основы электротехники/ К.С. Демирчан, Л.Р.Нейман, Н.В.Коровкин и др. – СПб.: Изд-во 2Питер», 2003. – Т.1.- 464 с.

3. Шебес М.Р. Сборник задач по теории линейных электрических цепей/М.Р.Шебес.-М.: Высшая школа, 1990.-530 с.

4. Электронная лаборатория на IBM PC. Лабораторный практикум на базе Electronics Workbench и MATLAB. – М.: СОЛОН – Пресс, 2004.- 800 с.

Заказ № _____ от " _____ " _____ 200 _____ Тираж _____ экз.

Изд-во СевНПУ

