

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ  
Белорусский национальный технический университет

---

Кафедра «Механизация и автоматизация дорожно-строительного  
комплекса»

## ОСНОВЫ СХЕМОТЕХНИКИ

Лабораторный практикум  
для направления специальности 1-36 11 01 01  
«Подъемно-транспортные, строительные, дорожные машины  
и оборудование (производство и эксплуатация)»

В 3 частях

Часть 1

*Рекомендовано учебно-методическим объединением по образованию  
в области транспорта и транспортной деятельности*

Минск  
БНТУ  
2020

УДК 621.38(076.5)(075.8)  
ББК 32.844я7  
О-75

Составитель:  
*А. И. Антонец*

Рецензенты:  
доцент кафедры электронной техники и технологии БГУИР,  
канд. физ.-мат. наук *Г. М. Шахлевич*;  
заведующий кафедрой электротехники БГАТУ,  
канд. техн. наук, доцент *В. А. Ковалев*

О-75 Основы схемотехники: лабораторный практикум для направле-  
ния специальности 1-36 11 01 01 «Подъемно-транспортные, строи-  
тельные, дорожные машины и оборудование (производство и экс-  
плуатация)»: в 3 ч. / сост.: А. И. Антонец. – Минск: БНТУ, 2020. –  
Ч. 1. – 47 с.

ISBN 978-985-583-014-7 (Ч. 1).

В лабораторном практикуме приведены теоретические сведения по основным разделам изучаемого курса, порядок выполнения лабораторных работ, а также требования к их выполнению, оформлению и защите. Рассмотрены основы работы и применения программы Multisim 12.0 фирмы National Instruments для схемотехнического моделирования электрических схем.

Предназначено для студентов факультетов транспортных коммуникаций и энергетического строительства.

УДК 621.38(076.5)(075.8)  
ББК 32.844я7

ISBN 978-985-583-014-7 (Ч. 1)  
ISBN 978-985-583-015-4

© Белорусский национальный  
технический университет, 2020

## ВВЕДЕНИЕ

Руководствуясь целью и задачами курса «Основы схемотехники», основными задачами данного цикла лабораторных работ является:

- научить студента практическим навыкам исследования электрических схем с помощью компьютерных технологий;
- научить отлаживать и тестировать электрические схемы;
- привить навыки расчета схем;
- изучение необходимых теоретических сведений по основам схемотехники.


Лабораторные работы предполагают изучение основных элементов электрических схем, использование разнообразных виртуальных измерительных приборов, исследование основных законов электрических цепей. Каждая работа содержит теоретические сведения, указания по ее выполнению и оформлению, перечень контролируемых вопросов. Лабораторные работы выполняются в среде Multisim 12.0. Multisim – простой в использовании современный инструмент исследования электрических схем. Он состоит из набора взаимосвязанных модулей, предназначенных для составления, анализа и настройки аналоговых, цифровых, радиочастотных схем, включая программируемые компоненты, проектирование топологии и разводку печатных плат, оптимизацию расположения деталей и дизайн корпуса. Multisim в обращении интуитивно прост и нагляден, что делает его незаменимым при использовании в учебном процессе. Студенты, начинающие свой путь в области схемотехники, гораздо быстрее смогут направить полученные теоретические знания в практическое русло.

## Лабораторная работа 1

### ПРИМЕНЕНИЕ ПРОГРАММЫ MULTISIM В КАЧЕСТВЕ ИНСТРУМЕНТА ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ И АНАЛИЗА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СХЕМ

**Цель работы:** ознакомиться с программой Multisim.

#### 1. Интерфейс программы

Программа Multisim – это универсальный инструмент, позволяющий собирать и исследовать электрические цепи любой сложности [1]. Для запуска нужно перевести курсор на ярлык Multisim  и дважды щелкнуть на его изображении левой кнопкой мыши. На экране монитора откроется рабочее окно программы (рис. 1.1). Рассмотрим состав и назначение элементов рабочего окна Multisim. В верхней части экрана расположена панель выпадающих меню: **Файл**, **Редактор**, **Вид**, **Вставить**, **Микроконтроллеры**, **Трансляция**, **Инструментарий**, **Отчеты**, **Установки**, **Окно**, **Справка** – их назначение стандартно для многих Windows-приложений.

##### 1.1. Система меню Multisim

В выпадающем меню **Файл** находятся следующие пункты: **Новый** – позволяет создавать новый проект; **Открыть** – открывает уже созданный файл, **Сохранить как...** – сохраняет рабочий проект на жестком диске или другом носителе информации.

Меню **Редактор** содержит такие опции как: **Отменить** – позволяет вернуться к предыдущему или последующему шагу разработки схемы (**Восстановить**), **Вырезать**, **Копировать**, **Вставить**, **Удалить**. Важной является кнопка изменения пространственного положения объекта – **Расположение**, в выпадающем меню которой находятся следующие инструкции: **Развернуть по горизонтали**, **Развернуть по вертикали**, **90 по часовой стрелке**, **90 против часовой стрелки**.

В меню **Вид** находятся настройки, позволяющие увеличивать и уменьшать рабочее поле проекта (кнопки ⊕, ⊖), панель инструментов, а также опция **Сетка**.

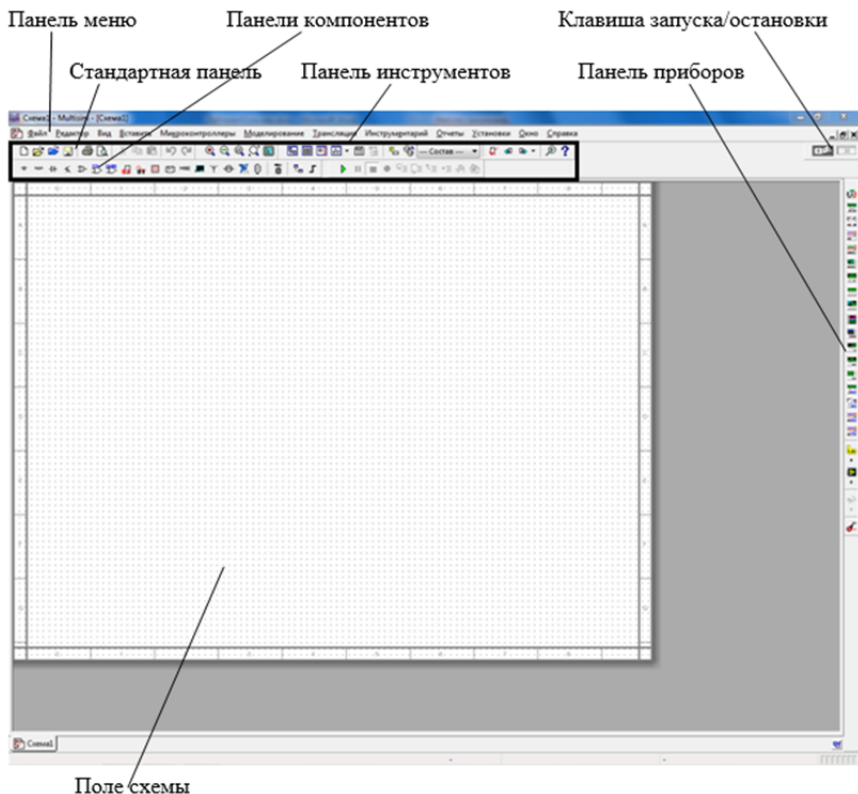


Рис. 1.1. Рабочее окно Multisim


В меню **Вставить** можно поместить на поле схемы, выбрав соответствующую опцию: компонент, точку соединения, проводник, шину, соединитель, новый иерархический блок, новую подсхему, комментарии, текст, графические элементы, штамп – а также заменить выделенную часть схемы блоком, подсхемой и создать новую подсхему.

В программе Multisim имеется возможность подключения модуля имитации работы современных микроконтроллеров, комбинирующих в себе центральный процессор, память данных, память программы и периферийные устройства на единственном физическом кристалле. В меню **Микроконтроллеры** находятся команды для обеспечения написания и отладки программы с учетом особенностей разрабатываемого устройства.

В меню **Моделирование** содержатся следующие команды: для моделирования работы схемы – **Пуск, Пауза, Стоп; Приборы** – для добавления виртуального контрольно-измерительного прибора; **Установки интерактивного и смешанного моделирования, Вид анализа; Постпроцессор**, который позволяет объединить несколько исследований и отобразить результаты моделирования в графическом виде; **Журнал моделирования/анализа, Интерфейс командной строки XSPICE** – открыть окно ввода XSPICE-команд; **Загрузить/Сохранить установки моделирования**; команды для работы с измерительным пробником; очистить показания приборов; включить/выключить установленные допустимые отклонения для компонентов схемы.

В меню **Трансляция** находятся команды импорта/экспорта в формате других программ [2].

В меню **Инструментарий** находятся следующие команды:

 – вызвать мастера создания компонентов;

**База данных** – позволяет добавить группу компонентов, редактировать, копировать и удалять компоненты;

**Менеджер вариантов** – для создания нескольких вариантов схем;

**Активизировать вариант...** – выбрать вариант схемы и сделать его текущим;


**Создатель схем:** на основе таймера 555, фильтров, на операционном усилителе, усилителе с общим эмиттером;


**Просмотрщик SPICE Netlist** – для работы с SPICE таблицей соединений (схемы);

**Переименовать/перенумеровать** компоненты схемы, отображаемые на экране;

**Заменить компонент, Обновить компоненты схемы;**


**Обновить символы иерарх. блока/подсхемы;**

 – проверить наличие и корректность соединительных элементов схемы;

 – установить метку «нет соединения» для выводов компонентов схемы;

 – удалить маркеры ошибок;

**Редактор символа/Редактор штампа/Редактор описания схемы;**

 – копировать часть экрана в буфер обмена;

**Ресурсы разработок Online.**

В меню **Отчеты** содержатся команды: **Спецификация; Информация о компонентах; Отчет по списку соединений; Перекрестные ссылки; Статистический отчет** (количество элементов, количество соединителей и т. д.); **Отчет о свободных секциях** (то есть недействующих секций интегральных схем).

Меню **Установки** состоит из следующих пунктов:

 – выполнить глобальные настройки программы;

**Схемные установки** – для изменения цветовой гаммы схемы и ее объектов; типа и атрибутов шрифтов и других параметров;

**Фиксация панелей** на экране;

**Модифицировать интерфейс** – настройка пользовательского интерфейса программы.

В меню **Окно** содержатся команды организации оконного интерфейса программы:

**Дубликат** – создать копию открытого текущего окна, **Заккрыть** текущее окно; **Заккрыть все окна**; **Каскадом** – расположение открытых окон каскадом; **Горизонтальной плиткой/Вертикальной плиткой** – последовательное расположение открытых окон по горизонтали/вертикали; **Схема1\*/ Следующее окно/Предыдущее окно/Выбор** – установка окна.

Меню **Справка** содержит команды вызова помощи с детализацией возможностей программы, подробного описания семейств компонентов, а также информацию о программе Multisim.

## 1.2. Панель инструментов

Панель инструментов является элементом графического интерфейса программы, объединяющим различные кнопки для быстрого доступа к командам меню. По умолчанию отображаются группы кнопок следующего назначения: **Стандартная панель**, включающая кнопки быстрого доступа к меню **Файл**, такие как **новый**, **открыть**, **сохранить** и т. д.; **Главная панель**, включающая кнопки: **выбора режима работы**, **создание пользовательского компонента**, **запуска постпроцессора** и т. д.; **Панель масштабирования**, включающая кнопки для доступа к командам меню **Вид**; **Панель моделирования**, включающая кнопки управления процессом – **Пуск**, **Пауза**, **Стоп** и т. д.; **Кнопки моделирования** – **запуск/завершение**

и приостановка; **Панели компонентов**, включает кнопки доступа к отдельным группам компонентов базы данных Multisim (рис. 1.2).



Рис. 1.2. Панель доступа к компонентам программы

### 1.3. Панель приборов Multisim

Виртуальные приборы Multisim – это программные модели контрольно-измерительных приборов. Добавление прибора в схему осуществляется с помощью курсора мыши и приборной панели (рис. 1.3).



Рис. 1.3. Приборная панель

Рассмотрим некоторые модели контрольно-измерительных приборов.

#### 1.3.1. Осциллограф

Внешний вид и лицевая панель осциллографа показана на рис. 1.4.

Модель имеет два канала А и В с отдельной регулировкой чувствительности в диапазоне от  $10^{-15}$  В/дел до  $10^{15}$  В/дел, регулировкой смещения по горизонтали и по вертикали. Каждый канал кроме сигнального имеет контакт заземления.

Для настройки отображения измеряемого сигнала используется панель управления осциллографом (рис. 1.5). Выбор режима работы по входу осуществляется нажатием кнопок «АС», «0», «DC», «—» (инверсный режим – только для канала В). В режиме АС отображается только переменная составляющая сигнала. В режиме DC – обе составляющих сигнала. В режиме 0 входной канал замыкается на землю. В инверсном режиме сигнал инвертируется относительно положения нуля.



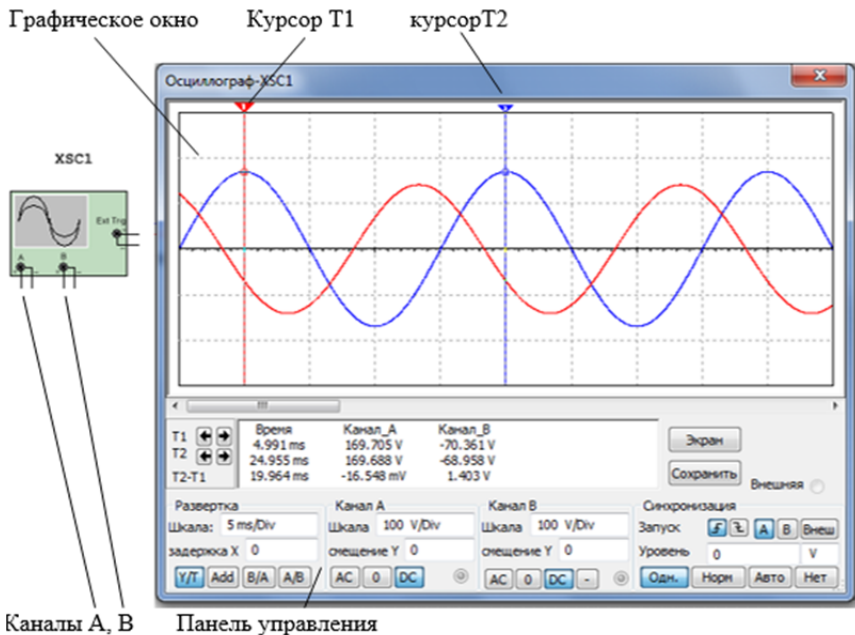


Рис. 1.4. Двухканальный осциллограф

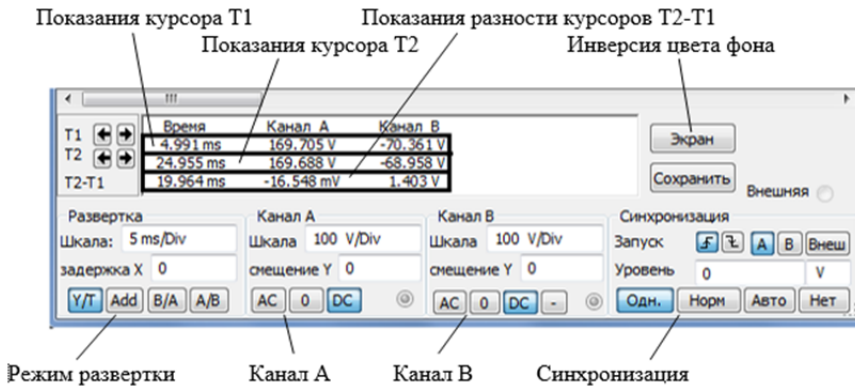




Рис. 1.5. Панель управления осциллографа

Для выбора режима развертки используются кнопки «Y/T», «Add», «B/A», «A/B». В режиме Y/T реализуется временная раз-

вертка для каждого канала, то есть горизонтальная ось представляет собой ось времени, а сигнал А и/или В откладывается по вертикальной оси. Длительность развертки задается в поле Шкала параметра Развертка и варьируется от  $10^{-15}$  с/дел до  $10^{+15}$  с/дел. В режиме Add отображается суммарный сигнал каналов А и В. Для построения передаточной характеристики исследуемой схемы используются режимы В/А и А/В. В режиме В/А отображается сигнал канала В относительно сигнала канала А. В режиме А/В – наоборот.

Осциллограф имеет три режима синхронизации: Однократный, Нормальный, Автоматический. В режиме *Нормальный* сигнал на экране отображается после поступления сигнала синхронизации. Далее осциллограмма остается неподвижной до момента прихода следующего сигнала синхронизации. В режиме *Однократный* на экране формируется только одна кривая. При активации данной опции осциллограф переходит в режим ожидания сигнала синхронизации. В режиме *Автоматический* сигнал синхронизации создается автоматически. Режим используется, когда невозможно создать сигнал запуска в обычном или одиночном режиме. Во всех этих режимах используется один из источников синхронизации: канал А, канал В или Внешняя синхронизация. Опция **Запуск** позволяет выбирать запуск по фронту  или срезу  сигнала при регулируемом уровне запуска. При измерении напряжения постоянного тока выбирается режим Нет (синхронизация отсутствует).

Обычно осциллографы создают сигналы синхронизации с помощью сигналов, измеряемых на каналах А или В. Однако при измерении небольших сигналов могут возникнуть сложности с созданием сигнала синхронизации, и в результате осциллограммы будут беспорядочно перемещаться по экрану. Чтобы избежать этого, используется канал внешней синхронизации (Внешняя).

### 1.3.2. Построитель частотных характеристик (Бодэ Плоттер)

Лицевая панель измерителя АЧХ-ФЧХ показана на рис. 1.6. Измеритель предназначен для анализа амплитудно-частотных (при нажатой кнопке **Амплитуда**, включена по умолчанию) и фазо-частотных (при нажатой кнопке **Фаза**) характеристик при логарифмической (кнопка **Log**, включена по умолчанию) или линейной (кнопка **Лин**) шкале по осям Y (По вертикали) и X (По горизонтали). Настройка измерителя заключается в выборе пределов измерения

коэффициента передачи и вариации частоты с помощью кнопок в окошках F – максимальное и I – минимальное значение.

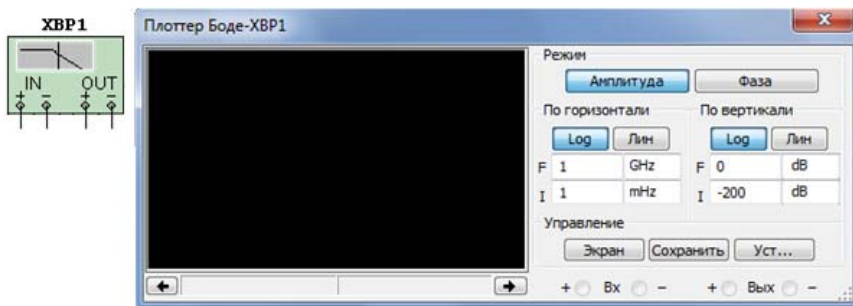


Рис. 1.6. Измеритель АЧХ и ФЧХ

Значение частоты и соответствующее ей значение коэффициента передачи или фазы индицируются в окошках в правом нижнем углу измерителя. Значения указанных величин в отдельных точках АЧХ или ФЧХ можно получить с помощью вертикальной визирной линии, находящейся в исходном состоянии в начале координат и перемещаемой по графику мышью или кнопками «←», «→». Результаты измерения можно записать также в текстовый файл. Для этого необходимо нажать кнопку **Сохранить** и в диалоговом окне указать имя файла (по умолчанию предлагается имя схемного файла). В полученном таким образом текстовом файле «\*.scp» АЧХ и ФЧХ представляются в табличном виде. Подключение прибора к исследуемой схеме осуществляется с помощью зажимов Вх (вход) и Вых (выход). Левые клеммы зажимов подключаются соответственно к входу и выходу исследуемого устройства, а правые – к общей шине (земля). К входу устройства необходимо подключить функциональный генератор или другой источник переменного напряжения, при этом каких-либо настроек в этих устройствах не требуется.

### 1.3.3. Мультиметр

Мультиметр (рис. 1.7) предназначен для измерения переменного или постоянного тока или напряжения, сопротивления или затухания между двумя узлами схемы. Диапазон измерений мультиметра подбирается автоматически. Его внутреннее сопротивление и ток близки к идеальным значениям, но их можно изменить.

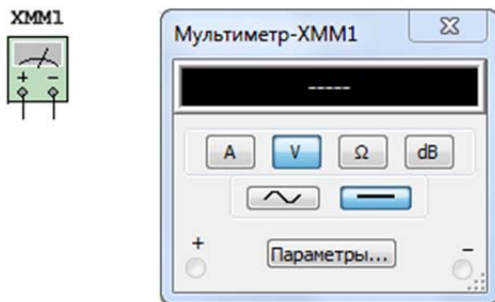


Рис. 1.7. Мультиметр

После нажатия на кнопку установки параметров мультиметра (Параметры...) открывается диалоговое окно (рис. 1.8), в котором можно выставить следующие параметры:

- входное сопротивление амперметра;
- входное сопротивление вольтметра;
- выходной ток омметра;
- относительный уровень dB; Установка эталонного напряжения  $V_1$  при измерении ослабления или усиления в децибелах (по умолчанию  $V_1 = 774.597\text{mV}$ ). При этом для коэффициента передачи используется формула:  $K = 20 \log(V_2/V_1)$ , где  $V_2$  – напряжение в контролируемой точке,  $K$  измеряется в децибелах.

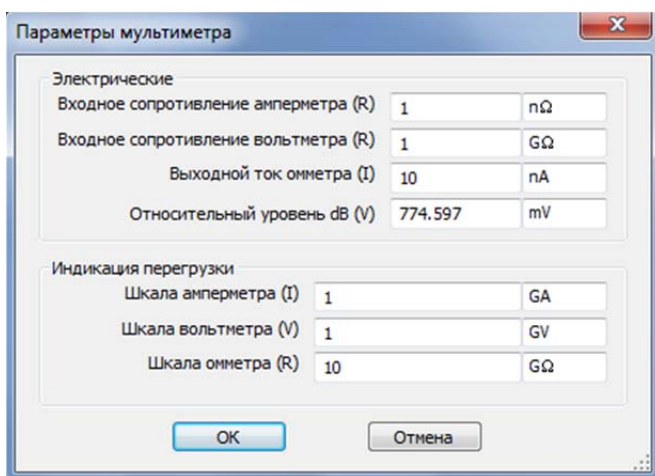


Рис. 1.8. Диалоговое окно

### 1.3.4. Ваттметр

Данный прибор (рис. 1.9), позволяет измерять мощность (ватт), потребляемую в цепи и коэффициент мощности. Для того чтобы правильно измерить мощность необходимо два левых вывода ваттметра ( $\pm V$ ) подключить параллельно измеряемому участку цепи, а два правых вывода ( $\pm I$ ) включаются в цепь последовательно.

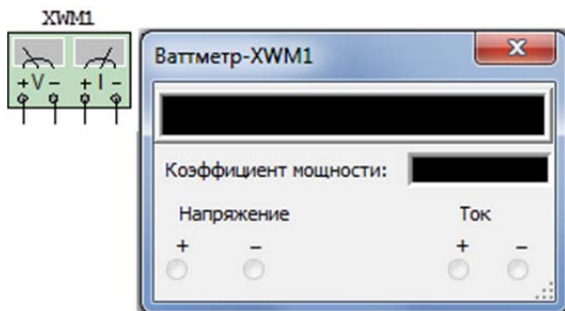


Рис. 1.9. Ваттметр

### 1.4. Компоненты Multisim

В Multisim работа осуществляется с двумя категориями компонентов: виртуальными (рис. 1.10, а) и реальными (рис. 1.10, б).

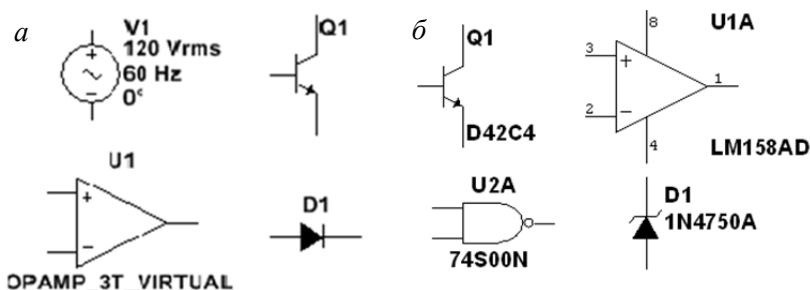


Рис. 1.10. а – виртуальные компоненты; б – реальные компоненты

Виртуальные в отличие от реальных являются математическими моделями компонентов с любыми произвольными параметрами. Добавление компонентов в схему осуществляется из меню **Вставить** либо панели компонентов.

Основные группы компонентов:

**Источники:** источники энергии (Power\_sources) – источники переменного и постоянного напряжения; трехфазные источники; источники питания постоянного тока, а также заземления; источники управляемые током или напряжением; управляемые функциональные блоки и цифровые источники.

**Пассивные компоненты:** резисторы индуктивности, конденсаторы, трансформаторы, механические ключи и т. д.

**Диоды:** диоды, стабилитроны, светодиоды, диодные мосты, диоды Шоттки, тиристоры и др.

**Транзисторы:** биполярные, полевые, МОП-транзисторы и др.

**Аналоговые компоненты:** операционные усилители, компараторы, дифференциальные усилители и др.

**Логика TTL:** цифровые микросхемы по технологии TTL серий 74Sxx, 74LSxx, 74ALSxx и др.

**Логика CMOS:** цифровые микросхемы по технологии CMOS серий 74НСxx, NC7Sx (TinyLogic) и др.

**Цифровые компоненты:** идеальные цифровые устройства (TIL) – логические элементы, триггеры, регистры, счетчики, мультиплексоры, декодеры, элементы арифметико-логических устройств и др.; микросхемы цифровой обработки сигналов (DSP), программируемые логические интегральные микросхемы, микросхемы памяти, микропроцессоры, микроконтроллеры и др.

**Аналого-цифровые компоненты:** аналоговые ключи, таймеры, аналого-цифровые и цифро-аналоговые преобразователи, мульти-вibrаторы и др.

**Индикаторы:** напряжения и тока, логические пробники, семи-сегментные преобразователи, звуковые индикаторы и др.

**Компоненты питания:** контроллеры питания, предохранители, регуляторы напряжения (источники питания) и др.

**Прочие компоненты:** оптопары, кварцы, фильтры, вакуумные лампы и др.

**Периферийные устройства:** клавиатура, терминалы, жидкокристаллические дисплеи и др.

**ВЧ-компоненты:** туннельные диоды, ферритовые кольца и др.

**Электро-механические компоненты:** электрические машины, сенсоры, дополнительные выключатели и др.

**Компоненты NI (National Instruments).**

## Разъемы.

**Микроконтроллеры:** ROM-память, RAM-память, PIC, однокристалльные микроконтроллеры 805x серий.

## 2. Создание схем

Процесс создания схемы начинается с выбора компонентов схемы. Выбранный компонент автоматически прикрепляется к курсору мыши. После этого компонент размещается в любом месте рабочего экрана (рис. 1.11). Далее устанавливается ориентация компонентов (при необходимости) с помощью команд меню или нажатием правой кнопки мыши на выбранном компоненте (рис. 1.12).

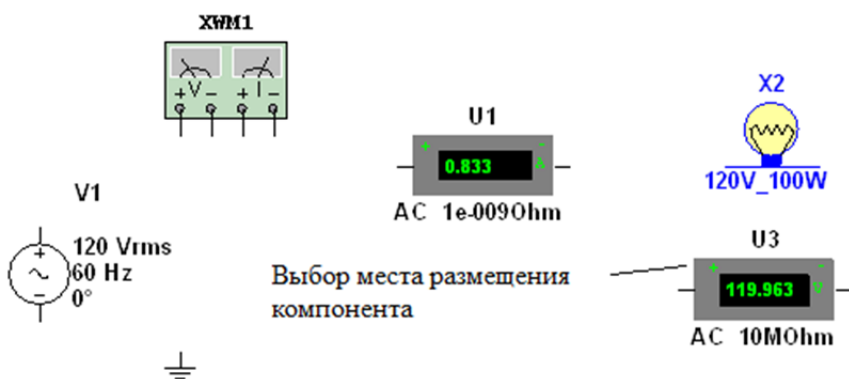


Рис. 1.11. Размещение компонентов схемы

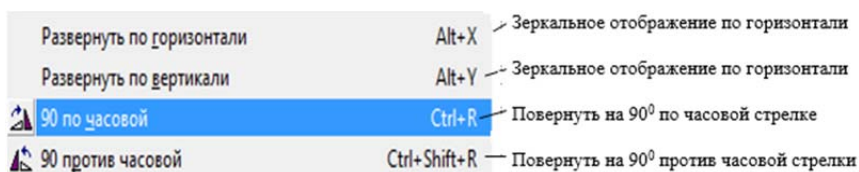


Рис. 1.12. Ориентация элементов схемы

После размещения компонентов схемы производится соединение их выводов проводниками. К выводу подключается один проводник. Для выполнения подключения курсор мыши подводится к вы-

воду компонента и после изменения вида курсора устанавливается соединение (рис. 1.13).

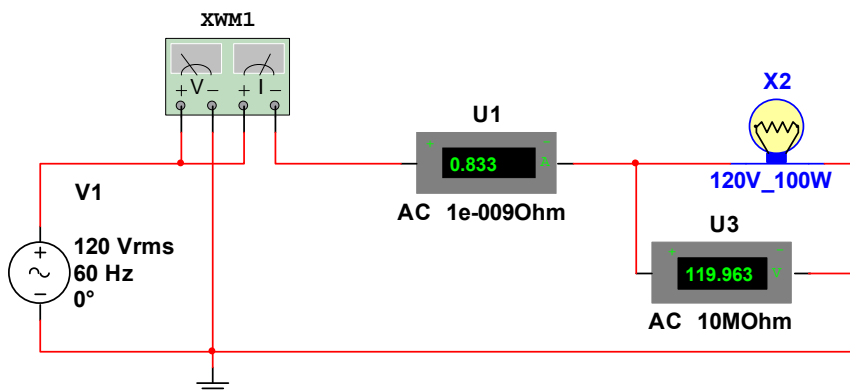


Рис. 1.13. Соединение элементов схемы

**Анализ.** В Multisim входит множество средств данных моделирования. Для начала анализа необходимо выбрать нужную функцию из меню **Моделирование/Вид анализа**, настроить параметры анализа и выполнить анализ нажатием кнопки **Моделировать** или **Выключатель моделирования**.

### Учебные задания и методические указания к их выполнению

**Задание 1.** **Открыть** библиотеку источников энергии **Источники** и **перетащить** на рабочее поле среды MS12 идеальный источник **E1** постоянного напряжения и землю **Ground**, затем из библиотеки базовых компонентов **Пассивные компоненты** **перетащить** два резистора **R1**, **R2**; из библиотеки индикаторов **Индикаторы** – амперметр **A1** и вольтметр **V1**.

После двойного щелчка мышью на изображении элемента или прибора в открывающихся диалоговых окнах:

- **здать** ЭДС источника напряжения  $E_1 = 12$  (в вольтах);
- **обозначить** (щелкая мышью на кнопках **Символ** и **Параметры**) резисторы и **установить** значения их сопротивлений:  $R_1 = R_2 = 100$  Ом;



– **задать** или **оставить** установленный по умолчанию режим **DC** функционирования измерительных приборов и их внутренние сопротивления: 1 нОм для амперметра и 10 МОм для вольтметров.

**Соединить** между собой сопротивления  $R_1$  и  $R_2$ ; источник напряжения  $E_1$ , землю, вольтметр  $V_1$ , амперметр  $A_1$  согласно схеме, приведенной на рис. 1.14, и включить Выключатель моделирования. Убедиться, что моделирование работы схемы в среде Multisim, соответствует действительности.

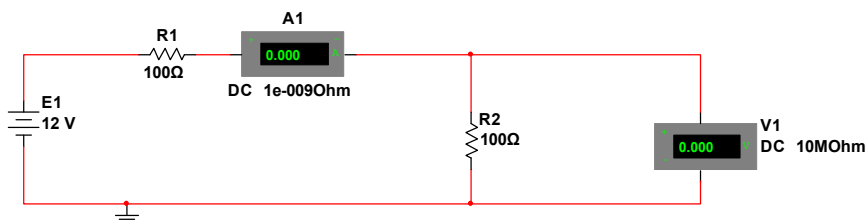


Рис. 1.14. Электрическая схема 1

**Задание 2.** Собрать схему, показанную на рис. 1.15. Подобрать значение емкости  $C_1$ , при котором напряжение на лампочке будет составлять напряжение 12 В. Подтвердить это значение емкости расчетом.

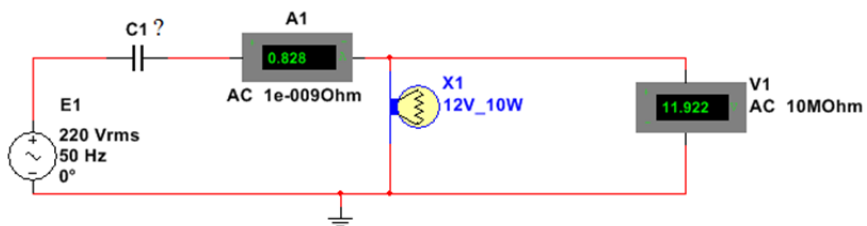


Рис. 1.15. Электрическая схема 2

**Задание 3.** Собрать схему, показанную на рис. 1.16. Определить разность фаз между напряжением  $E_1$  и напряжением на емкости. Подтвердить измеренное значение расчетом.

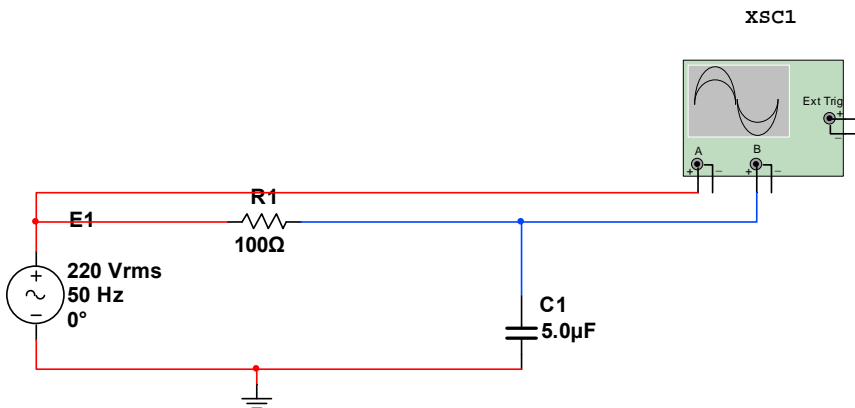


Рис. 1.16. Электрическая схема 3

**Задание 4.** Собрать схему, показанную на рис. 1.17. Определить полосу частот RC фильтра.

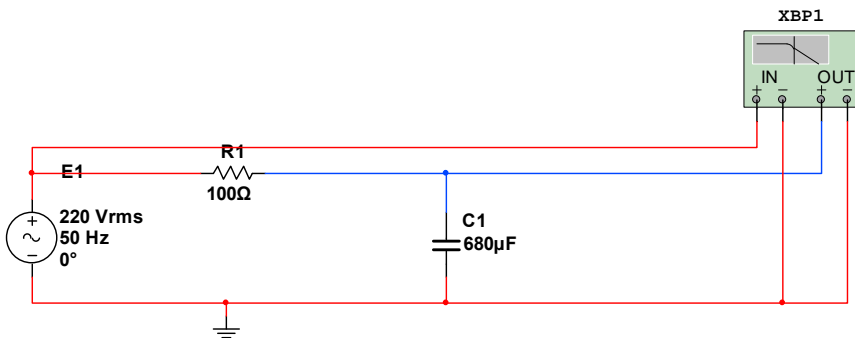


Рис. 1.17. Электрическая схема 4

**Задание 5.** Дополнить схему, показанную на рис. 1.18 ключами S с соответствующими цифрами, позволяющими отображать на индикаторе цифры от 0 до 9.

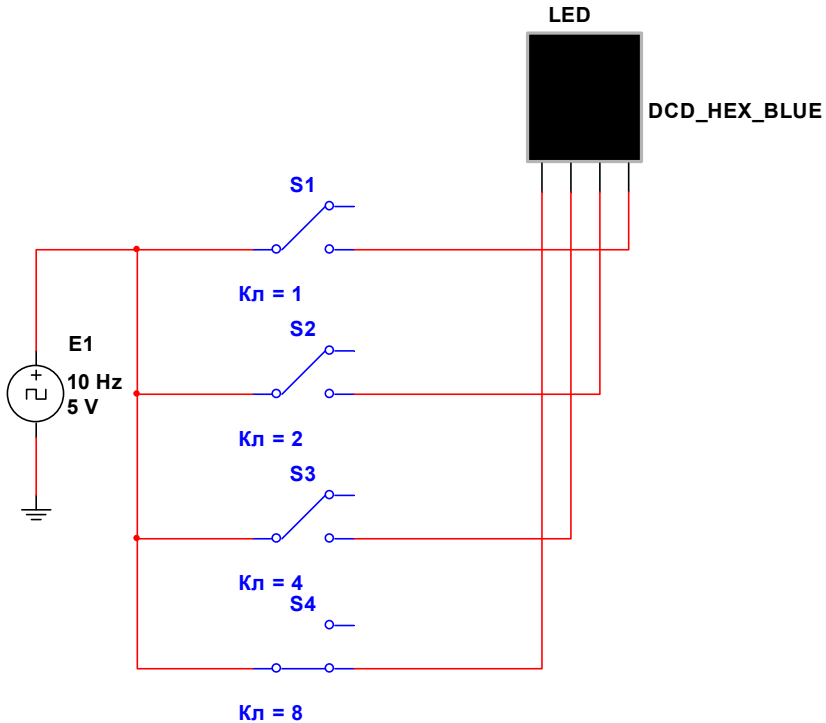


Рис. 1.18. Электрическая схема 5

### Содержание отчета

1. Наименование и цель работы.
2. Перечень приборов, использованных в экспериментах, с их краткими характеристиками.
3. Электрические схемы. Осциллограммы напряжений и полученную для фильтра диаграмму Боде.
4. Расчетные формулы.
5. Выводы по работе.

### Контрольные вопросы к работе 1

1. Назовите основные меню программы Multisim.
2. Назовите основные команды основных меню Multisim.
3. Какие команды содержит Панель инструментов?

4. Какие приборы включает программа Multisim?
5. Органы управления и отображения двухканального осциллографа.
6. Органы управления и отображения построителя частотных характеристик.
7. Назовите основные группы компонентов.
8. Объясните процесс создания схемы в среде Multisim.

## Лабораторная работа 2

### ИЗМЕРЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН И ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕМЕНТОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ

#### Цель работы:

1. Ознакомиться с измерительными приборами, источниками питания программной среды Multisim 12.0 [3].
2. Изучить методы и приобрести навыки измерения тока, напряжения, мощности, угла сдвига фаз между синусоидальным напряжением и током, а также сопротивлений резисторов, индуктивностей индуктивных катушек и емкостей конденсаторов.

#### 1. Виды и методы измерения электрических величин

В зависимости от способа обработки экспериментальных данных для нахождения результата различают прямые, косвенные, совместные и совокупные измерения.

При **прямом измерении** искомое значение величины находят непосредственно из опытных данных в результате выполнения измерения; например, измерение амперметром тока в ветви цепи.

При **косвенном измерении** искомое значение величины находят на основании известной зависимости между измеряемой величиной и величинами, подвергаемыми прямым измерениям; например, определение сопротивления  $R$  резистора из уравнения  $R = U/I$ , в которое подставляют измеренное значение напряжения  $U$  на зажимах резистора и протекающего через него постоянного тока  $I$ .

**Совместные измерения** – одновременные измерения нескольких неоднородных величин для нахождения зависимости между ними; например, определение зависимости сопротивления резистора от температуры по формуле  $R_t = R_0(1 + at + bt^2)$  посредством измерения сопротивления резистора  $R_t$  при трех различных температурах  $t$ . Составив систему из трех уравнений, находят параметры  $R_0$ ,  $a$  и  $b$  зависимости сопротивления резистора от температуры.

**Совокупные измерения** – одновременные измерения нескольких однородных величин, при которых искомые значения величин находят решением системы уравнений, составленных из результатов прямых измерений различных сочетаний этих величин; например, определение сопротивлений резисторов, соединенных треугольником, посредством измерения сопротивлений между различными вершинами треугольника. По результатам трех измерений по известным соотношениям определяют сопротивления резисторов треугольника.

Различают также аналоговые и дискретные измерения. При **аналоговых** измерениях на заданном интервале число измерений электрической величины бесконечно, а при **дискретных** – число измерений конечно.

В зависимости от способа применения меры известной величины, выделяют при измерениях метод непосредственной оценки и метод сравнения с мерой. При **методе непосредственной оценки** значение измеряемой величины определяют непосредственно по отсчетному устройству (индикатору) измерительного прибора; например, измерение напряжения с помощью вольтметра. **Метод сравнения с мерой** – метод, при котором проводится сравнение измеряемой величины и величины, воспроизводимой мерой; например, измерение сопротивления резистора с помощью моста сопротивлений.

Ниже кратко описываются виды и способы измерения электрических величин и параметров компонентов схем электронных устройств с помощью моделей измерительных приборов программной среды интерактивного моделирования и анализа электрических схем NI Multisim 12.0 (в дальнейшем, для краткости, эту систему будем называть среда MS12).

## 2. Измерение тока и напряжения

Мгновенные значения напряжения и тока можно измерить с помощью двухканального осциллографа XSC1, имитируемого программой MS12.

Измерение *действующих* значений напряжения и тока в ветвях электрической цепи проводится вольтметрами и амперметрами. Амперметр включается *последовательно* с элементами участка цепи, а вольтметр – *параллельно* участку (рис. 2.1), на котором необходимо измерить напряжение. Модели амперметров и вольтметров среды MS12 не требуют установки диапазона измерений.

Для установки режима работы и величин внутренних сопротивлений амперметров **A1**, **A2** и вольтметров **V1**, **V2** нужно дважды нажать на левую клавишу мыши (в дальнейшем, дважды щелкнуть мышью) на изображении соответствующего прибора и в открывшемся диалоговом окне свойств прибора установить в команде **Mode** режим работы (постоянный ток **DC** или переменный **AC**), изменить или оставить установленное по умолчанию внутреннее сопротивление прибора (1 нОм для амперметров и 10 МОм для вольтметров) и нажать на кнопку **OK** (Принять).

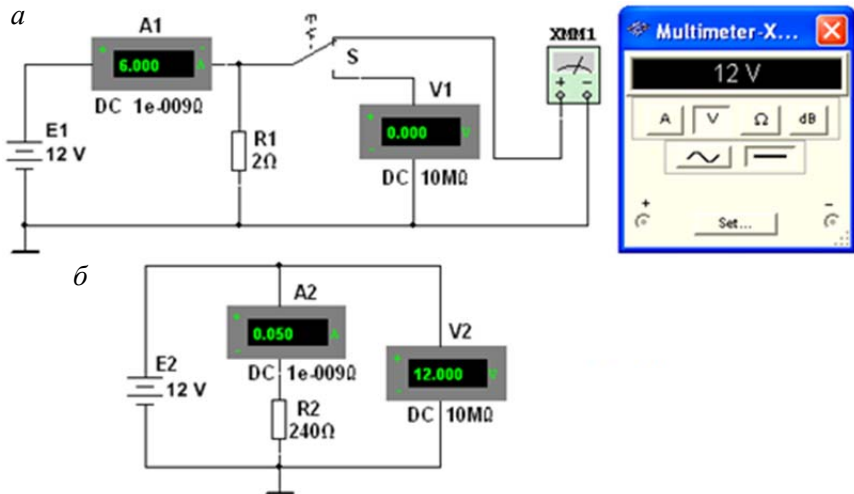


Рис. 2.1

В библиотеке **Instruments** среды MS12 имеется мультиметр **ХММ1** (см. рис. 2.1, а), используемый для измерения тока, напряжения и сопротивления. В схеме мультиметр, работающий в режиме измерения напряжения, подключается к зажимам резистора **R1** с помощью ключа **S**, управляемого клавишей **S** клавиатуры.

В реальных цепях для расширения диапазона измерения тока конкретным амперметром применяют *шунт* (тарированный резистор), включаемый параллельно с амперметром. В этом случае значение измеряемого тока равно показанию амперметра, умноженному на постоянный коэффициент, определяемый по правилу *делителя тока*. При измерении больших переменных токов используют измерительный *трансформатор тока*, первичная обмотка которого включается в ветвь с измеряемым током, а вторичная – замкнута на амперметр. Значение измеряемого тока равно показанию амперметра, умноженному на константу, определяемую коэффициентом трансформации тока измерительного трансформатора.

С целью расширения диапазона измерения напряжения конкретным вольтметром последовательно с его входом включают тарированный резистор. В этом случае значение измеряемого напряжения равно показанию вольтметра, умноженному на коэффициент, определяемый по *правилу делителя напряжения*. При измерении высоких напряжений переменного тока используют измерительный *трансформатор напряжения*, к вторичной обмотке которого подключают вольтметр. Измеряемое напряжение равно показанию вольтметра, умноженному на константу, зависящую от коэффициента трансформации напряжения измерительного трансформатора.

**Примечание.** В отдельных случаях при моделировании схем цепей с целью исключения влияния сопротивления амперметра в качестве датчика тока можно использовать идеальный зависимый источник напряжения, управляемый током ИНУТ (рис. 2.5), а для исключения влияния сопротивления вольтметра при измерении напряжения – идеальный зависимый источник напряжения, управляемый напряжением (ИНУН). Модели зависимых источников энергии размещены в библиотеке **Source** среды MS12.

### 3. Измерение сопротивлений

Для прямого измерения сопротивления резистивного элемента (резистора в том числе) будем использовать мультиметр ХММ2, в диалоговом окне которого нужно установить режим работы «—» (постоянный ток), измеряемую величину  $\Omega$ , значение тока, например, 10 нА при измерении сопротивлений, и подключить прибор к зажимам отдельного резистора (рис. 2.2) или параллельно разомкнутому участку резистивной цепи (без источников энергии). При измерении сопротивления между двумя любыми точками схемы цепи, нужно, чтобы хотя бы один из узлов схемы имел соединение с заземленной точкой, при этом ветви с идеальными источниками тока должны быть разомкнуты, а идеальные источники напряжения заменены короткозамкнутыми участками (проводниками).

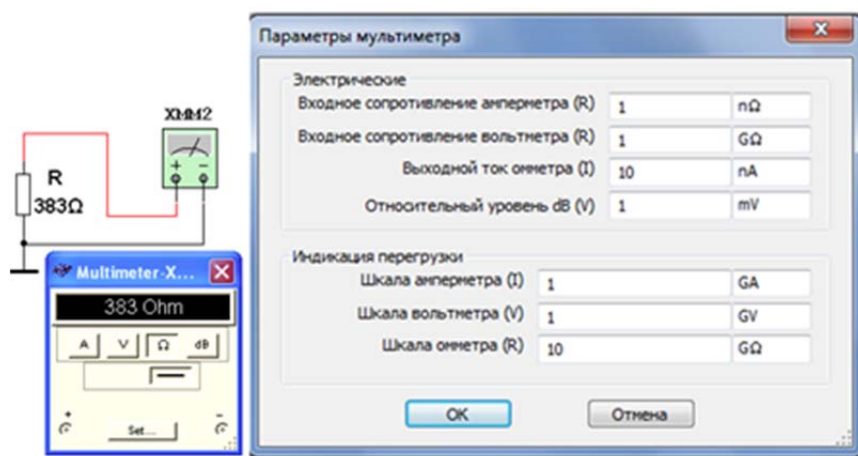


Рис. 2.2

В практике измерения сопротивлений резистивных элементов, кроме прямых и сравнительных методов, широко используется так называемый *метод вольтметра-амперметра*, в основе которого лежит закон Ома для цепей постоянного тока (см. рис. 2.1). Заметим, что этот метод позволяет получить лишь приближенное значение измеряемого сопротивления  $R \approx U/I$ . Так, для схемы, изображенной на рис. 2.1, а:



$$R_1 = U / (I - U / R_V),$$

а для схемы, изображенной на рис. 2.1, б:

$$R_2 = (U - R_A I) / I,$$

где  $R_V$  и  $R_A$  – внутренние сопротивления вольтметра и амперметра соответственно.

Анализ приведенных выражений позволяет сделать выводы: первой схемой (см. рис. 2.1, а) следует пользоваться при измерении сравнительно малых сопротивлений, когда  $R_V \gg R_1$ , а второй схемой (см. рис. 2.1, б) – при измерении больших сопротивлений, когда  $R_A \ll R_2$ .

#### 4. Измерение угла сдвига фаз

Для измерения угла сдвига фаз  $\varphi$  между синусоидальным напряжением и током в реальной цепи используют: измерители разности фаз; так называемый *метод вольтметра-амперметра-ваттметра*, при котором угол  $\varphi$  определяют из уравнения

$$\varphi = \arccos (P / UI),$$

где  $P$  – показание ваттметра, а также методы, основанные на измерении временного интервала  $\Delta t$  при помощи электронно-лучевого осциллографа.

Временной интервал пропорционален фазовому сдвигу  $\varphi$  между синусоидальным напряжением и током в неразветвленной цепи (рис. 2.3, а) и обратно пропорционален угловой частоте  $\omega$  напряжения (тока)

$$\Delta t = \varphi / \omega = \varphi / 2\pi f.$$

При этом фазовый угол (в градусах) определяют по формуле

$$\varphi = 360^\circ \Delta t / T,$$

где  $T = 1/f$  – период изменения напряжения в секундах;

$f$  – частота питающего цепь напряжения в герцах.

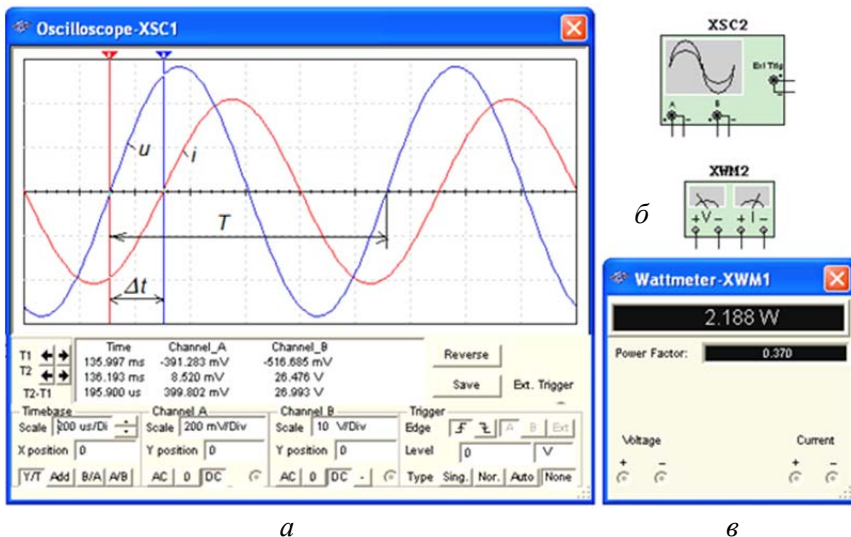


Рис. 2.3

Временной интервал  $\Delta t = T_2 - T_1$  обычно измеряют между нулевыми значениями осциллограмм напряжения и тока с помощью визирных линий (визиров), расположенных слева и справа от экрана осциллографа (см. рис. 2.3, а). Угол  $\varphi$  берется со знаком «плюс», если ток отстает по фазе от напряжения (см. рис. 2.3, а), и со знаком «минус», если ток опережает по фазе напряжение.

Установка чувствительности каналов А и В и развертки осциллограмм во времени производится в окне, выводимом ниже поля осциллограмм (см. рис. 2.3, а).

При моделировании схем цепей на рабочем поле программной среды MS12 и их анализе для измерения угла сдвига фаз в цепях переменного тока наряду с осциллографом будем использовать также виртуальный ваттметр XWM1 (рис. 2.3, в). Ваттметр непосредственно измеряет активную мощность  $P$  цепи (ветви) в ваттах и коэффициент мощности.

## Учебные задания и методические указания к их выполнению

**Задание 1.** Открыть библиотеку источников энергии **Source** и перетащить на рабочее поле среды MS12 идеальный источник **E1** постоянного напряжения, затем из библиотеки базовых компонентов **Basic** перетащить четыре резистора **R1**, ..., **R4**; из библиотеки индикаторов – амперметр **A** и четыре вольтметра **V1**, ..., **V4**; из панели приборов – мультиметр **XMM1**; переключатель **S** из библиотеки **Пассивные компоненты**, управляемый клавишей **S** клавиатуры (английский шрифт).

После двойного щелчка мышью на изображении элемента или прибора в открывающихся диалоговых окнах:

– задать ЭДС источника напряжения  $E_1 = N$  (в вольтах), где  $N$  – номер записи фамилии студента в учебном журнале группы;

– обозначить (щелкая мышью на кнопках **Символ** и **Параметры**) резисторы и установить значения их сопротивлений:  $R_1 = N$ ;  $R_2 = 2N$ ;  $R_3 = 3N$ ;  $R_4 = 4N$ ;

– задать или оставить установленный по умолчанию режим **DC** функционирования измерительных приборов и их внутренние сопротивления: 1 нОм для амперметра и 10 МОм для вольтметров;

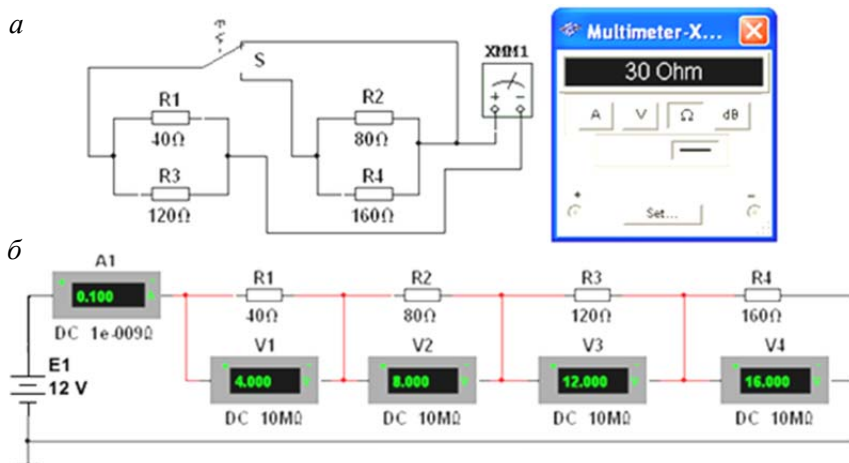


Рис. 2.4

– **здать** измеряемую величину  $\Omega$  мультиметра **ХММ1** и режим его работы (постоянный ток);


– **соединить** параллельно между собой сопротивления  $R_1$  и  $R_3$ ;  $R_2$  и  $R_4$ , и **измерить** с помощью мультиметра **ХММ1** сопротивления разветвлений резисторов (см. рис. 2.4, *a* для варианта 40). Полученные значения сопротивлений **занести** в поля табл. 2.1 и **сравнить** со значениями, вычисленными по формулам:

$$R_{13} = R_1 R_3 / (R_1 + R_3) \quad \text{и} \quad R_{24} = R_2 R_4 / (R_2 + R_4).$$

Таблица 2.1

Измерено	$R_{13}$ , Ом	$R_{24}$ , Ом	$U_1$ , мВ	$U_2$ , мВ	$U_3$ , мВ	$U_4$ , мВ
			$I_1 = I$ , мА	$I_2 = I$ , мА	$I_3 = I$ , мА	$I_4 = I$ , мА
Вычислено	$R_{13}$ , Ом	$R_{24}$ , Ом	$R_1$ , Ом	$R_2$ , Ом	$R_3$ , Ом	$R_4$ , Ом

– **собрать** схему и, согласно варианту (см. рис. 2.4, *б* для варианта 40), **установить** значения параметров элементов схемы и приборов;

– **запустить** программу MS12 (щелкнуть мышью на кнопке  меню среды MS12) и **занести** показания приборов (значение тока (**A1**) и значения напряжений (**V1**, ..., **V4**) на зажимах резисторов) в табл. 1.1 электронной тетради;

– **рассчитать** сопротивления резисторов и занести их значения в табл. 2.1;

– **скопировать** и **занести** на страницу электронного отчета копии рисунков схем (см. рис. 2.4, *a*, *б*) (в виде скриншотов после корректировки, например, в редакторе **Paint** или непосредственно после выделения схем и нажатия клавиш **Alt+PrtSc** клавиатуры).

**Задание 2.** Измерить индуктивность катушки и емкость конденсатора косвенным методом по результатам прямых измерений напряжения, тока и мощности *RL*- или *RC*-ветви и косвенного измерения угла сдвига фаз  $\varphi_k$ .

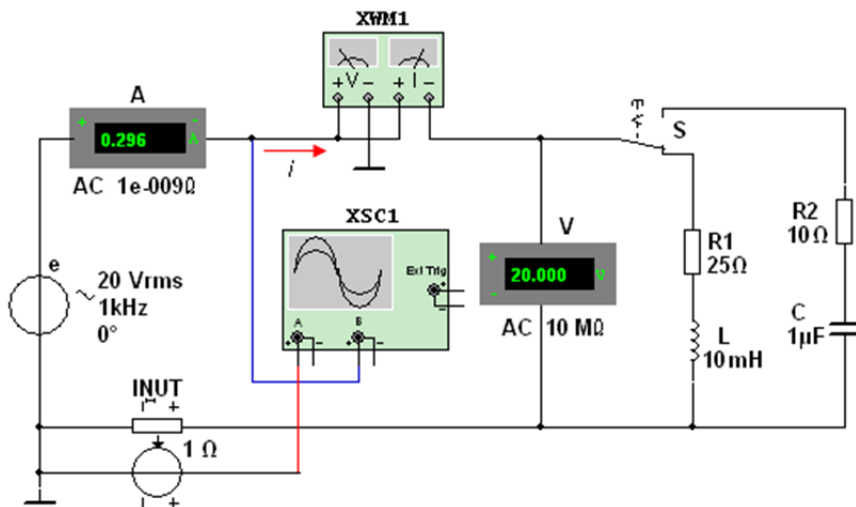


Рис. 2.5

С этой целью **собрать** на рабочем поле программной среды MS12 схему цепи (рис. 2.5), и **установить**:

- параметры идеального источника синусоидального напряжения

$$e = E_m \sin(\omega t + \Psi_u) = \sqrt{2}E \sin(2\pi f t + \Psi_u),$$

где действующее значение ЭДС  $E = 5 + N$ , В;

частота  $f = 1$  кГц при измерении индуктивности  $L$  катушки и *частота*  $f = 10$  кГц при измерении емкости  $C$  конденсатора;

начальная фаза напряжения  $\Psi_u = 0$ ;

– режим работы **АС** (переменный ток) амперметра **A** ( $R_A = 1$  нОм) и вольтметра **V** ( $R_V = 10$  МОм);

– значение сопротивления  $R_1 = 25$  Ом резистора **R1** (имитирующего активное сопротивление катушки) и сопротивление  $R_2 = 10$  Ом резистора **R2**;

– значение индуктивности катушки  $L = 5 + \text{int}(N/5)$ , мГн и емкости конденсатора  $C = 1 + \text{int}(N/10)$ , мкФ, где  $\text{int}(a/b)$  – целая часть операции  $a/b$ ;

– красный цвет провода, соединенного с каналом **A**, и синий цвет провода, соединенного с каналом **B** двухканального осциллографа XSC1;

– задать параметры осциллографа XSC1. При этом на вход канала **A** подано напряжение с источника INUT, пропорциональное входному току  $i$ , а на вход канала **B** подано напряжение  $u$  с зажимов источника напряжения  $e$ . Цветовая окраска осциллограмм (см. рис. 2.3, *a*) соответствует установленным цветам проводов, соединенных с соответствующими входами каналов прибора XSC1.


**Примечание.** В модели осциллографа XSC1 среды MS12 реализовано «внутреннее соединение» правых входов каналов **A** и **B** (см. рис. 2.3, *б* и рис. 2.5) с узлом схемы цепи, к которому подключен элемент  $\perp$ . Поэтому не обязательно соединять проводниками правые выводы каналов **A** и **B** осциллографа с заземленным узлом схемы. Элемент  $\perp$  имеет нулевой потенциал. Потенциалы других узлов схемы измеряются относительно заземленного узла;

– чувствительность 200 мВ/дел (mV/div) канала **A** осциллографа и 5 или 10 В/дел (V/div) канала **B**; длительность развертки в режиме  $Y/T$  – 0,2 мс/дел (2 ms/div). При измерениях указанные цены делений рекомендуется изменять таким образом, чтобы амплитуды напряжений были бы равны не менее 0,5–0,75 высоты экрана осциллографа, а по оси времени укладывалось бы два-три периода колебания напряжений;

– управляющую переключателем клавишу **S** клавиатуры;

– значение коэффициента передачи INUT  $k = 1$  Ом;

– управляемый контакт переключателя **S** в нижнее положение, то есть подключить  $R_1L$ -ветвь к источнику  $e$ .

Запустить программу MS12 (щелкнуть мышью на кнопке  меню среды MS12), **снять** показания приборов и **занести** их в поля табл. 1.2 электронной тетради по работе. Методика определения угла сдвига фаз  $\varphi$  между напряжением и током описана в п. 4.

**Убедиться** (см. рис. 2.3, *a*), что ток  $i_1$  в  $R_1L$ -ветви *отстает* по фазе от напряжения  $u$  на угол  $\varphi_1 = \arctg(X_L/R_1) = \arccos(P_1/UI_1)$ , где  $P_1$  – показание ваттметра.

**Скопировать** и **занести** на страницу отчета копию рисунка-чертежа смоделированной схемы (см. рис. 1.5) с показаниями ваттметра и осциллограммами на экране осциллографа (см. рис. 2.3).

**Установить** частоту ЭДС  $f = 10$  кГц источника  $e(t)$  и с помощью переключателя **S** подключить  $R_2C$ -ветвь к источнику  $e$ . Показания приборов **занести** в табл. 2.2.

**Убедиться** (анализируя расположение осциллограмм на экране осциллографа), что ток  $i_2$  в  $R_2C$ -ветви *опережает* по фазе напряжение  $u$  на угол  $\varphi_2 = \text{arctg}(-X_C/R_2) = -\text{arccos}(P_2/UI_2)$ , где  $P_2$  – показание ваттметра.

**Рассчитать** полное  $Z = U/I$ , активное  $R = Z\cos\varphi$  и реактивное  $X = Z\sin\varphi$  сопротивления  $R_1L$ - и  $R_2C$ -ветви и занести их в поля табл. 1.2.

Так как индуктивное сопротивление катушки  $X_L = \omega L = 2\pi fL$ , Ом, а емкостное сопротивление конденсатора  $X_C = 1/\omega C = 1/2\pi fC$ , Ом, то:

- индуктивность катушки, включенной в  $R_1L$ -ветвь:

$$L = X_L/\omega = X_L/2\pi f, \text{ Гн} \quad \text{или} \quad L = 10^3 X_L/2\pi f, \text{ мГн};$$

- емкость конденсатора, включенного в  $R_2C$ -ветвь:

$$C = 1/(\omega X_C) = 1/(2\pi f \cdot X_C), \text{ Ф} \quad \text{или} \quad C = 10^6/(2\pi f \cdot X_C), \text{ мкФ}.$$

Таблица 2.2

Ветвь	Установлено		Измерено				Вычислено				
	$E$ , В	$f$ , кГц	$U$ , В	$I$ , мА	$P$ , Вт	$\varphi$ , град	$Z$ , Ом	$R$ , Ом	$X$ , Ом	$L$ , мГн	$C$ , мкФ
$R_1L$		1									–
$R_2C$		10								–	

Вычисленные значения индуктивности  $L$  катушки и емкости  $C$  конденсатора занести в табл. 2.2. Сравнить полученные значения  $R$ ,  $L$  и  $C$  с установленными их значениями в схеме цепи.

### Содержание отчета

1. Наименование и цель работы.
2. Перечень приборов, использованных в экспериментах, с их краткими характеристиками.
3. Электрические схемы измерения сопротивлений резисторов, индуктивности катушки и емкости конденсатора, и копии рисунков осциллограмм напряжения и тока.
4. Таблицы результатов измерений и расчетов.
5. Расчетные формулы.
6. Выводы по работе.

## ТЕСТОВЫЕ ЗАДАНИЯ К РАБОТЕ 1

1. Укажите, чему равен **период**  $T$  колебания ЭДС источника синусоидального напряжения  $e = \sqrt{2} \cdot 220 \sin 314t$  В?

- 0,01 с      0,02 с      0,04 с      0,08 с      1 с      2 с
- 

2. Укажите, как изменится **индуктивное сопротивление** катушки, если увеличить частоту синусоидального напряжения в 4 раза?

- Величина индуктивного сопротивления не изменится.  
 Индуктивное сопротивление уменьшится в два раза.  
 Индуктивное сопротивление увеличится в 4 раза.  
 Индуктивное сопротивление уменьшится в 4 раза.

3. Укажите, чему равен **угол**  $\phi$  в последовательной  $RL$ -цепи, если известны значения синусоидального напряжения  $U = 10$  В, тока  $I = 1$  А и мощности  $P = 8$  Вт?

- 90°      -45°      37°      -30°      27°
- 

4. Конденсатор с емкостью  $C = 1/6280$  Ф установлен в цепи синусоидального тока с напряжением  $u = \sqrt{2} \cdot 220 \sin(2\pi \cdot 1000t + \pi/6)$  В. Укажите, чему равно **сопротивление** конденсатора?

- 0,22 Ом      0,44 Ом      2 Ом      1 Ом      4 Ом
- 

5. Укажите, чему равен **временной интервал**, соответствующий углу сдвига фаз, равного  $45^\circ$ , при частоте исследуемых периодических сигналов, равной 100 Гц?

- 1 мс      1,25 мс      1,5 мс      2 мс      4 мс      5 мс
-



6. Перечислите **приборы**, необходимые для проведения косвенного измерения индуктивности катушки.

- Вольтметр и амперметр.
- Достаточно одного ваттметра.
- Вольтметр, амперметр и ваттметр или вольтметр, амперметр и измеритель разности фаз.
- Амперметр и ваттметр.

7. Напряжения на трех последовательно соединенных резисторах относятся как  $1 : 3 : 5$ . Укажите, как **относятся** значения сопротивлений резисторов?

- Отношение сопротивлений резисторов подобно отношению напряжений.
- Отношение равно  $5 : 3 : 1$ .
- Отношение равно  $1 : 1/3 : 1/5$ .
- Отношение равно  $1 : 5 : 3$ .

## Лабораторная работа 3

### МОСТ ПОСТОЯННОГО ТОКА

**Цель работы:** экспериментальное исследование мостовой схемы соединения элементов цепи [3].

#### Теоретические сведения и расчетные формулы

Мосты постоянного тока широко применяют для измерения электрических и неэлектрических величин. Они строятся на основе метода сравнения с мерой. Задачи, решаемые при построении мостовых измерителей электрических величин, – это уменьшение или полное исключение погрешности от сопротивлений соединительных проводов, обеспечение напряжения, пропорционального приращению преобразуемого сопротивления относительно его начального значения, снижение выходного сопротивления моста и снижение требований к измерительному устройству.

Условие равновесия четырехплечего резистивного моста с питанием от источника постоянного напряжения с ЭДС  $E$  (рис. 3.1)

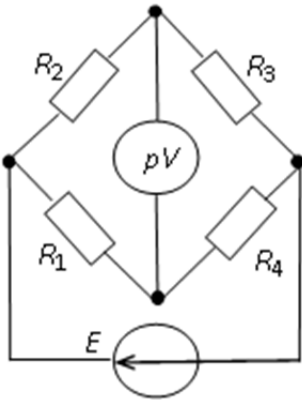


Рис. 3.1

$$R_1 R_3 = R_2 R_4,$$

откуда величина измеряемого сопротивления, например  $R_2$ ,

$$R_2 = R_1 R_3 / R_4.$$

Погрешность моста зависит от пределов измерения сопротивлений и обычно указывается в паспорте прибора. В уравновешенном мосте при малом приращении, например  $\Delta R_4$ , напряжение диагонали  $U$  при идеальном источнике напряжения ( $R_{вт} = 0$ ) с ЭДС  $E$

$$U \approx E \Delta R_4 R_2 / [(R_1 + R_4)(R_2 + R_3)] \approx E \Delta R_4 / 4 R_4,$$

при условии, что  $R_1 = R_2 = R_3 = R_4$ .

Важной характеристикой моста является его чувствительность (в данном случае) по напряжению вблизи его равновесия. Приближенно *абсолютную* чувствительность (в мВ/Ом) моста определяют как отношение конечных приращений выходного напряжения и сопротивления, то есть

$$S_a \approx \Delta U / \Delta R,$$

а *относительную* чувствительность (в милливольтках) – как отношение приращения выходного напряжения и относительного изменения сопротивления  $\Delta R/R_4$  плеча моста, то есть

$$S_o = \Delta U / (\Delta R / R_4),$$

где  $\Delta U = U_{n+1} - U_n$  – приращение выходного напряжения в диагонали моста, вызванное изменением сопротивления плеча моста на  $\Delta R = \Delta R_4$ .

**Примечание.** При изменении сопротивлений в двух противоположных плечах моста нужно удвоить величину  $\Delta R$  в формулах абсолютной  $S_a$  и относительной  $S_o$  чувствительностей.

### **Учебные задания и методические указания к их выполнению**

**Задание 1. Собрать** на рабочем поле среды MS12 схему для испытания одинарного резистивного моста (рис. 3.2), и **установить** в диалоговых окнах компонентов их параметры или режимы работы:

- резисторов  $R_1 = R_3 = 1$  кОм;
- потенциометров  $R_2 = R_4 = 1$  кОм;
- $\Delta R = 0,01N^{1/3}$  кОм с округлением третьего знака после запятой;
- приращение резисторов  $R_2$  и  $R_4$ , где  $N$  – номер записи фамилии студента в учебном журнале группы;
- источника напряжения: ЭДС  $E = 12$  В (источник идеальный,  $R_{вт} = 0$ );
- вольтметра **V1**: род тока – постоянный (**DC**), внутреннее сопротивление  $R_V = 1$  МОм.

**Скопировать** рис. 3.2 на страницу отчета.

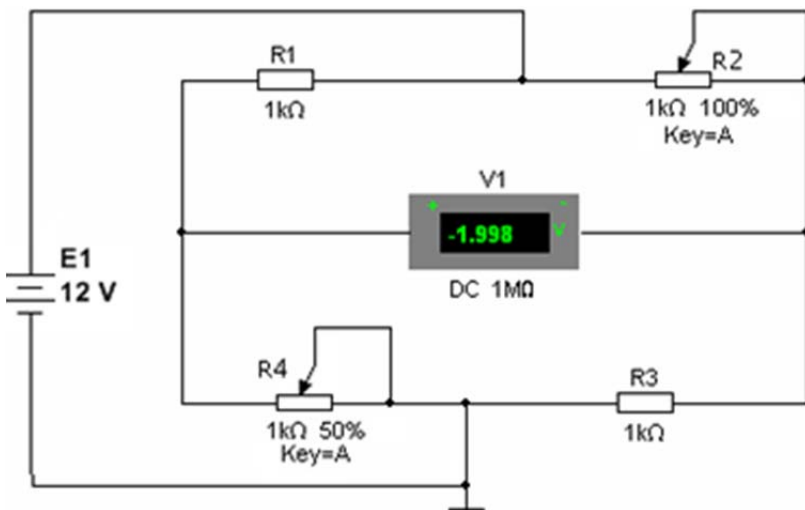


Рис. 3.2

**Задание 2. Снять и построить** на одном рисунке характеристики выходного напряжения  $U$  моста от изменения сопротивления одного и двух (противоположных) плеч моста, то есть  $U(R_4)$  и  $U(R_2, R_4)$ .

С этой целью:

- **рассчитать** и **заполнить** вторую и третью колонки табл. 3.1 и 3.2;
- **запустить** программу (щелкнув мышью в правом верхнем углу меню на цифре 1 кнопки ). **Убедиться**, что мост уравновешен (показание вольтметра **V1** практически равно нулю);
- **остановить** программу (щелкнуть мышью на цифре 0 кнопки ) и **установить** значение сопротивления резистора  $R_4 = R_1 - \Delta R$  ( $n = 1$ );

Таблица 3.1

Номер опыта	$R_1 = R_2 = R_3$ , кОм	$R_4 = R_1 - n\Delta R$ , кОм ( $n = 0, \dots, 10$ )	$U$ , мВ	$S_{a1}$ , мВ/Ом	$S_{o1}$ , мВ
0			0	–	–
1					
...					
9					
10					

Таблица 3.2

Номер опыта	$R_1 = R_3$ , кОм	$R_2 = R_4 = R_1 - n\Delta R$ , кОм ( $n = 0, \dots, 10$ )	$U$ , мВ	$S_{a2}$ , мВ/Ом	$S_{o2}$ , мВ
0			0	–	–
1					
...					
9					
10					

– **запустить** программу, снять показание вольтметра **V1** и занести его в четвертый столбец табл. 3.1.

**Примечание.** Рекомендуется округлять третью или четвертую значащую цифру показания вольтметра;

– **повторить** опыты при  $n = 2, \dots, 10$  для табл. 3.1, изменяя сопротивление  $R_4$ ;

– **повторить** опыты при  $n = 1, \dots, 10$  для табл. 3.2, изменяя сопротивления  $R_2$  и  $R_4$ ;

– **выбрать** масштабы для напряжения  $U$  и сопротивления  $R$  и **построить** (на одном рисунке) графики  $U(R_4)$  и  $U(R_2, R_4)$ .

**Задание 3.** Рассчитать абсолютную  $S_a$  и относительную  $S_o$  чувствительности мостовой схемы при изменении одного и двух (противоположных) плеч моста, **занести** их в табл. 3.1 и 3.2 и по данным расчетов **построить** два графика с двумя характеристиками на каждом:

$$S_{a1}(n\Delta R) \text{ и } S_{a2}(n \cdot 2\Delta R); \quad S_{o1}(n\Delta R) \text{ и } S_{o2}(n \cdot 2\Delta R).$$

### Содержание отчета

1. Наименование и цель работы.
2. Расчетная схема цепи и копия схемы, смоделированной на рабочем поле программной среды MS12.
3. Формулы абсолютной  $S_a$  и относительной  $S_o$  чувствительности моста при изменении сопротивления  $\Delta R$  в одном и в двух противоположных плечах.
4. Таблицы измерений напряжения диагонали моста при изменении сопротивлений его плеч и расчета абсолютной и относительной чувствительностей моста по напряжению.

5. Графики абсолютной и относительной чувствительностей моста по напряжению в зависимости от приращения сопротивления плеча (плеч).

6. Выводы по работе.

### Тестовое задание к работе 2

1. Укажите, чему равно **сопротивление** резистора  $R_4$  уравновешенного одинарного моста с противоположными ветвями:  $R_1 = 1$  кОм и  $R_3 = 3$  кОм;  $R_2 = 2$  кОм и  $R_4$ ?

- 0,5 кОм      1 кОм      1,5 кОм      2 кОм

2. Укажите **единицу** (измерения) абсолютной чувствительности по напряжению моста постоянного тока.

- В            В/Ом            Безразмерная            Ом/В

3. Укажите **формулу** относительной чувствительности по напряжению моста постоянного тока.

- $S_o = \Delta U / (\Delta R_4 / R_4)$        $S_o = \Delta U / \Delta R$        $S_o = \Delta R / \Delta U$        $S_o = \Delta R / R$

4. Укажите (Да/Нет), зависит ли **абсолютная чувствительность** моста постоянного тока по напряжению от величины ЭДС источника постоянного напряжения?

- Да            Нет

5. Укажите значение **относительной чувствительности** моста с сопротивлением плеч  $R = 1$  кОм, если при изменении сопротивления одного из плеч уравновешенного моста на 0,1 % напряжение в диагонали изменилось на 1 мВ.

- 1 мВ            5 мВ            10 мВ            20 мВ

## Лабораторная работа 4

### ЛИНЕЙНАЯ ЦЕПЬ С ДВУМЯ ИСТОЧНИКАМИ ПОСТОЯННОГО НАПРЯЖЕНИЯ

**Цель работы:** экспериментальное исследование двухконтурной схемы цепи с двумя источниками постоянного напряжения.

#### 1. Описание схемы цепи

В работе исследуется двухконтурная схема цепи (рис. 4.1) с двумя источниками постоянного напряжения, имитирующая, например, электрическую цепь электропитания автомобиля. В состав такой цепи входит: генератор с ЭДС  $E_1$  и внутренним сопротивлением  $R_{вт1}$ , аккумуляторная батарея с ЭДС  $E_2$  и внутренним сопротивлением  $R_{вт2}$  и эквивалентная нагрузка  $R$ .

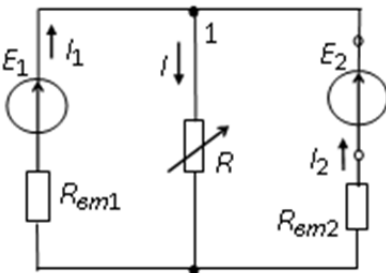


Рис. 4.1

В соответствии с вариантом задания нужно установить значения ЭДС  $E_1$  и  $E_2$  источников энергии, их внутренние сопротивления  $R_{вт1}$  и  $R_{вт2}$  и сопротивление нагрузки  $R$ . При проведении опытов сопротивление потенциометра (нагрузки)  $R$  необходимо изменять в широких пределах. Условное положительное направление токов в ветвях схемы указано на рис. 4.1.

#### 2. Расчет токов ветвей методом законов Кирхгофа

Для расчета токов ветвей используют следующие методы: метод законов Кирхгофа, метод наложения, метод контурных токов, метод двух узлов. Проведем расчет токов в ветвях схемы (см. рис. 4.1) методом законов Кирхгофа. Согласно первому закону Кирхгофа (13К) для узла 1:

$$I_1 + I_2 - I = 0.$$

Согласно второму закону Кирхгофа (23К) для левого и правого контуров схемы имеем:

$$E_1 = R_{\text{вт1}}I_1 + RI, \quad E_2 = R_{\text{вт2}}I_2 + RI.$$

Используя формулы Крамера для системы уравнений

$$I_1 + I_2 - I = 0; \quad R_{\text{вт1}}I_1 + 0I_2 + RI = E_1; \quad 0I_1 + R_{\text{вт2}}I_2 + RI = E_2,$$

находим токи

$$I_1 = \frac{\Delta_1}{\Delta} = \frac{\begin{vmatrix} 0 & 1 & -1 \\ E_1 & 0 & R \\ E_2 & R_{\text{вт2}} & R \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} 1 & 1 & -1 \\ R_{\text{вт1}} & 0 & R \\ 0 & R_{\text{вт2}} & R \end{vmatrix}}; \quad I_2 = \frac{\Delta_2}{\Delta} = \frac{\begin{vmatrix} 1 & 0 & -1 \\ R_{\text{вт1}} & E_1 & R \\ 0 & E_2 & R \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} 1 & 1 & -1 \\ R_{\text{вт1}} & 0 & R \\ 0 & R_{\text{вт2}} & R \end{vmatrix}};$$

$$I = I_1 + I_2. \quad (4.1)$$

### 3. Мощность, потребляемая нагрузкой, и баланс мощностей

Мощность, потребляемая нагрузкой  $R$ , равна (в Вт)

$$P = RI^2.$$

Составим баланс мощностей схемы цепи. Алгебраическая сумма мощностей, развиваемых источниками энергии, равна сумме мощностей, потребляемой нагрузкой и теряемой внутри источников, то есть

$$\pm E_1I_1 \pm E_2I_2 = RI^2 + R_{\text{вт1}}I_1^2 + R_{\text{вт2}}I_2^2,$$

(знак «+» в произведениях  $E_kI_k$  ставится при совпадении выбранных направлений ЭДС  $E_k$  и тока  $I_k$  источника, а знак «-» – при противоположном их направлении).



#### 4. Потенциальная диаграмма контура

*Потенциальная диаграмма* – это распределение потенциалов узлов схемы в зависимости от сопротивлений элементов контура, то есть

$$\varphi = f(R).$$

Для построения потенциальной диаграммы, например, для наружного контура (см. рис. 4.1), необходимо знать величину и направление токов ветвей и ЭДС источников.

Пусть  $E_1 = 14$  В;  $R_{вт1} = 0,5$  Ом;  $E_2 = 12$  В;  $R_{вт2} = 2$  Ом;  $R = 10$  Ом.

Находим согласно (4.1) токи ветвей:

$$I_1 \approx 1,85 \text{ А}; \quad I_2 \approx -0,54 \text{ А};$$

$$I \approx 1,31 \text{ А}.$$

Заземлим точку  $a$  (рис. 4.2,  $a$ ), то есть примем ее потенциал  $\varphi_a = 0$ .

Так как ток  $I_1$  протекает от точки  $a$  к точке  $b$ , то потенциал точки  $b$

$$\varphi_b = \varphi_a - R_{вт1}I_1 = 0 - 0,5 \cdot 1,85 = -0,925 \text{ В},$$

а потенциал точки  $c$  больше потенциала  $\varphi_b$  на 14 В, то есть

$$\varphi_c = \varphi_b + E_1 = -0,925 + 14 = 13,075 \text{ В},$$

на диаграмме рис. 4.2,  $b$  скачок потенциала на 14 В за счет сторонних сил.

Потенциал точки  $d$ :

$$\varphi_d = \varphi_c - E_2 = 13,075 - 12 = 1,075 \text{ В},$$

а потенциал точки  $a$ :

$$\varphi_a = \varphi_d - R_{эм2}I_2 = 1,075 - 2 \cdot 0,54 \approx 0 \text{ В}.$$

Возвращение в исходную точку  $a$  с нулевым потенциалом после расчета потенциалов всех точек вдоль выбранного контура подтверждает правильность расчета цепи.

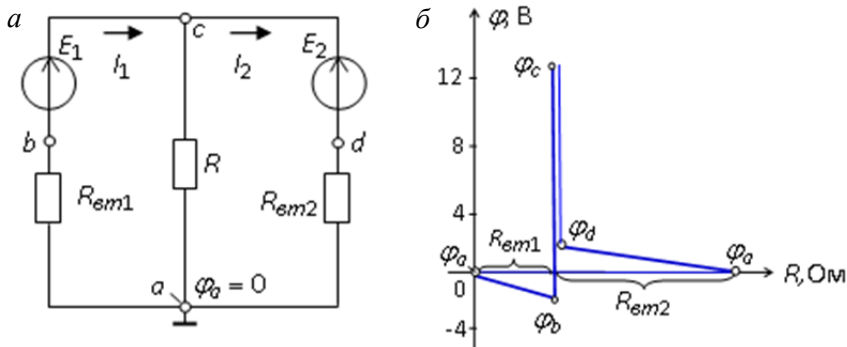


Рис. 4.2

### Учебные задания и методические указания к их выполнению

**Задание 1. Рассчитать** токи ветвей схемы (см. рис. 4.1) методом законов Кирхгофа, напряжение  $U_1 = E_1 - R_{вт1}I_1$  и мощность, потребляемую нагрузкой  $R$ . **Проверить** результаты расчета методом баланса мощностей и построением потенциальной диаграммы наружного контура.

При расчетах **использовать** параметры элементов схемы, определяемые согласно выражениям:

$$E_1 = 5 + N, \text{ В}; \quad R_{вт1} = 0,5 + \text{int}(N/8), \text{ Ом}; \quad R = 10 + N, \text{ Ом};$$

$$E_2 = 3 + N, \text{ В}; \quad R_{вт2} = 2 + \text{int}(N/5), \text{ Ом},$$

где  $N$  – номер записи фамилии студента в учебном журнале группы.

Результаты расчета токов, напряжения  $U_1$  и мощности  $P$  при сопротивлении нагрузки  $R = 10 + N$ , Ом **занести** в правый столбец табл. 4.1.

Таблица 4.1

Измерено при сопротивлении нагрузки $R$ [Ом], равном:										Рас- счи- тано при $R$
Токи ветвей, напряже- ние $U_1$ и мощ- ность $P$	$\infty$ (XX)	$10R$	$5R$	$2R$	$R$	$\frac{3}{4}R$	$\frac{1}{2}R$	$\frac{1}{4}R$	$0$ (КЗ)	
$I_1, A$										
$I_2, A$										
$I_3, A$										
$U_1, B$										
$P, Вт$										

**Задание 2.** Собрать на рабочем поле среды MS12 схему для испытания двухконтурной схемы цепи постоянного тока (рис. 4.3).

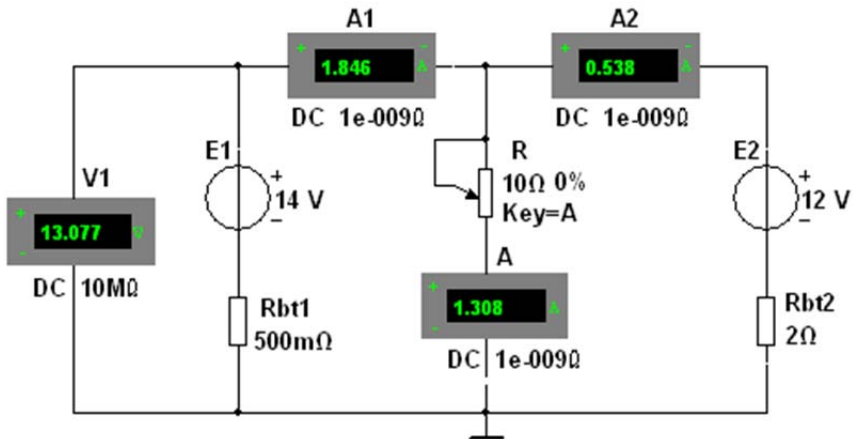



Рис. 4.3

**Установить** в диалоговых окнах компонентов их параметры или режимы работы:

- значения параметров элементов схемы цепи;
- режим **ДС** работы приборов; внутренние сопротивления амперметра  $R_A = 1$  нОм, а вольтметров  $R_V = 10$  МОм.

**Запустить** программу (щелкнув мышью на цифре 1 кнопки ) и **записать** показания приборов в столбец табл. 4.1 при сопротивлении нагрузки  $R = 10 + N$ , Ом.

**Задание 3. Снять и построить** внешнюю характеристику  $U_1(I_1)$  источника напряжения **E1**, то есть

$$U_1 = E_1 - R_{\text{вт1}}I_1.$$

С этой целью необходимо ступенчато **изменять** (посредством нажатия на клавишу **A** клавиатуры) сопротивление потенциометра (нагрузки) **R** от режима холостого хода (XX) до режима короткого замыкания (КЗ), а показания приборов **вносить** в табл. 4.1.

По результатам измерений **построить** (в масштабе) внешнюю характеристику  $U_1(I_1)$  источника **E1**.

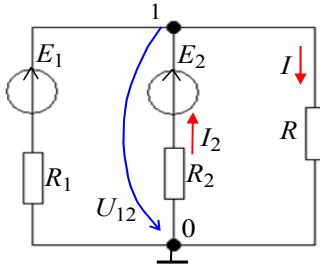
**Задание 4. Рассчитать и построить** график зависимости мощности  $P$  от сопротивления  $R$ , то есть  $P(R)$ . **Отметить** на графике координаты максимальной мощности.

### Содержание отчета

1. Наименование и цель работы.
2. Расчетные схемы цепи и копия схемы, смоделированной на рабочем поле программной среды MS12.
3. Формулы определения токов ветвей и потенциалов точек наружного контура схемы цепи.
4. Таблицы с рассчитанными и измеренными электрическими величинами.
5. Потенциальная диаграмма наружного контура схемы, графики  $U_1(I_1)$  и  $P(R)$ .
6. Выводы по работе.

### Тестовое задание к работе 3

1. Укажите выражение **узлового напряжения**  $U_{10}$  для схемы.



$$U_{10} = E_1 + E_2 \quad U_{10} = \frac{E_1 / R_1 + E_2 / R_2}{1 / R_1 + 1 / R_2 + 1 / R} \quad U_{10} = E_1 - E_2$$

2. Укажите, что понимают под выражением «батарея села»?

- Уменьшилась ЭДС аккумуляторной батареи.
- Увеличилось внутреннее сопротивление батареи.
- Уменьшились ЭДС и внутреннее сопротивление батареи.

3. Укажите, чему равно **напряжение** на зажимах источника напряжения при холостом ходе?

$$U = 0 \quad U = \infty \quad U = E \quad U < E$$

4. В режиме холостого хода напряжение на зажимах источника напряжения  $U = 12$  В ( $I = 0$ ), а в режиме нагрузки  $U = 11$  В,  $I = 1$  А. Укажите, чему равно **внутреннее сопротивление** источника энергии?

$$0,5 \text{ Ом} \quad 0,75 \text{ Ом} \quad 1 \text{ Ом} \quad 1,5 \text{ Ом}$$

5. Укажите, чему равно **номинальное напряжение**  $U$  источника напряжения с ЭДС  $E = 230$  В и внутренним сопротивлением  $R_{\text{вт}} = 0,1$  Ом, если номинальный ток  $I = 100$  А?

$$200 \text{ В} \quad 220 \text{ В} \quad 225 \text{ В} \quad 230 \text{ В}$$

## Библиографический список

1. Руководство пользователя National Instruments Corporation 1.
2. Моделирование импульсных и цифровых устройств в среде Multisim: метод. указания к лаб. работам по курсу «Импульсные и цифровые устройства» для студ. радиотех. спец. всех форм обуч. / сост.: А. В. Мартинович, А. А. Казека, И. Г. Давыдов. – Минск: БГУИР, 2008. – 38 с.: ил.
3. Марченко, А. Л. Лабораторный практикум по электротехнике и электронике в среде Multisim / А. Л. Марченко, С. В. Освальд. – ДМК-Пресс, 2014. – 448 с.: ил.

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение .....	3
Лабораторная работа 1 Применение программы Multisim в качестве инструмента для моделирования и анализа электрических схем .....	4
Лабораторная работа 2 Измерение электрических величин и параметров элементов электрических цепей .....	20
Лабораторная работа 3 Мост постоянного тока .....	34
Лабораторная работа 4 Линейная цепь с двумя источниками постоянного напряжения .....	39
Библиографический список .....	46

Учебное издание

## **ОСНОВЫ СХЕМОТЕХНИКИ**

Лабораторный практикум  
для направления специальности 1-36 11 01 01  
«Подъемно-транспортные, строительные, дорожные машины  
и оборудование (производство и эксплуатация)»

В 3 частях

Часть 1

Составитель

**АНТОНЕВИЧ** Андрей Иванович

Редактор *В. И. Акулёнок*

Компьютерная верстка *Н. А. Школьниковой*

Подписано в печать 25.05.2020. Формат 60×84 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Бумага офсетная. Ризография.

Усл. печ. л. 2,79. Уч.-изд. л. 2,18. Тираж 100. Заказ 285.

Издатель и полиграфическое исполнение: Белорусский национальный технический университет.  
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя, распространителя  
печатных изданий № 1/173 от 12.02.2014. Пр. Независимости, 65. 220013, г. Минск.