

Министерство высшего образования и науки Российской Федерации
КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ им. А.Н.ТУПОЛЕВА

Часть III

**ВИРТУАЛЬНАЯ ЛАБОРАТОРИЯ ПО ИЗМЕРИТЕЛЬНЫМ ПРИБОРАМ
В СРЕДЕ *Multisim*
И МЕТОДИКА ЕЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ**

Методическое пособие по самостоятельной работе студентов

Казань 2011

Виртуальная лаборатория по измерительным приборам в среде Multisim и методика ее использования / Сост. Погодин Д.В., Насырова Р.Г. Казан. гос. техн. ун-т им.А.Н.Туполева. Казань, 2011. 35 с.

Пособие предназначено для ознакомления с программой Multisim, которая используется в учебной практике направления 210400 «Радиотехника». Приводится описание основных принципов работы с программой Multisim и методика использования программы Multisim при выполнении самостоятельной работы и индивидуального задания.

Табл. , Ил. , Библиогр. назв.

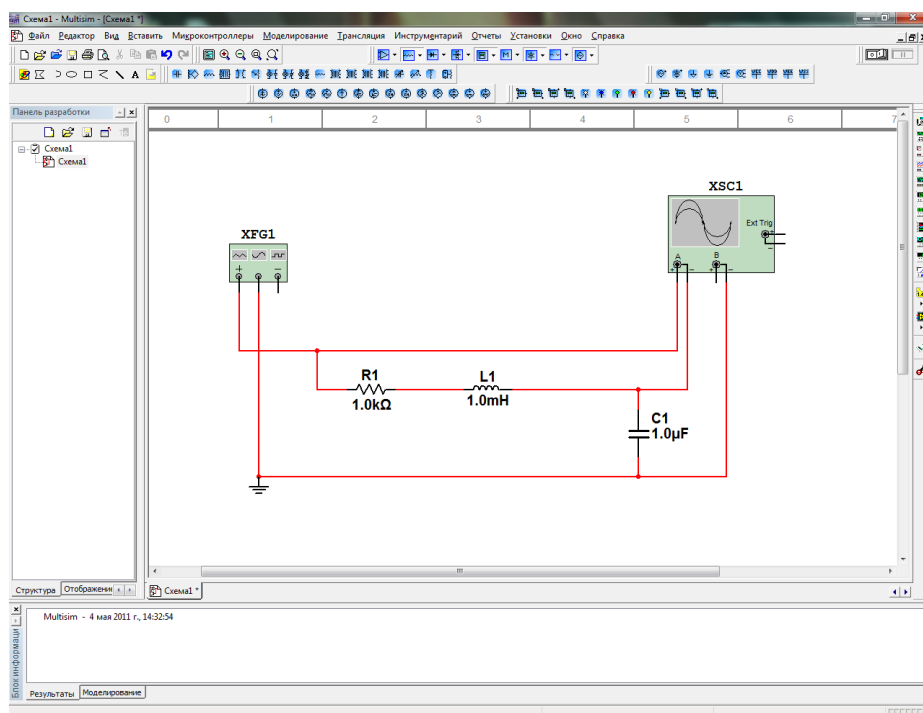
1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ПРОГРАММЕ *Multisim*

Система схемотехнического моделирования Multisim предназначена для моделирования и анализа электрических схем. Работа в реальной лаборатории требует больших временных затрат на подготовку эксперимента. Multisim- электронная лаборатория, позволяет сделать изучение электрических схем более доступным. Ошибки экспериментатора в реальной лаборатории могут привести к большим материальным потерям, в то время как, работая в Multisim, учащийся застрахован от случайного поражения током, а приборы не выйдут из строя из-за неправильно собранной схемы.

Для начала работы с программным пакетом необходимо загрузить систему и запустить исполняемый файл  multisim.exe непосредственно, либо запустить ярлык на рабочем столе, либо в панели Пуск>Программы>National Instruments>Circuit Design Suite>Multisim.

1.1. Структура рабочего окна программы

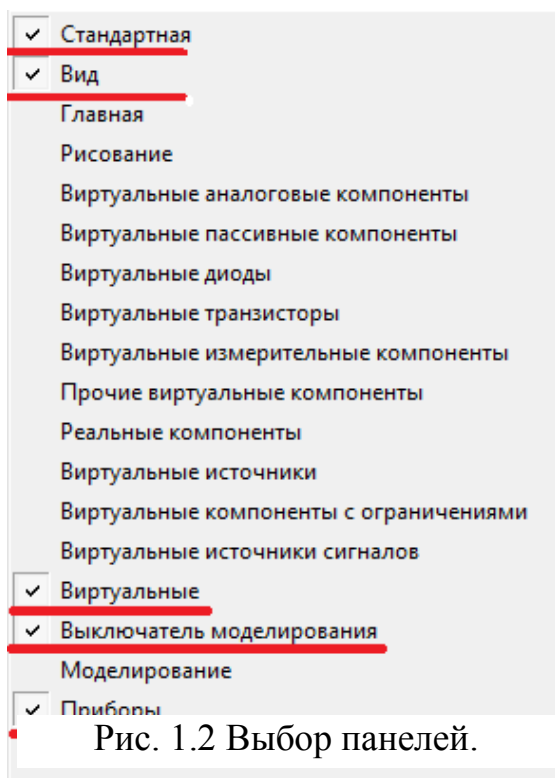
Знакомство с программой следует начать с изучения главного рабочего окна. Для этого откройте в вашем компьютере файл с программой Multisim обозначенный так  **Multisim**. На экране монитора появится рабочее диалоговое окно про-



граммы. Как видим, программа имеет стандартный оконный интерфейс пользователя (Рис. 1.1).

Вверху, под строкой названия программы расположена *строка меню программы*:

Рис. 1.1 Главное окно программы Multisim



Файл, Редактор, Вид, Вставить, Микроконтроллеры, Моделирование, Трансляция, Инструментарий, Отчеты, Установки, Окно, Справка.

Внизу, расположены панели инструментов. Перед дальнейшей работой убедитесь, что выбраны нужные панели. Для этого наведите курсор на область и щелкните правой клавишей. (Рис. 1.2). Выбраны должны быть следующие панели: *Стандартная, Вид, Виртуальные, Выключатель моделирования, Приборы.*

Стандартная панель инструментов и панель *вид* (рис. 1.3). С их помощью можно, не заходя в дополнительное меню, управлять масштабом рабочего поля, отменять последние изменения, а также сохранять и открывать проекты.



Рис. 1.3 Стандартная панель инструментов

В правом верхнем углу находятся кнопки:  предназначенные для останова, запуска и приостановки процесса работы модели электрической. Под запуском работы модели понимается включение источников сигналов и контрольно-измерительных приборов. Кнопка паузы служит для временной остановки процесса работы модели электрической схемы.

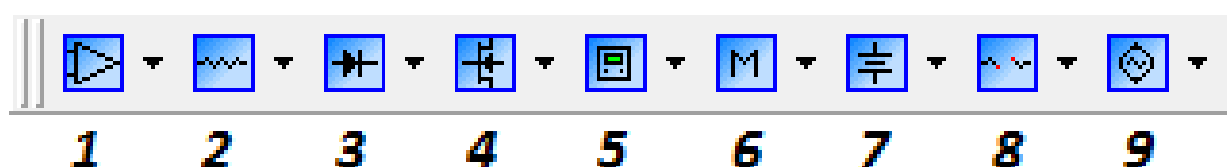


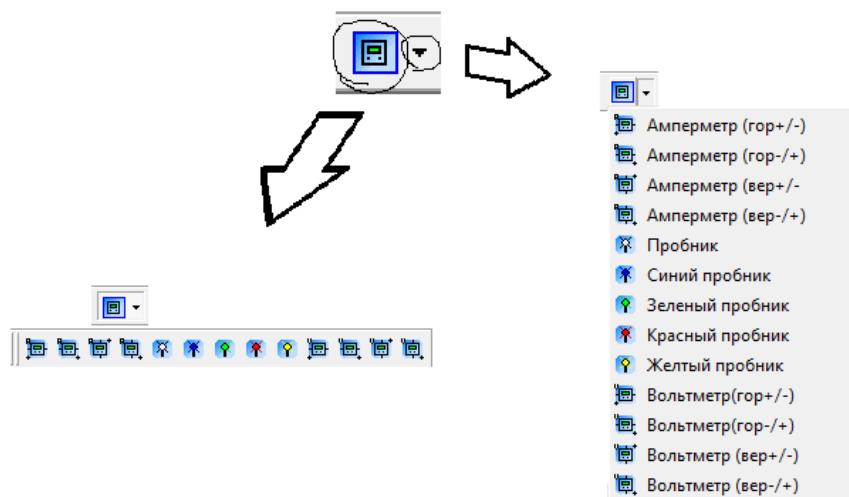
Рис. 1. 4 . Строка панели компонентов.

Под *стандартной* панелью инструментов (по умолчанию) расположена панель *Виртуальные* (инструменты), которая содержит 9 кнопок (в данной

версии программы) (рис. 1.4). Каждая кнопка панели компонентов представляет собой библиотеку компонентов (элементов) схем, контрольно-измерительных приборов, инструментов и т.д.

Назначение клавиш (слева направо):

1) группа «Аналоговые»; 2) группа «Пассивные»; 3) группа «Диоды»; 4) группа «Транзисторы»; 5) группа «Измерительные»; 6) группа «Аналого-Цифровые»;



7) группа «Источники питания»; 8) группа «С ограничениями»; 9) группа «Источники сигналов».

Девять разделов библиотек могут быть вызваны поочередно с помощью этих кнопок в виде отдельных пане-

Рис. 1.5. Отображение компонентов панели.

лей. Для этого необходимо подвести курсор к соответствующей кнопке и щелкнуть левой клавишей мыши. Если же щелкнуть по стрелке рядом с кнопкой, появляется окно, в котором изображены условные обозначения определенной группы электронных компонентов и устройств в виде списка (рис 1.5).

Справа (по умолчанию) расположена панель *Приборы* (рис 1.6). Её кнопки позволяют вызывать на рабочем поле мультиметр, функциональный генератор, ваттметр, осциллограф, измеритель амплитудно-частотных и фазо-частотных характеристик (плоттер Боде), частотметр, генератор слов, логический анализатор, логический преобразователь, измеритель нелинейных искажений, мультиметр Agilent, измерительные пробники, приборы LabView, приборы NI ELVISmx и бесконтактный пробник тока соответственно.



Рис. 1.6
Панель приборы

1.2. Содержание основных панелей компонентов

1.2.1 Элементы панели *Аналоговые* (Рис. 1.7)



Кнопки этой панели позволяют вызвать на рабочее поле компаратор, 3х-выводной ОУ и 5ти-выводной ОУ.

Рис. 1.7

1.2.2. Элементы панели *Пассивные* – основные элементы схем приведены на рис. 1.8. Здесь собраны все пассивные компоненты.



Рис. 1.8.

Основными элементами библиотеки *Пассивные* являются:

1. Конденсатор. Емкость конденсатора измеряется в Фарадах и задается величинами в долях фарада (от пикофарада [pF] до фарада [F]).
2. Катушка индуктивности. Индуктивность катушки (дросселя) измеряется в генри и задается величинами в долях генри (от наногенри [nH] до мегагенри [MH]).
3. Резистор. Сопротивление резистора измеряется в Омах и задается величинами в долях ома (от миллиома [mΩ] до тераома [TΩ]).
4. Трансформатор, может быть выполнен с отводом средней точки.

1.2.3 Элементы панели *Диоды* (рис. 1.9)

Здесь представлено только два элемента:

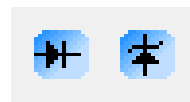


Рис. 1.9

1. Виртуальный диод – все его параметры выставлены по умолчанию.
2. Виртуальный стабилитрон – обладает такими параметрами, как напряжение стабилизации, токи пробоя и коэффициент эмиссии.

1.2.4 Элементы панели *Измерительные* (рис. 1.10).

Первые и последние 4 кнопки – это амперметры и вольтметры (соответственно) с раз-

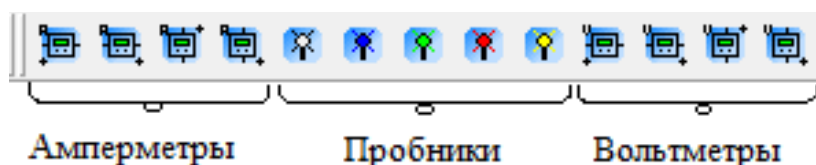


Рис. 1.10

Настройка параметров выполняется после двойного щелчка левой клавишей мыши по компоненту. Открывается диалоговое окно с несколькими закладками, предназначенное для задания параметров компонентов (рис. 1.11). На этих закладках в строке *Входное сопротивление* необходимо установить внутреннее сопротивление вольтметра (должно быть большим) и амперметра (должно быть малым). В строке *Режим* выбирается тип измеряемого напряжения (тока):

- *DC* – постоянное напряжение (ток);
- *AC* – переменное напряжение (ток).



1.2.5 Элементы панели *Источники питания* (рис. 1.12).

7

1. Источник питания переменного синусоидального тока (устанавливается - эффективное значение напряжения,



Рис. 1.12

частота, задержка, коэффициент затухания, фаза, погрешность и др.).

2. Источник постоянного напряжения (устанавливается величина напряжения). ЭДС источника постоянного напряжения или батареи измеряется в вольтах и задается производными величинами (от пВ до ТВ). Виртуальная батарея имеет внутреннее сопротивление, равное нулю, поэтому, если необходимо использовать две параллельно подключенные батареи, следует включить последовательно между ними небольшое сопротивление (например, в 1 Ом).

3. Заземление – точка, потенциал которой принимается за ноль. Без установки земли схема не запустится.

4. Источники фиксированного напряжения. Применяются в логических схемах.

1.2.5 Элементы панели *Источники сигналов* (рис.1.13).



Рис. 1.13

В Multisim широко представлены различные сигналы. Но на первых этапах рассмотрим лишь основные:

1. Источник переменного синусоидального тока (устанавливается - эффективное значение тока, частота, задержка, коэффициент затухания, фаза и др.). Действующее значение тока источника измеряется в амперах и задается производными величинами (от пА до ТА).

2. Источник переменного синусоидального напряжения (устанавливается - эффективное значение напряжения, частота, задержка, коэффициент затухания, фаза, погрешность и др.).

3. Источник постоянного тока (ток). Ток источника постоянного тока (direct current) измеряется в амперах и задается производными величинами (от пА до ТА).

1.2.6. Панель *Приборы* – контрольно–измерительная аппаратура.

Рассмотрим теперь более подробно данную панель. Перечень её компонентов мы уже давали ранее (рис. 1.6).

В отличие от Electronics Workbench ограничений на количество одновременно использующихся приборов одного вида нет.

При построении схем иконка прибора курсором переносится на рабочее поле и подключается проводниками к исследуемой схеме. Для приведения прибора в рабочее (развернутое) состояние необходимо дважды щелкнуть курсором по его иконке уже размещенной на рабочем поле. Появляется изображение передней панели прибора (на рис. 1.14 – передняя панель мультиметра).

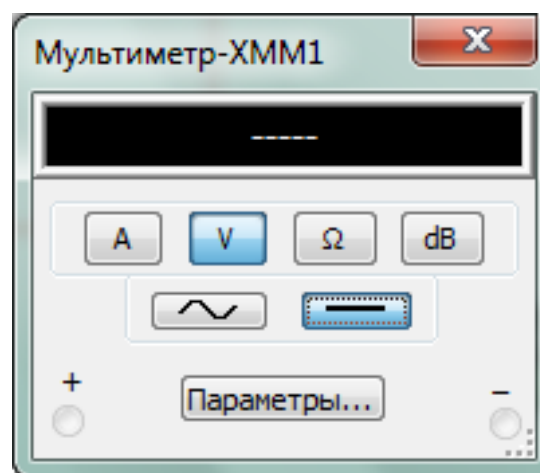


Рис. 1.14. Передняя панель мультиметра

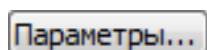
 **Мультиметр.** На передней панели мультиметра (рис. 1.14) расположен дисплей для отображения результатов измерения, клеммы («–» и «+») для подключения к схеме и кнопки управления:



выбор измеряемой величины - тока, напряжения, сопротивления и ослабления (затухания);



выбор режима измерения переменного или постоянного тока;



режим установки параметров мультиметра. После нажатия на эту кнопку открывается диалоговое окно (рис. 1.15).

В нем можно устанавливать: внутреннее сопротивление амперметра (R); входное сопротивление вольтметра (R); диапазон измеряемого тока (I); относительный уровень dB (V)

Примечание.

Установка эталонного напряжения VI при измерении ослабления или усиления в децибелах (по умолчанию V1=1 В). При этом для коэффициента передачи используется формула:

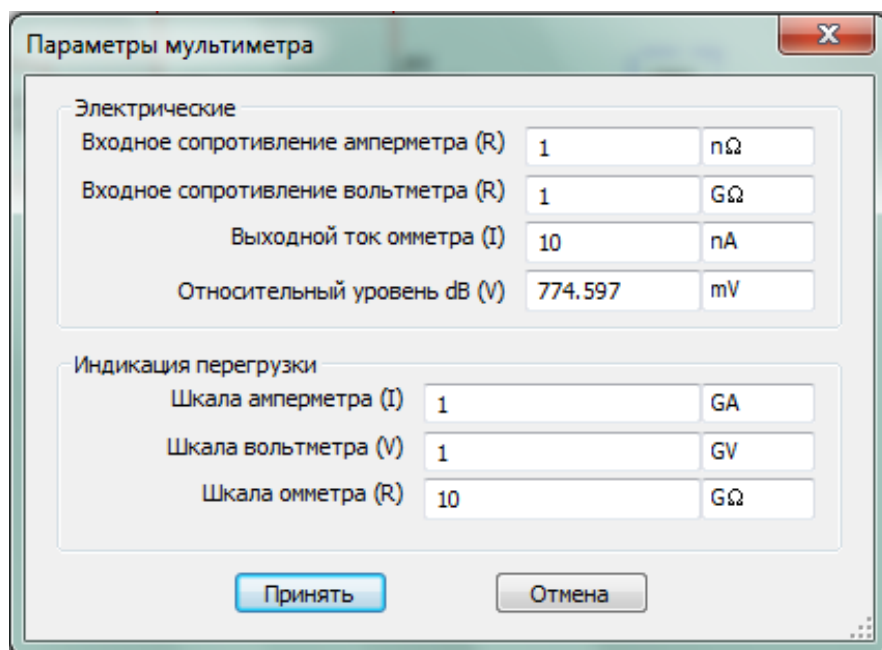


Рис. 1.15

$K[\partial B] = 20 \cdot \log(V2/V1)$, где V2 — напряжение в контролируемой точке.

Так же можно настроить индикацию перегрузки.



Функциональный генератор. Передняя панель генератора показана на рис. 1.16. Управление генератором осуществляется следующими орга-

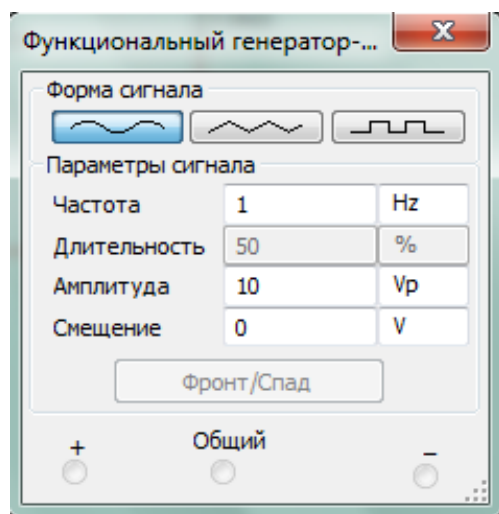
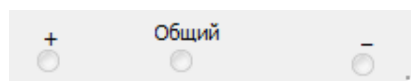


Рис. 1.16. Передняя панель генератора

нами управления:

Значения кнопок интуитивно понятны. В первой строчке мы можем выбрать форму выходного сигнала.

Далее идут параметры самого сигнала — частота, длительность, амплитуда, смещение.



выходные зажимы.

При заземлении клеммы общий (COM) на клеммах «—» и «+» получаем парафазный сигнал.

Примечание.

Длительность - установка коэффициента заполнения в %. Для импульсных сигналов это отношение длительности импульса к периоду повторения (величина, обратная скважности), для треугольных сигналов – соотношение между длительностями переднего и заднего фронта;

Смещение - постоянная составляющая выходного сигнала;



Осциллограф. Передняя панель осциллографа показана на рис. 1.17

Осциллограф имеет два канала *A* и *B* с отдельной регулировкой чувствительности в диапазоне от 1 фемтоВольта на деление (fV/Div) до 1000 теравольт на деление (TV/Div) и регулировкой смещения по вертикали (*смещение Y*), что позволяет одновременно наблюдать временные диаграммы двух сигналов.

Выбор режима по входу осуществляется нажатием кнопок **AC** **0** **DC**.

Режим *AC* предназначен для наблюдения только сигналов переменного

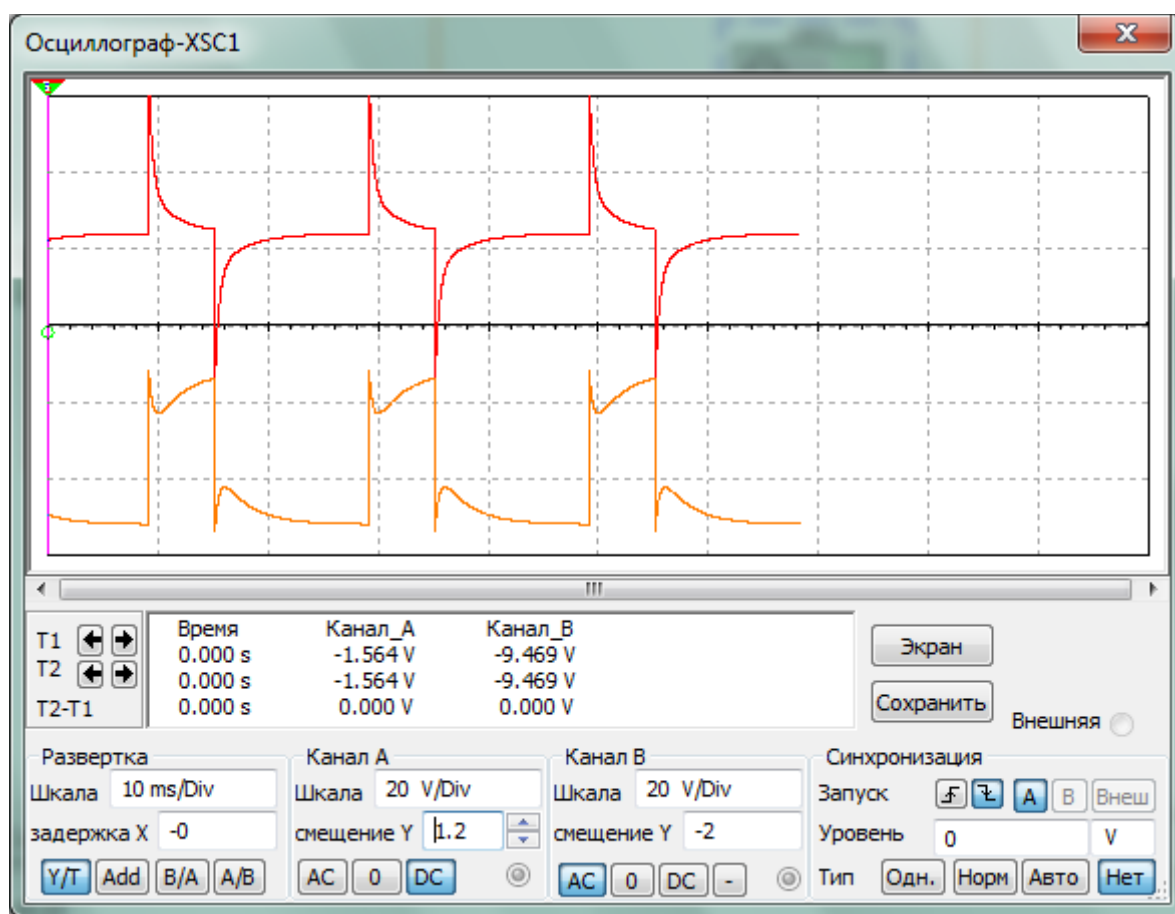


Рис. 1.17. Передняя панель осциллографа

тока (его еще называют режимом "закрытого входа", поскольку в этом режиме на входе усилителя включается разделительный конденсатор, не пропускающий постоянную составляющую). В режиме 0 входной зажим замыкается на землю. В режиме DC (включен по умолчанию) можно проводить осциллографические измерения как постоянного, так и переменного тока. Этот режим еще называют режимом "открытого входа", поскольку входной сигнал поступает на вход вертикального усилителя непосредственно. С правой стороны от кнопки DC расположен входной зажим.

Режимы развертки выбираются кнопками    , при этом:

- режим Y/T (обычный режим, включен по умолчанию) – по вертикали индицируется напряжение сигнала, по горизонтали – время;
- режим B/A – по вертикали индицируется сигнал канала В, по горизонтали – сигнал канала А;
- режим A/B – по вертикали индицируется сигнал канала А, по горизонтали – сигнал канала В.

В режиме развертки Y/T шкала развертки может быть задана в диапазоне от 1 фс/дел (fs/div) до 1000 Тс/дел (Ts/div) с возможностью установки смещения в тех же единицах по горизонтали, т.е. по оси X (*задержка X*).

Режимы синхронизации выбираются кнопками в соответствующем блоке. Здесь возможно два режима синхронизации:

1. Режим внутренней синхронизации при регулируемом уровне запуска синхронизации, с запуском развертки (*Запуск*) по переднему или заднему фронту запускающего сигнала, что выбирается нажатием кнопок  , имеет три режима:

- режим $AUTO$ – запуск от сигнала по каналам А или В;
- режим А – запуск от сигнала по каналу А;
- режим В – запуск от сигнала по каналу В;

2. Режим внешней синхронизации выбирается нажатием клавиши **Внеш**. Он осуществляется от внешнего источника (*EXT*), подключаемого к зажиму в блоке управления *синхронизации*.

Так же существует возможность прокрутки изображения по горизонтали и его сканирования с помощью вертикальных визирных линий (синего и красного цвета), которые за треугольные ушки (они обозначены также цифрами 1 и 2) могут быть курсором установлены в любое место экрана. При этом в индикаторных окошках под экраном появятся результаты измерения напряжения, временных интервалов и их приращений (между визирными линиями). Кнопкой «Экран» можно изменить цвет фона – черный или белый. Изображение можно записать в файл нажатием кнопки сохранить. Возврат к исходному состоянию осциллографа происходит при нажатии кнопки *REDUCE*.

Измеритель АЧХ и ФЧХ. Передняя панель измерителя АЧХ-ФЧХ показана рис. 1.18.

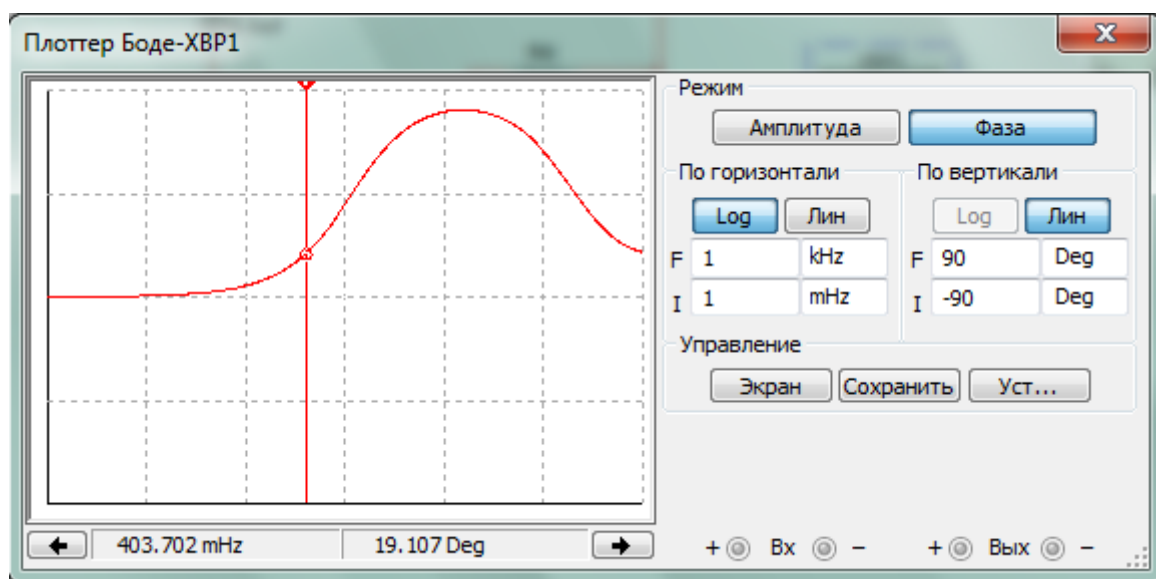


Рис. 1.18. Передняя панель измерителя АЧХ и АФХ

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. Значение частоты и соответствующее ей значение коэффициента передачи или фазы индицируется в окошках под графиком.

Подключение прибора к исследуемой схеме осуществляется с помощью зажимов «Вх» (*IN*) и «Вых» (*OUT*). Левые клеммы зажимов подключаются соответственно к входу и выходу исследуемого устройства, а правые – к общей шине.

Другие приборы будут рассмотрены при их непосредственном использовании в лабораторных работах.

1.3. МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ СХЕМ

Multisim позволяет строить аналоговые, цифровые и цифро-аналоговые схемы различной степени сложности.

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

- Прежде чем создавать чертеж принципиальной схемы средствами программы Multisim, необходимо на листе бумаги подготовить ее эскиз с примерным расположением компонентов и с учетом возможности оформления отдельных фрагментов в виде подсхем.
- Для удобства размещения компонентов можно сделать видимой сетку по команде в строке меню программы Вид/Сетка.
- Компоненты электрической схемы, измерительные приборы, источники сигналов и питания извлекаются из соответствующих меню при нажатии левой кнопки мыши (ЛКМ) и повторном нажатии ЛКМ на рабочем столе виртуальной лаборатории. При этом символ фиксируется на рабочем поле. Объект можно поворачивать на угол, кратный 90° . Для этого объект нужно предварительно выделить, а затем выбрать щелкнуть по нему правой кнопкой мыши (ПКМ) и из появившегося меню выбрать команду: «Повернуть по часовой на 90° » (*Ctrl + R*) или «Повернуть против часовой на 90° » (*Ctrl + Shift+R*). Вольтметры и амперметры рекомендуется выбирать нужной

ориентации сразу из панели измерительные, чтобы изображение на табло измерительного прибора не было перевернутым.

- Установка нужного параметра элемента или технических характеристик прибора производится в диалоговом окне, которое открывается двойным щелчком по значку компонента. В раскрывшемся окне устанавливают требуемые параметры (сопротивление резистора, емкость конденсатора, эдс источника, режимы работы прибора и т.д.). Выбор параметра элемента нужно подтвердить нажатием кнопки **ОК**, находящейся обычно внизу в диалоговом окне

- Соединение элементов производится в автоматическом режиме: курсор подводится к выводу элемента, появляется точка, затем, после нажатия ЛКМ к курсору привязывается конец прямолинейной цепи, который можно открепить на вывод другого элемента или на участок другой ветви нажав ЛКМ ещё раз. В процессе прокладывания прямолинейной цепи можно нажимать ЛКМ на пустом рабочем поле, для фиксации цепи в этой точке. Это бывает необходимо, так как цепь прорисовывается в ортогональном режиме и состоит из горизонтальных и вертикальных отрезков, которые огибают установленные элементы схемы, и не всегда автоматическое огибание бывает самым рациональным.

- Цепи можно редактировать следующим образом:

- Участки цепи можно переместить. Для этого курсор подводится к участку цепи. Нажимая и удерживая ЛКМ, перемещением мышки изменяем положение цепи. Аналогично перемещаются и узлы схемы.

- Все проводники в Multisim по умолчанию черного или красного цвета, но цвет проводника можно изменить. Для этого цепь выделяется щелчком ПКМ, и затем в появившемся меню выбирается команда «Изменить цвет» и в следующем окне выбираем из палитры цвет проводника. Рекомендуется окрашивать в разные цвета цепи, подводимые к входам осциллографа, так как графикам, отображаемым на экране осциллографа, присваивается цвет подсоединенных к его входам цепей.

- Удаление цепи. Удаляемая цепь выделяется и нажимается на кла-

виатуре клавиша Del или выбирается в контекстном меню (ПКМ по объекту) команда «Удалить» (Delete).

- Для создания дополнительного узла схемы нажмите сочетание клавиш CTRL+J, а затем нажмите ЛКМ на нужном месте рабочего поля.

После создания схемы сетку можно отключить. Система схемотехнического моделирования Multisim представляет собой удобное и практичное средство, позволяющее моделировать электрические схемы и анализировать их работу. Результаты моделирования можно вывести на принтер или импортировать в текстовый или графический редактор для их дальнейшей обработки, что дает возможность значительно повысить качественный уровень проведения лабораторных и практических занятий.

2. МЕТОДИКА ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ НА ОСНОВЕ ВИРТУАЛЬНЫХ ИНСТРУМЕНТОВ *Multisim*.

2.1. Исследование резистивного делителя напряжения.

На рис. 2.1.а представлена простейшая схема делителя напряжения на двух резисторах $R1$ и $R2$. К цепи приложено напряжение источника постоянного тока E . Через резисторы протекает ток I (последовательное включение), на резисторе $R1$ падает напряжение $U1$, на резисторе $R2$ – напряжение $U2$:

$$I = E / (R1 + R2),$$

$$U1 = I R1 = E R1 / (R1 + R2), \quad (1)$$

$$U2 = I R2 = E R2 / (R1 + R2).$$

Задание. По формулам (1) рассчитать падение напряжения на резисторах $R1$ и $R2$ для данных, приведенных в таблицу 2.1. Результаты расчетов занести в таблицу 2.1..

Порядок выполнения. Собрать схему делителя, представленную на рис. 2.1б.

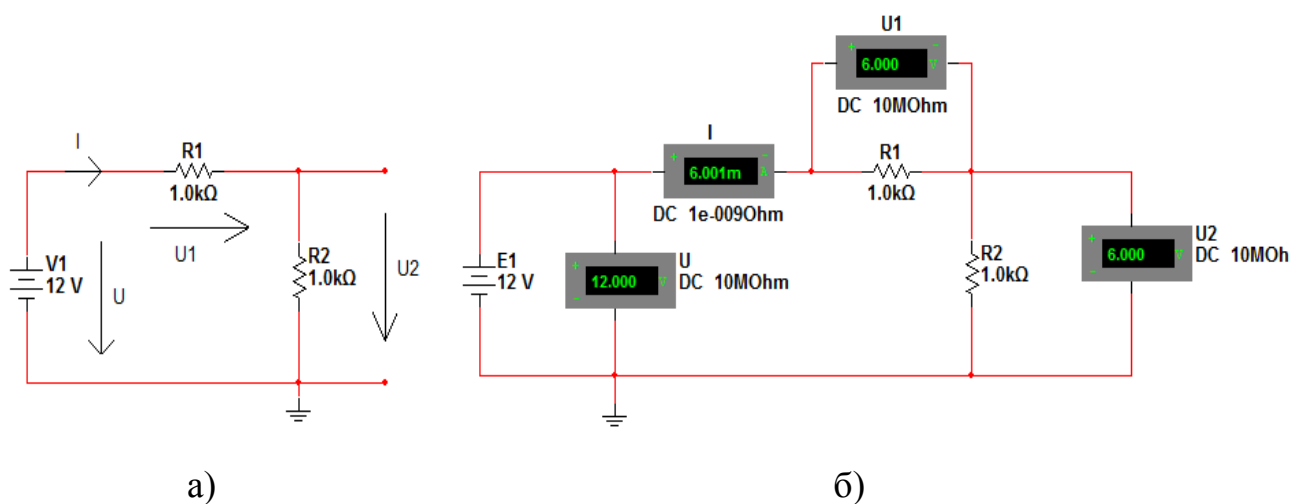


Рис. 2.1. Схема делителя напряжения

Провести экспериментальную проверку полученных результатов. Изменяя в схеме значения сопротивлений и напряжения источника питания, заполните таблицу 2.1.

Табл.2.1.

U, В	R1, Ом	R2, Ом	Ток I (мА)		Напряжение U1(В)		Напряжение U2(В)	
			Расчет	Эксперимент, I	Расчет	Эксперимент, V1	Расчет	Эксперимент, V2
12	100	50						
	100	100						
	100	200						
	50	100						
	200	100						
	300	100						
6	Те же значения сопротивлений							

По результатам измерений построить зависимости $U1=f(R1)$ при $R2=const$ и $U2=f(R2)$ при $R1=const$ для двух значений V .

2.2. Исследование резистивного делителя тока

На рис.2.2.а представлена простейшая схема из двух параллельно включенных сопротивлений $R1$ и $R2$. К ним приложено напряжение источника постоянного тока E . Через резистор $R1$ протекает ток $I1$, через резистор $R2$ ток $I2$. Через оба резистора протекает суммарный ток: $I = I1 + I2$.

В свою очередь: $I1 = E/R1$, $I2 = E/R2$

$$I = E/R1 + E/R2 = E (1/R1 + 1/R2) = E(R1 + R2)/(R1R2) = E/R_{\text{экв}} \quad (2)$$

$$R_{\text{экв}} = (R1R2)/(R1 + R2).$$

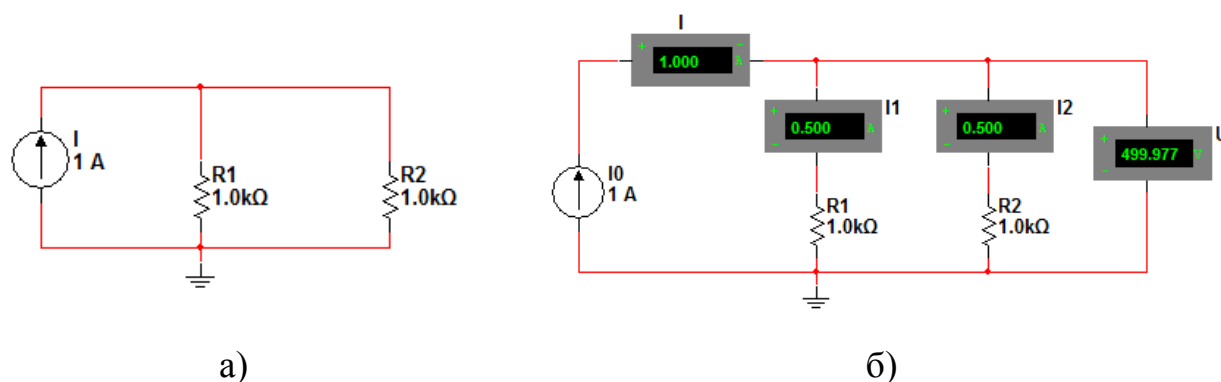


Рис.2.2. Схема резистивного делителя тока.

Задание. По формулам (2) рассчитать токи через резисторы $R1$ и $R2$ для данных, приведенных в табл.2.2. Результаты расчетов занести в таблицу.

Порядок выполнения. Собрать схему делителя (рис. 2.2.б).

Для этого:

Из группы компонентов «*Источники сигналов*» выбрать «Источник тока DC» (см. рис. 1.13 [3]) и поместить его на рабочий стол, расположив, как показано на рис. 2.1.б. Щелкнуть дважды ЛКМ по элементу и задать в появившемся окне величину тока (как указано на рис. 2.1б). Повторить эту операцию для всех компонентов.

Из группы компонентов «*Пассивные*» выбрать 2 резистора (см. рис. 1.8[3]) и поместить их на рабочий стол. Повернуть командой «Повернуть по часовой на 90°» (*Ctrl + R*) и расположить, как показано на рис. 2.1б. С помощью описанной выше процедуры задать величину сопротивлений и их обозначения в соответствии с рис. 2.1б.

Из группы компонентов «*Измерительные*» выбрать амперметр и вольтметр (см. рис. 1.10). Поместить их на рабочий стол и расположить, как показано на рис. 2.1б. Их ориентацию выводов следует выбирать исходя из названия в группе, например, «Амперметр горизонтальный» или «Амперметр вертикальный», чтобы табло измерительного прибора находилось в нужном положении. Щелкнув дважды ЛКМ по прибору, задать величины внутренних сопротивлений приборов (очень большое сопротивление для вольтметра и очень маленькое сопротивление для амперметра), выбрать вид измеряемого тока DC (постоянный) и их обозначения в соответствии с рис. 2.1б. После этого соединить компоненты проводниками.

Провести экспериментальную проверку полученных результатов.

Для этого:

Запустить моделирование командой *Activate* меню *Analysis* (рис. 26) или кнопкой «Пуск» .

Полученные результаты измерений на амперметрах и вольтметрах занести в таблицу. Изменяя в схеме значения сопротивлений и напряжения источника питания, заполнить табл.2.2.

Таблица 2.2.

U, В	R1, Ом	R2, Ом	Ток I1 (мА)		Ток I2(мА)		Напряжение эксперимент		Ток I (мА)	R _{ЭКВ} , Ом
			Расчет	Эксперимент A1	Расчет	Эксперимент A2	V1	V2		
10	100	50								
	100	100								
	100	200								
	100	400								
	50	100								
	200	100								
	400	100								
5	Те же значения сопротивлений									

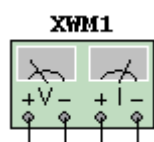
По результатам измерения построить зависимости $I=f(R_{\text{экв}})$ для двух значений V.

ЗАДАНИЕ 2.3. Измерение активной мощности цепи.

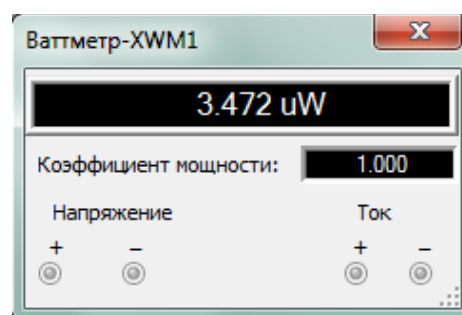
Самый простой способ измерения активной мощности – это включение в цепь специального прибора – ваттметра.

Ваттметр измеряет активную мощность. Результат отображается в ваттах. Ваттметр также показывает коэффициент мощности, вычисляемый по сдвигу между напряжением и током и их произведению. Коэффициент мощности равен косинусу фазового угла между напряжением и током.

Чтобы поместить ваттметр на рабочее поле, его нужно найти в панели «Приборы»=> Ваттметр. Соответствующее ему изображение (рис. 2.3.1а) появится по размещению его на рабочем поле.



а)



б)

Рис. 2.3.1. Отображение Ваттметра.

Как и с другими приборами, чтобы открыть свойства компонента нужно дважды щелкнуть по нему ЛКМ (рис. 2.3.1б)

Чтобы определить мощность на нагрузке необходимо первые два выхода ваттметра включить параллельно нагрузке, другие – последовательно.

Рассмотрим пример.

Задание. Определить мощность, рассеиваемую на резисторе R2 в схеме (рис. 2.3.2а).

Соберите схему указанную на рис. 2.3.2б. Принять $R_1=R_3=1\text{k}\Omega$. Изменяя R2 от $10\ \Omega$ до $10\ \text{k}\Omega$, найдите и постройте зависимость выделяемой мощности от сопротивления.

Пользуясь законами Ома и Кирхгофа, получите аналитическое выражение этой зависимости.

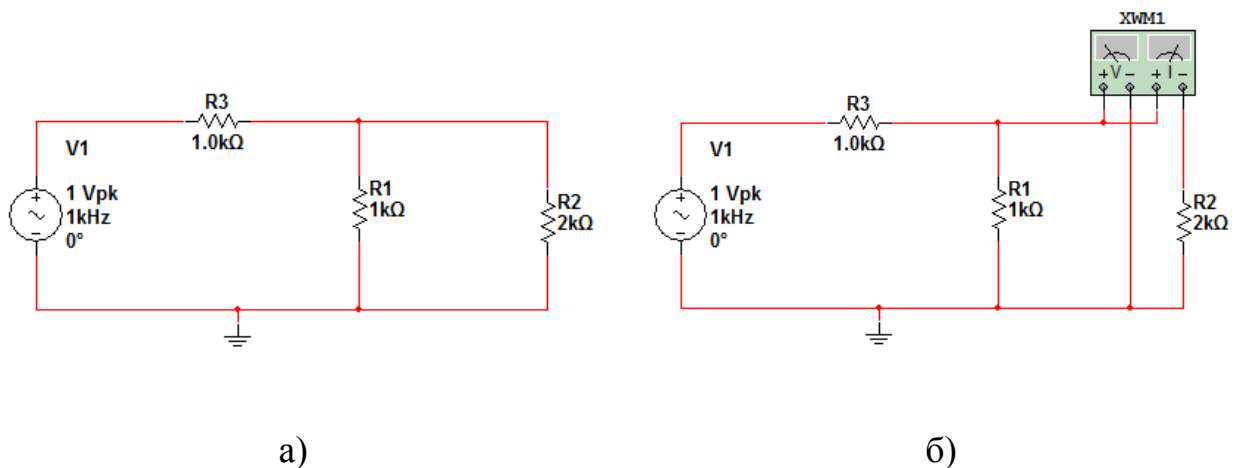


Рис. 2.3.2.

2.4. Исследование характеристик фильтров на примере ФНЧ

Напомним, что среди передаточных параметров четырехполюсников основным является комплексный коэффициент передачи по напряжению $K_U(j\omega)$. Он представляет собой отношение комплексного выходного напряжения $\dot{U}_2$ – отклика и комплексного входного напряжения $\dot{U}_1$ – воздействия четырехполюсника

$$K_U(j\omega) = \frac{\dot{U}_2}{\dot{U}_1} = K_U(\omega) \cdot \exp(j\varphi(\omega))$$

где $K_U(\omega) = \frac{U_2}{U_1}$ – модуль комплексного коэффициента передачи по напряжению $K_U(j\omega)$;

U_2, U_1 – действующие или амплитудные значения выходного и входного гармонических напряжений;

$\varphi(\omega) = \varphi_{U2}(\omega) - \varphi_{U1}(\omega)$ – аргумент комплексного коэффициента передачи $K_U(j\omega)$ равный разности между начальными фазами выходного и входного напряжений;

$\varphi_{U2}(\omega), \varphi_{U1}(\omega)$ – начальные фазы выходного и входного гармонических напряжений.

Зависимость модуля $K_U(\omega)$ от частоты называется *амплитудно-частотной характеристикой (АЧХ)* цепи.

Зависимость аргумента $\varphi(\omega)$ комплексного коэффициента передачи от частоты называется *фазо-частотной характеристикой (ФЧХ)* цепи.

Измерение АЧХ и ФЧХ возможно осуществить несколькими способами.

Для начала соберем на рабочем столе Multisim схему простейшего фильтра нижних частот первого порядка (рис. 2.4.1а).

Сравните результаты теории

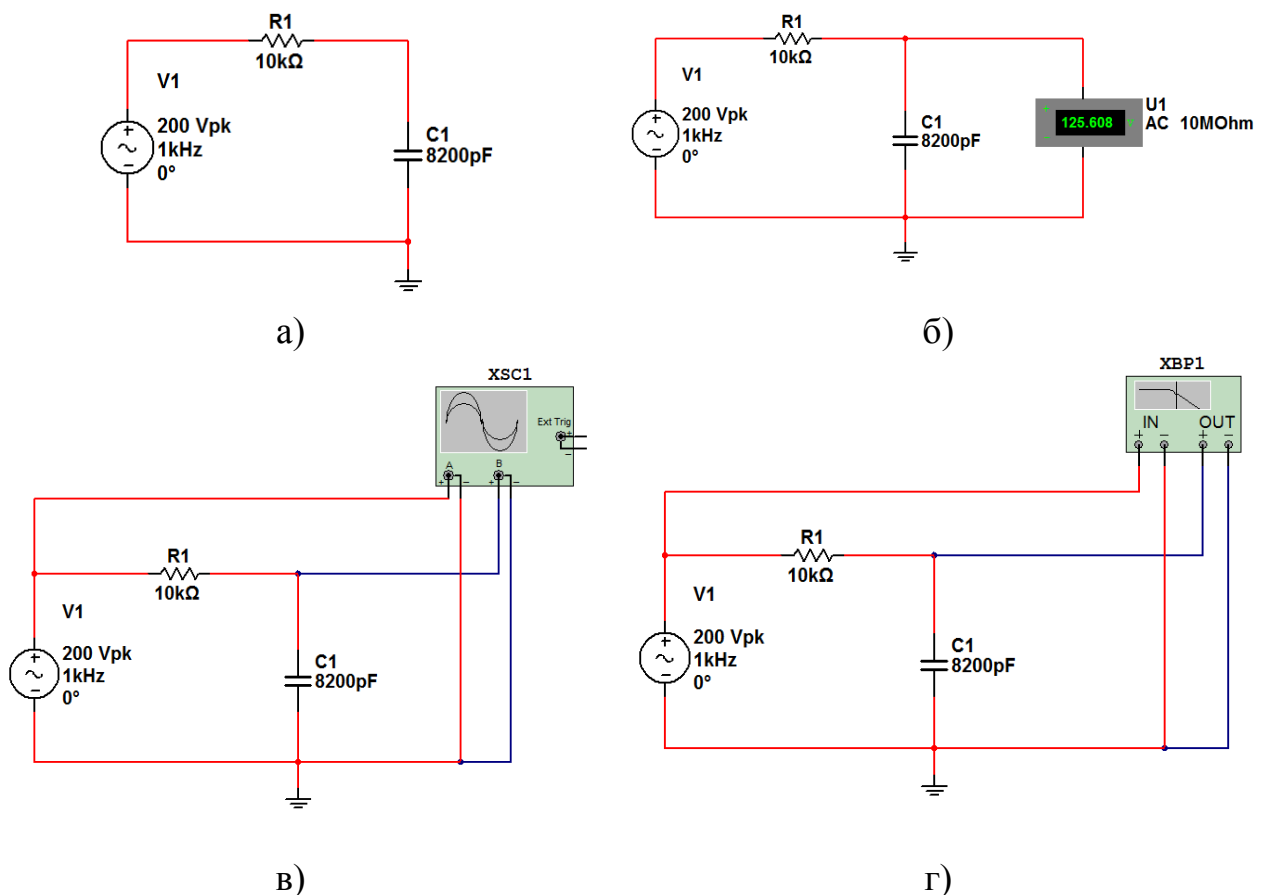


Рис. 2.4.1. Схема фильтра нижних частот первого порядка.

К входу схемы подключить источник переменного напряжения (источник напряжения AC. Установить напряжение генератора $U_1 = 1\text{В}$ (V) и частоту $f = 200\text{ Гц}$ (Hz).

Установить значения параметров $R = 10\text{k}\Omega$ и $C = 8200\text{pF}$.

2.4.1. Измерение АЧХ с помощью вольтметра.

К выходным полюсам RC- цепи подключить вольтметр (рис 2.4.1б)? установив его в режиме переменного тока (АС).

Произвести измерение выходного напряжения RC-цепи в диапазоне частот $f_{min} - f_{max}$, начиная с частоты $f_{min} \approx 200$ Гц. Измерение производится включением режима моделирования кнопкой “Пуск”. Вольтметр покажет эффективное значение выходного напряжения U_2 , которое надо занести в табл. 3 и посчитать экспериментальное значение коэффициента передачи.

Изменять частоту генератора можно так, чтобы выходное напряжение изменилось примерно на $8 \div 12\%$ от предыдущего значения. При таком шаге изменения частоты входного сигнала вся кривая разбивается примерно на ~ 10 уровней, по которым будет построена АЧХ. Значение частоты всегда можно откорректировать. Результаты расчетов и измерений занести в таблицу 2.4.1

В таблице 2.4.1 предложены примерные значения частот для снятия АЧХ низкочастотного RC-фильтра.

Таблица 2.4.1

Результаты эксперимента								
f , кГц	0.2	1.0	5.0	10.0	....	....	.....	250.0
U_2								
K_U								

По результатам измерений построить в черновике АЧХ и

2.4.2. Измерение ФЧХ с помощью двухканального осциллографа.

Измерим ФЧХ низкочастотной RC-цепи с помощью двухканального осциллографа, который нужно включить по схеме (см. рис. 2.4.1в).

При снятии ФЧХ нужно восстановить значения входного напряжения и частоты генератора сигнала, записанные в таблице 2.4.1. Это значит, что ФЧХ будет измеряться в тех же условиях, что и АЧХ.

Установить цвета проводников сигналов – входного красным, выходного – синим. Для этого щелкнуть ПКМ по проводнику, в открывшемся меню выбрать «Цвет сегмента». Затем, в появившемся окне выбрать нужный цвет.

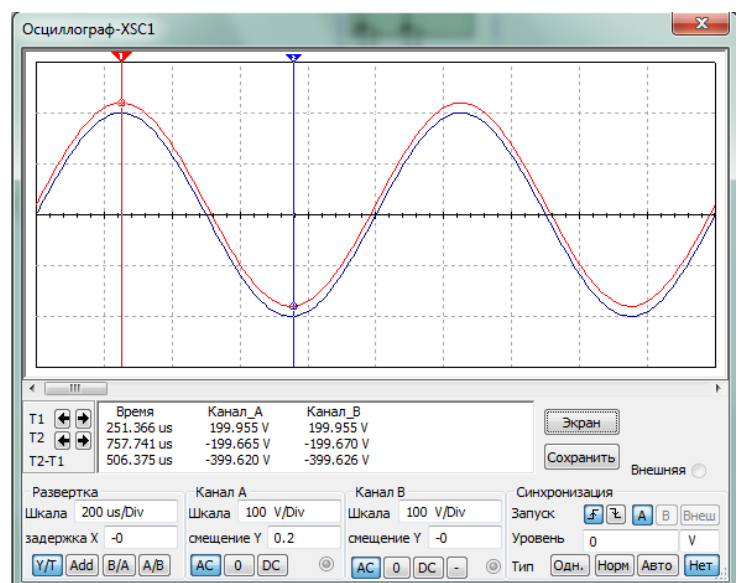


Рис. 2.4.2.

Открыть переднюю панель осциллографа. Выставить параметры осциллографа.

В блоке «Развертка» установить шкалу 500 us/Div и режим Y/T,

В каналах «А» и «В» установить одинаковую чувствительность 100 v/div в режиме переменного тока АС. В блоке «Синхронизация» включить режим *Авто*.

Произвести измерение сигналов включением режима моделирования кнопкой “Пуск”. Это нужно делать при каждом изменении параметров сигнала или цепи.

Подвести красную и синюю визирные линии в точки максимальных значений соответственно входного и выходного сигналов (см. рис.2.4.2). В правом нижнем окне прочитать разность $(T_2 - T_1)$, равную смещению сигналов по оси времени. Результаты измерений занести в таблицу 4.

$$\varphi(f_k) = -(T_2 - T_1) \cdot f_k \cdot 360^\circ$$

Таблица 2.4.2.

Результаты экспериментальных измерений								
f , кГц	0.2	1.0	5.0	10.0	....	....	.....	250.0
$(T_2 - T_1)$								
$\varphi(f_k)$								

Проделать подобные измерения для всех значений частот, записанных в таблице. При изменении частоты сигнала нужно менять скорость развертки, размер окна и чувствительность каналов так, чтобы в пределах экрана укладывался примерно один период сигнала, как показано на рис.2.4.2. Это увеличивает точность измерения.

Построить ФЧХ по результатам расчета и измерений.

2.4.3. Измерение АЧХ и ФЧХ с помощью Плоттера Бодэ.

Необходимо собрать схему исследования характеристик (рис. 2.4.1г).

Открыть панель измерителя для измерения АЧХ (кнопка Magnitude) и настроить его параметры так, как показано на рис. 2.4.3. По вертикальной оси **Y** установить линейный масштаб, максимальное усиление $F = 1$, минимальное значение $I = 0$. По оси **X** – логарифмический масштаб, $F = 100$ GHz, $I = 1$ Hz. При необходимости скорректировать значения F и I по осям. АЧХ должна иметь вид, показанный на рис. 2.4.3.

Открыть панель измерителя для измерения ФЧХ (кнопка Phase) и настроить параметры прибора так, как показано на рис. 2.4.4. По

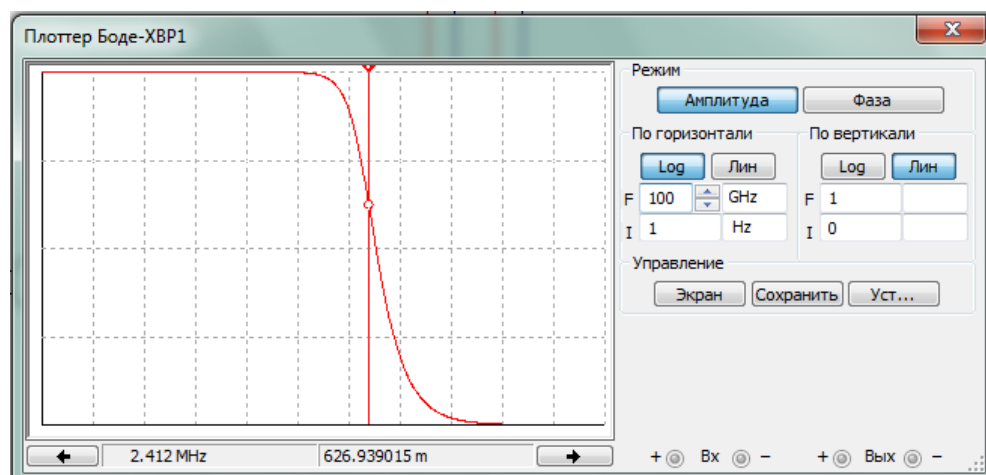


Рис. 2.4.3.

вертикальной оси Y установить линейный масштаб, максимальное усиление $F = 0^0$, минимальное значение $I = -90^0$. По оси X – логарифмический масштаб, $F = 20$ кГц, $I = 100$ Гц. При необходимости скорректировать значения F и I по осям.

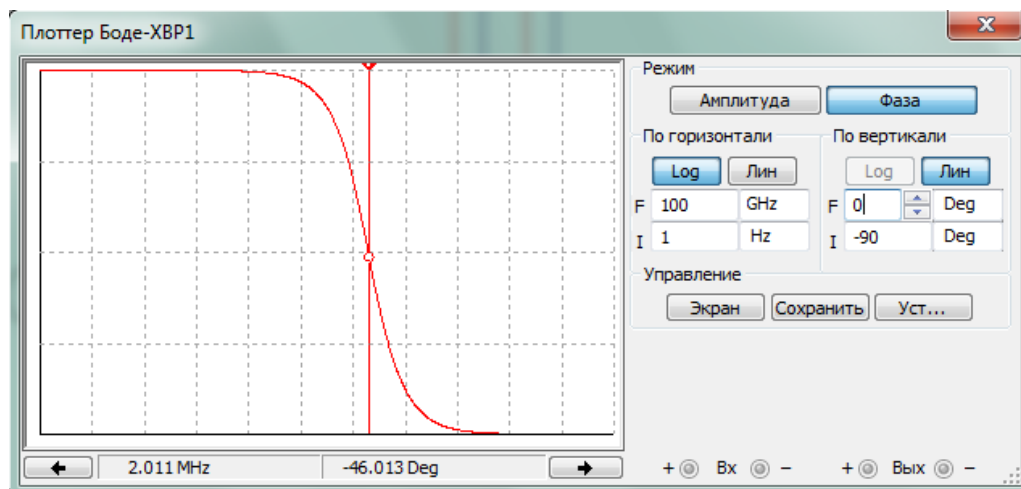


Рис. 2.4.4

Нарисовать Таблицу 2.4.3 для записи результатов измерений.

Таблица 2.4.3

Результаты эксперимента								
f , кГц	0.2	1.0	5.0	10.0	....	....	.....	250.0
K_U								
φ								

Провести измерения характеристик по точкам. Для этого установить визирную линейку на частоту, полученную в результате эксперимента в таблице 2.4.2. Записать значение K_U . Перевести прибор в режим измерения фазы и записать результат φ . Изменить частоту по таблице 2.4.3 и повторить измерения K_U и φ и т.д. Заполнить таблицу 2.4.3.

По результатам измерений построить характеристики по точкам и сравнить с их характеристиками, построенные по заданиям 2.4.1 и 2.4.2.

3. Индивидуальные задания.

Получите номер варианта у преподавателя. Затем, пользуясь таблицами заданий, найдите своё индивидуальное задание и выпишите его отдельно. Индивидуальное задание состоит из 2х задач (пункты 3.1 и 3.2).

3.1. Задание 1.

В первой задаче необходимо найти напряжение на выходе и объяснить его, исходя из законов Ома и Кирхгофа. Так же нужно найти с помощью правильного подключения амперметра и вольтметра напряжение и ток на двух резисторах R_A и R_B . Пользуясь таблицами 3.1.1 и 3.1.2, найдите свои значения А и В, а так же схему. Соберите её на рабочем поле произведите необходимые измерения.

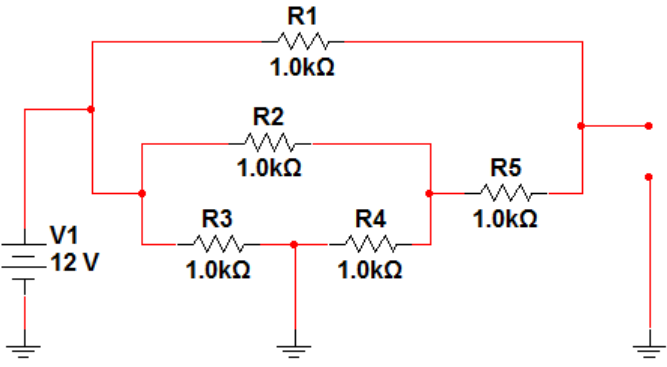
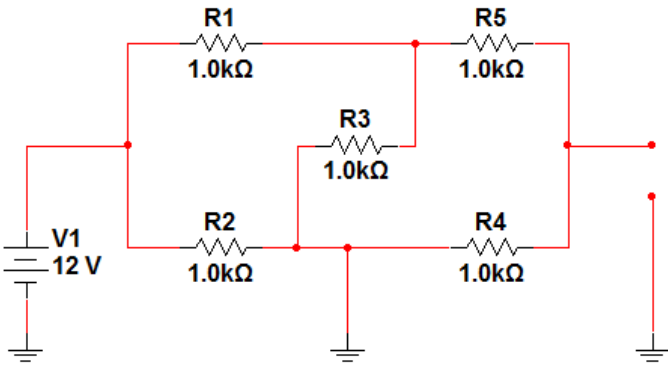
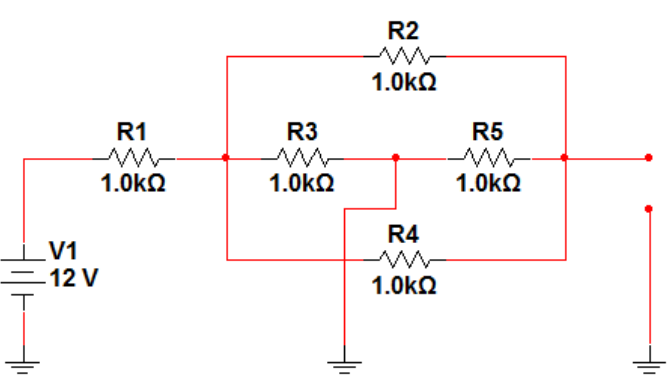
В отчете должны быть полученные значения напряжения и тока, а так же выведена общая формула, объясняющая показания напряжения на выходе.

Таблица 3.1.1.

Вариант №		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Значение	А	1	2	5	1	2	3	4	2	2	4
	В	5	1	1	4	4	4	3	3	3	5
Схема		4	3	2	1	4	3	2	1	4	3
Вариант №		11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Значение	А	3	5	1	2	2	3	2	1	4	2
	В	2	1	3	4	1	4	5	3	5	5
Схема		2	1	4	3	2	1	4	3	2	1

Таблица 3.1.2.

№	Схема
1	

2	
3	
4	

3.2. Задание 2.

Соберите схему на рабочем поле, согласно общей схеме для своего варианта и исследуемой схемы из таблицы 3.2.1 или 3.2.2.2 в зависимости от четности номера варианта.

3.2.1. Для нечетных вариантов с помощью осциллографа зарисовать и объяснить осциллограммы входного и выходного сигналов. Схема измерения представлена на рис. 3.1.

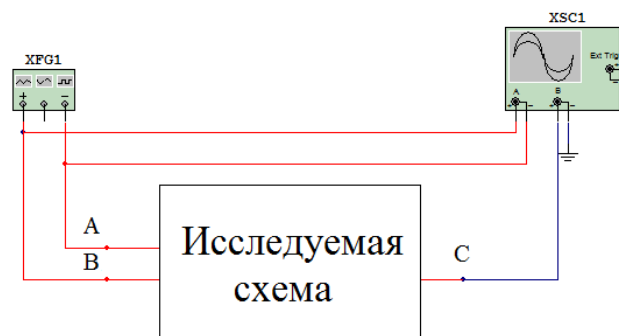
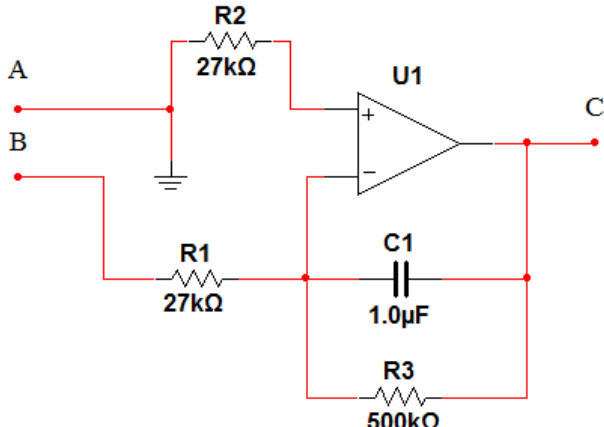
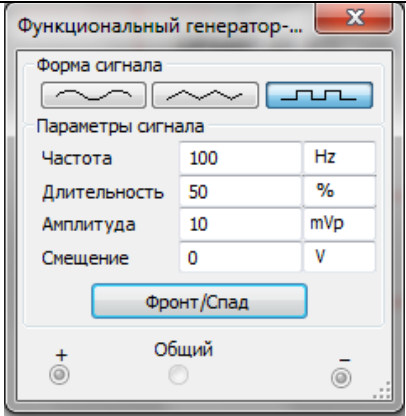
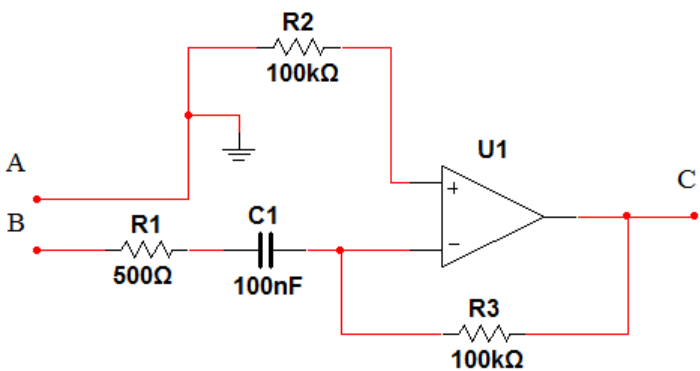
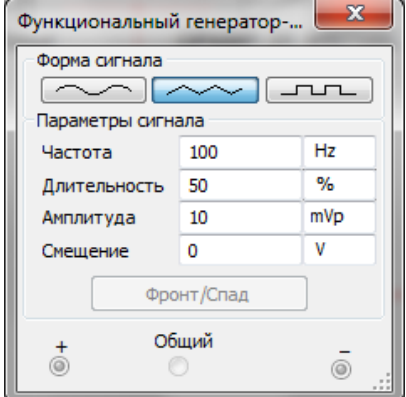
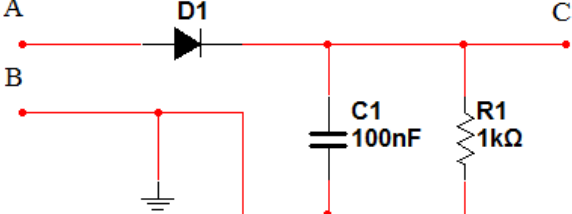
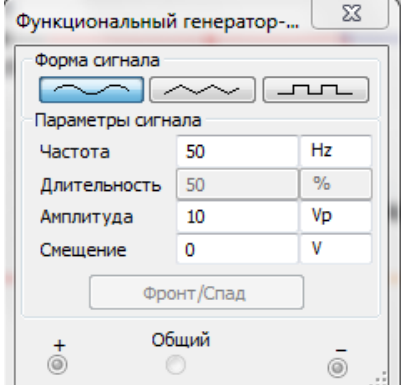
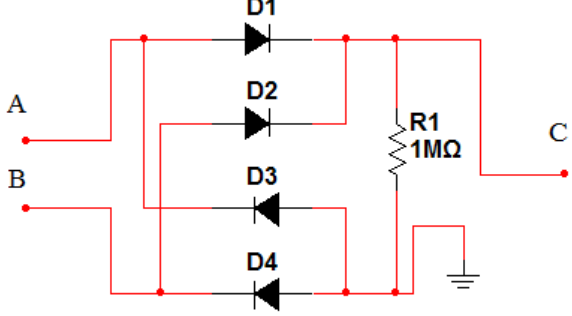
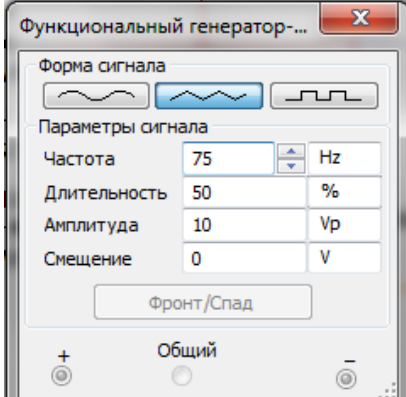
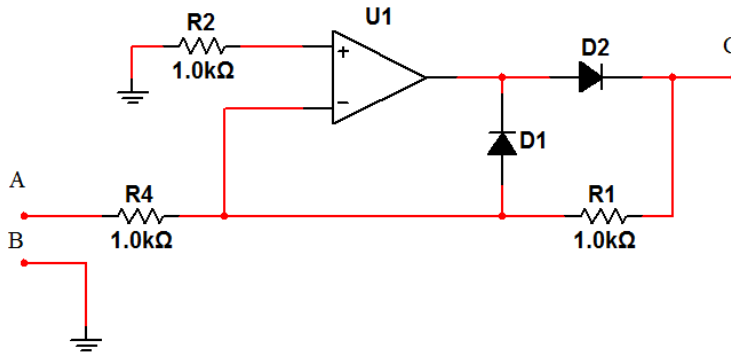
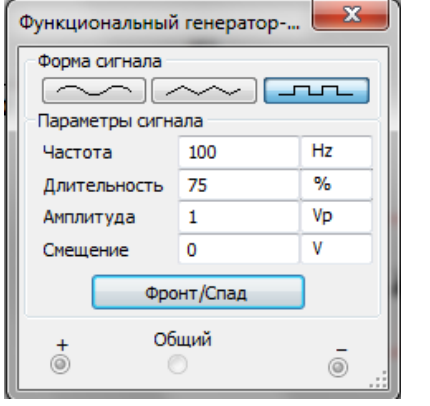
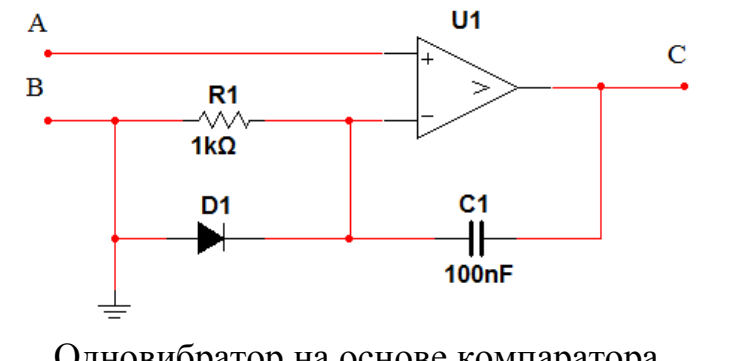
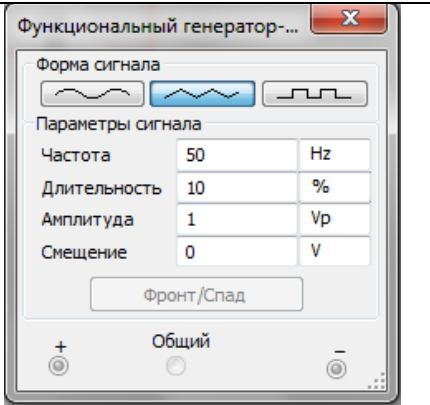
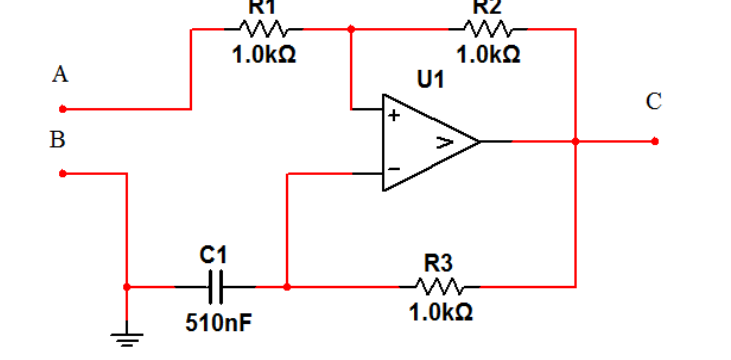
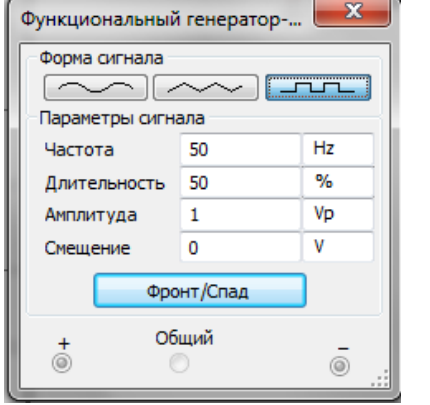
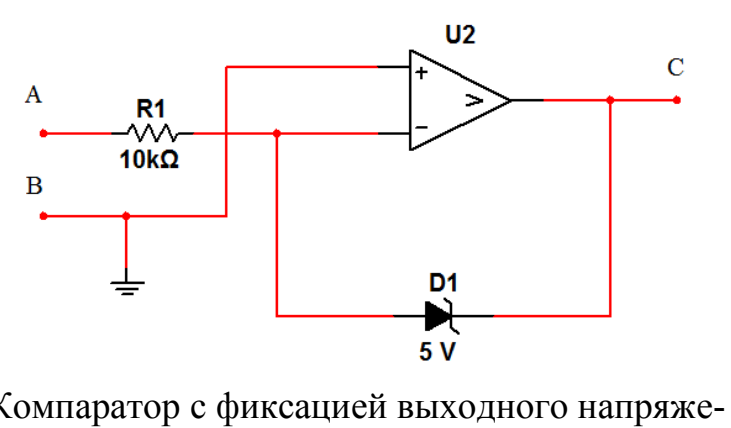
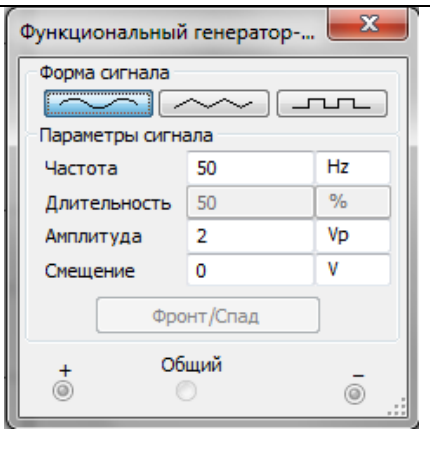
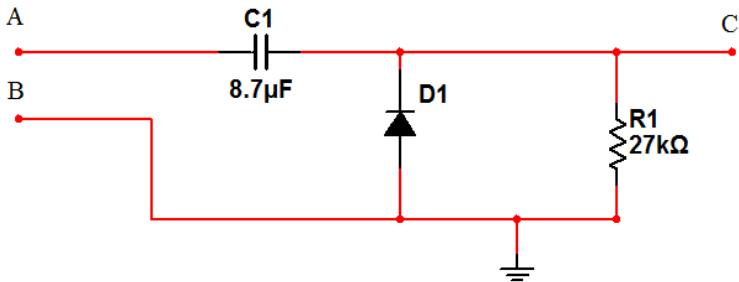
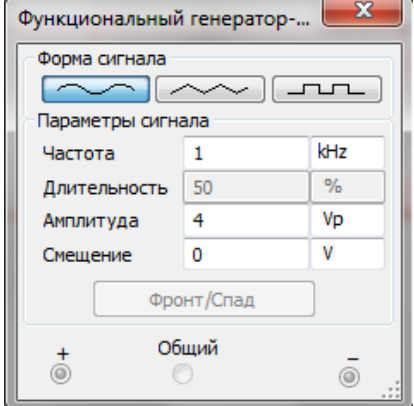
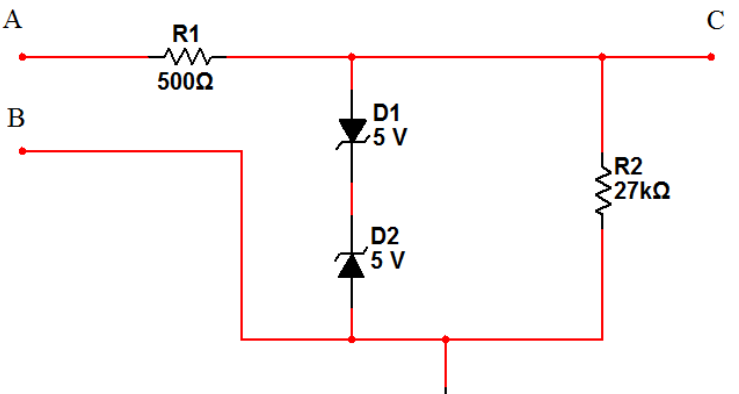
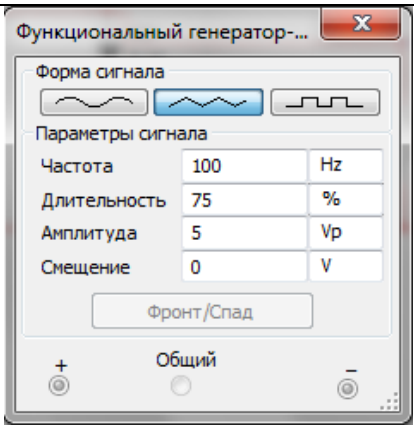


Рис. 3.1. Общая схема включения исследуемой схемы

Таблица 3.2.1. Индивидуальные задания для нечётных вариантов.

№	Исследуемая схема	Параметры генерируемого сигнала
1	 Интегрирующий усилитель	
3	 Дифференцирующий усилитель	
5	 Однополупериодный выпрямитель	
7	 Двухполупериодный выпрямитель (полный мост)	

9	 Кусочно-линейный преобразователь	
11	 Одновибратор на основе компаратора	
13	 Мультивибратор на основе компаратора	
15	 Компаратор с фиксацией выходного напряжения.	

17	 Положительный формирователь	
19	 Шунтирующий ограничитель на стабилитронах.	

3.2.2. Для чётных вариантов снять амплитудно-частотную характеристику (АЧХ) заданной схемы. Для этого собрать на рабочем столе схему измерений рис. 3.2. Установить вольтметр в режим измерения переменного напряжения (АС).

Установить амплитуду входного сигнала 10В. Снимать в диапазоне 50 ÷ 200000 Гц выходное напряжение.

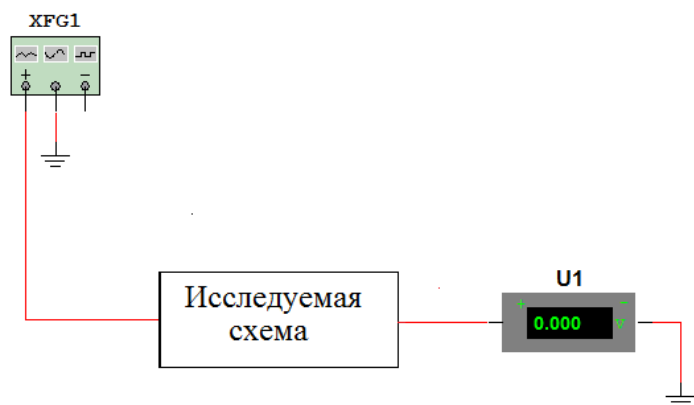
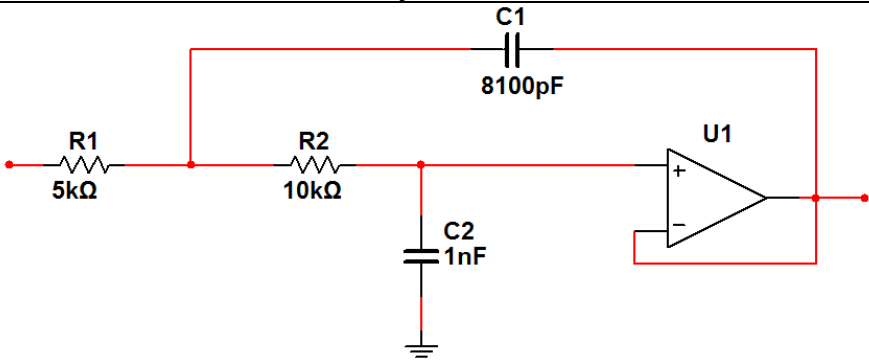
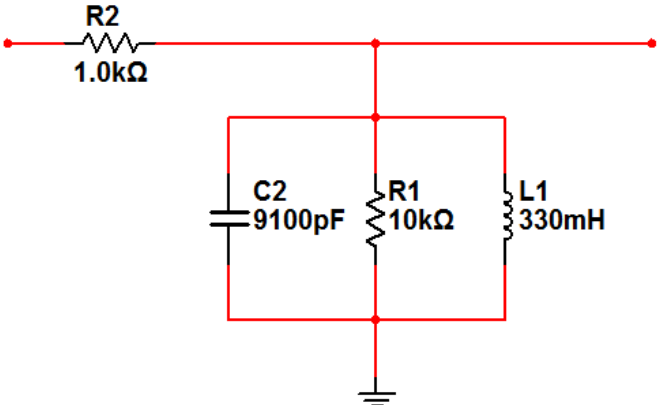
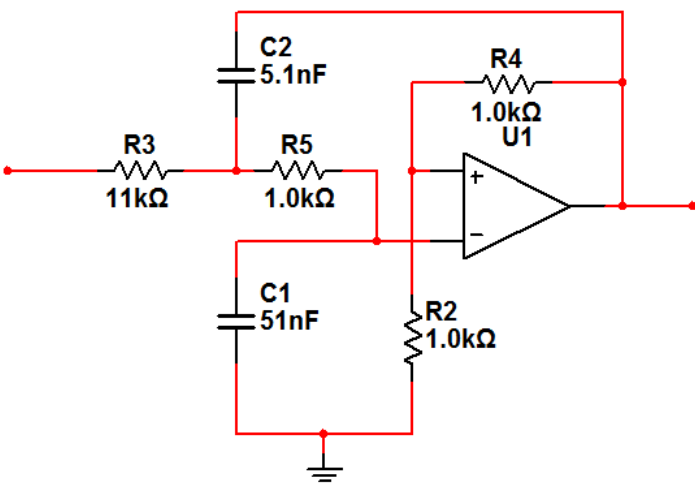
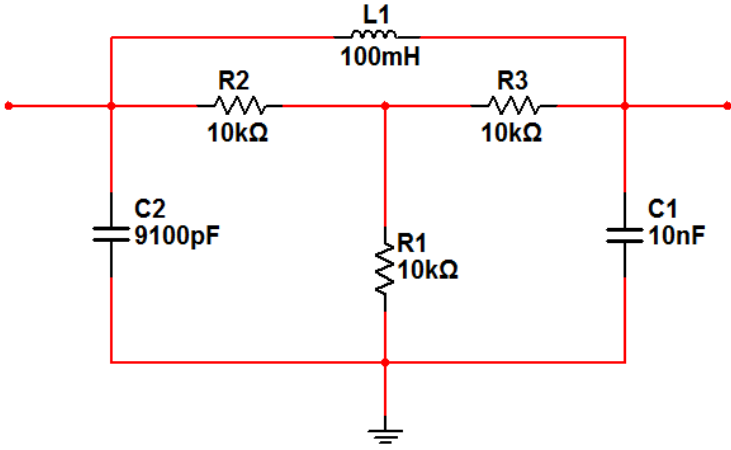
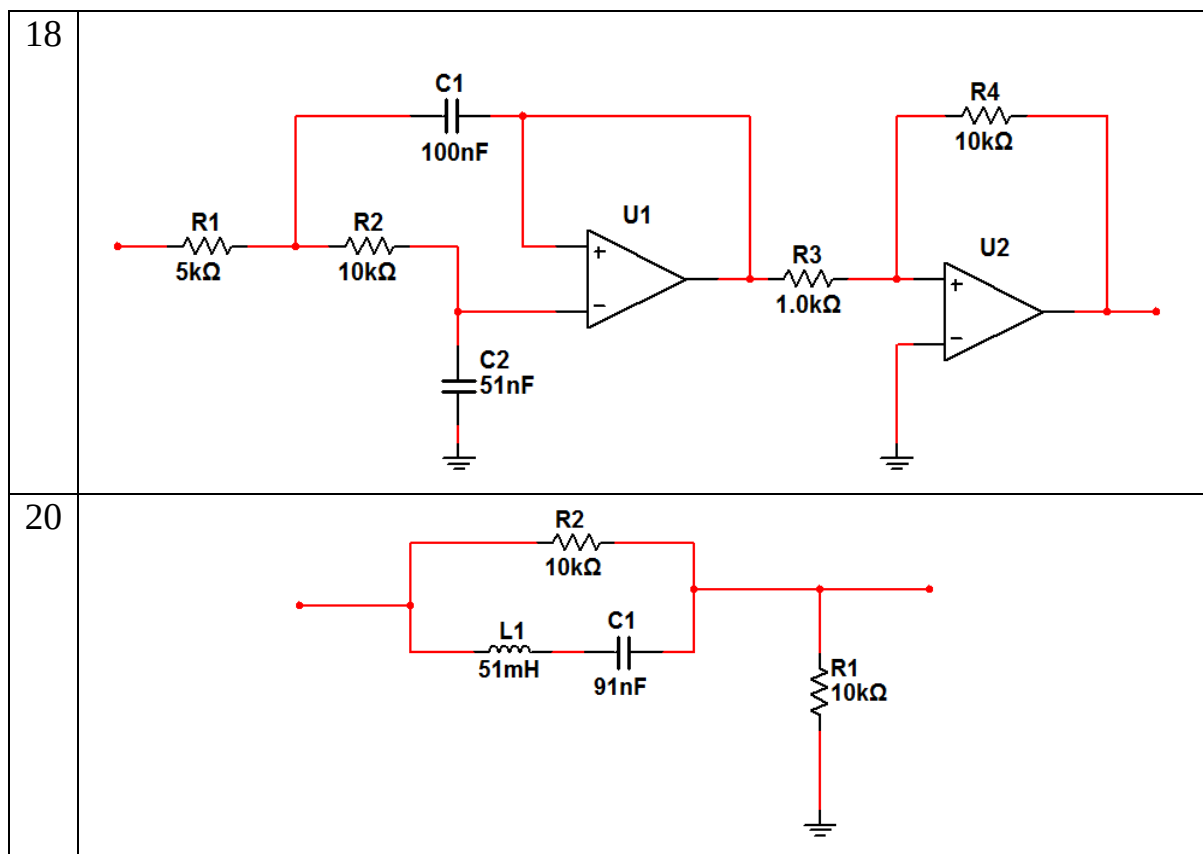


Рис. 3.2 Общая схема включения исследуемой схемы

Таблица 3.2.2. Индивидуальные задания для чётных вариантов.

№	Исследуемая схема
2	
4	
6	
8	

10	
12	
14	
16	



Данные измерений внести в таблицу 3.2.2.1.

Таблица 3.2.2.1

Результаты эксперимента								
f , кГц	0.05	0.1	0.2	.....	.....	....	.....	200
U_2								
K_U								

Примечание.

В схемах встречаются, как операционные усилители, так и компараторы. Их не следует путать. Тоже относится к диодам и стабилитронам.

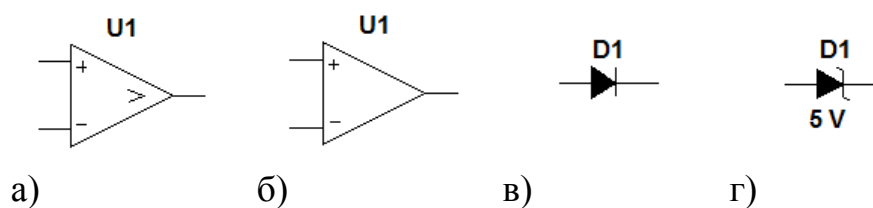


Рис. 3.3. Условное обозначение устройств в программе Multisim а) компаратора; б) операционного усилителя; в) диода; г) стабилитрона.

3. УКАЗАНИЯ К ОТЧЕТУ

Отчет должен содержать:

- 3.1. Заголовок: название работы, № группы, ФИО.
- 3.2. Названия заданий к экспериментальным исследованиям
- 3.3. Схемы исследуемых цепей.
- 3.4. Результаты экспериментальных измерений и теоретических расчетов. Временные диаграммы и графики, построенные по результатам измерений и расчетов.
- 3.5. Выводы и сопоставление результатов измерений и расчетов.

4. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Каким образом можно разместить необходимый компонент на рабочем поле?
2. Как задать его параметры элемента?
3. Каким образом можно подключить вывод компонента к проводнику?
4. Каким образом разорвать соединение?
5. Назовите элемент для образования в схеме узла соединения.
6. Как задать цвет проводника и сигнала.
7. Что такое подсхема, для чего она нужна, и как ее создать?
8. Как проводить анализ схемы?
9. Как осуществлять измерения с помощью осциллографа?
10. Как осуществлять измерения с помощью мультиметра?
11. Как осуществлять измерения с помощью амперметра?
12. Как осуществлять измерения с помощью вольтметра?
13. Как можно использовать функциональный генератор?

ЛИТЕРАТУРА

1. Карлащук В.И. Электронная лаборатория на IBM PC. Программа Electronics Workbench и ее применение. – М.: Изд. «Солон-Р», 2001. – 726 с.
2. Попов В.И. Основы теории цепей. – М.: Высшая школа, 2000. – 576 с.
3. Хернитер Марк Е. Multisim ® 7: Современная система компьютерного моделирования и анализа схем электронных устройств. (Пер. с англ.) / Пер. с англ. . Осипов А.И. . – М. : Издательский дом ДМК пресс, 2006. – 488 с.: ил.
4. Егоров Е.Н., Ремпен И.С. Применение программного прикладного пакета Multisim для моделирования радиофизических схем, 2008, 24с. - URL: <http://www.sgu.ru/files/nodes/30844/MULTISIM.pdf>
5. Ron Mancini, Op Amps For Everyone. - Издательство «Newnes», 2003. – 464 с.
6. Старцев С.А. Расчет линейных активных RC-цепей. Метод. указания. С.А. Старцев. Казань: – Казан. гос. энерг. ун-т, 2006. – 30 с.