

Лабораторная работа № 1
**Моделирование электронных схем в программе
Electronics Workbench**

Целью работы – знакомство со средой и изучение основных возможностей и правил работы в программе Electronics Workbench.

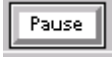
Рабочее задание

1 Экспериментальная часть

1.1 Запустить пакет Electronics Workbench, при этом на экране появляется изображение *монтажного стола* и ознакомиться с его содержимым:

– *рабочее поле* – большая центральная часть экрана, на которой размещаются компоненты схемы и измерительные приборы;

– *панели инструментов*, включающая в себя следующие разделы: **Sources, Basic, Diodes, Transistors, Analog Ics, Mixed Ics, Digital Ics, Logic Gates, Digital, Indicators, Controls, Miscellaneous, Instrument**, а также настраиваемую панель инструментов **Yavorites**. Для добавления в настраиваемую панель требуемого элемента надо щёлкнуть по его изображению на соответствующей панели правой кнопкой мыши и выбрать в появившемся контекстном меню команду **Add to Yavorites**. Чтобы убрать элемент с панели **Yavorites**, необходимо щёлкнуть по его изображению на панели **Yavorites** правой кнопкой мыши и выбрать в появившемся контекстном меню команду **Remove Yrom Yavorites**;

– клавиши *включения питания*  и *паузы* , расположенные в правом верхнем углу экрана, с помощью которых запускается или временно приостанавливается процесс моделирования. Для остановки процесса моделирования или прекращения паузы необходимо повторно нажать соответствующую клавишу.

1.2 Ознакомиться с опциями разделов *Горизонтального меню*:

Yile – организация работы с файлами (открытие, создание, распечатка файлов и т.п.);

Edit – опции раздела позволяют вырезать и копировать, выделенный фрагмент схемы перемещать элементы или блоки схемы. Опция **Copy as Bitmap** позволяет копировать выделенный фрагмент схемы в буфер обмена, откуда его можно вставить в другое приложение, например в Word, при составлении отчета о лабораторной работе;

Circuit – раздел, позволяющий вращать, менять свойства, приближать и отдалять элементы схемы. Кроме того возможна настройка визуальных параметров схемы (расположение и ориентация элементов схемы, настройка цветов и шрифта, поиск и другие стандартные функции);

Analysis – раздел позволяет запускать, приостанавливать и завершать анализ схемы, а также устанавливать различные опции анализа;

Window – раздел предназначен для экранных настроек при работе с документами;

Help – раздел служит для доступа к справочной системе Electronics Workbench.

1.3 Создать новый документ в формате *.ewb, выполнив операцию из меню: **File/New**, и сохранить его на диске, выполнив операцию из меню: **File/Save as...** и указав имя файла и папку, в которой будет храниться схема.

1.4 Смоделировать электрическую цепь (рисунок 1) на рабочем поле Electronics Workbench. Для этого последовательно выбрать соответствующий раздел на панели инструментов и перенести требуемые элементы на рабочее поле, щёлкнув мышью на нужном элементе и, не отпуская кнопки, перенести его в нужное место схемы. Повернуть элементы схемы, если их расположение по умолчанию вас не устраивает.

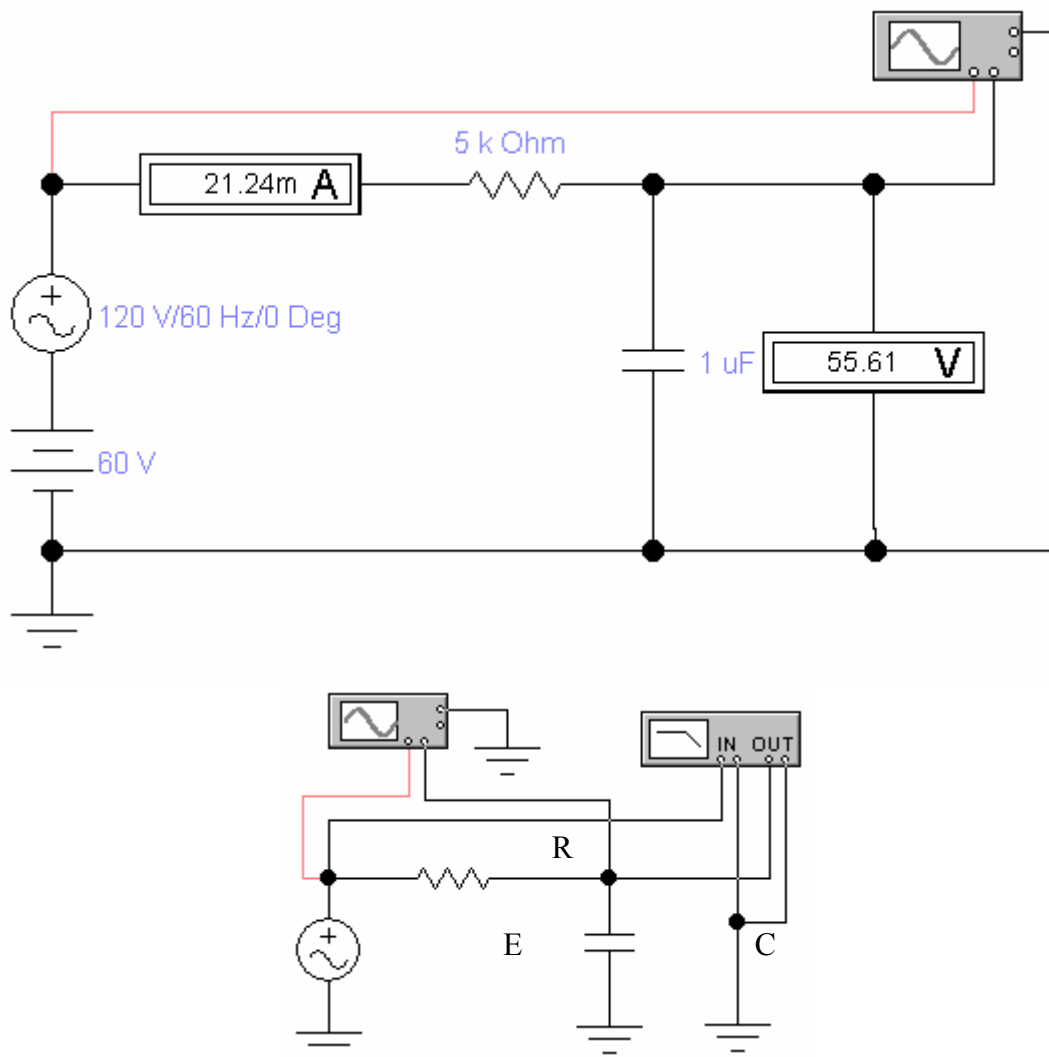


Рисунок 1

1.5 Соединить контакты элементов для получения необходимой вам схемы, щелкнув по одному из контактов первого элемента левой кнопкой мыши так, чтобы появилась чёрная точка контакта и, не отпуская клавишу, довести курсор до требуемого контакта второго элемента. При появлении точки контакта у вывода другого элемента отпустить кнопку мыши. Убедитесь, что проводник появился.

В случае необходимости можно добавить дополнительные узлы (разветвления). Для этого надо просто перетащить элемент  с панели на место проводника, где надо его разветвить. Соединители могут появляться и автоматически при наведении второго конца проводника на уже существующий проводник. При этом необходимо помнить, что каждый соединитель имеет лишь четыре точки подключения – справа, сверху, слева и снизу. Если подсоединить проводник к уже занятой точке соединителя и отпустить правую клавишу мыши, то существующий проводник пропадет.

Проводники можно выполнить линиями разного цвета, выполнив двойной щелчок на изображении проводника и выбрав нужный цвет из палитры. Если данным проводником к контрольной точке подключается вход виртуального осциллографа, то этим же цветом будет окрашена соответствующая осциллограмма на экране прибора.

Если необходимо удалить проводник, то следует указать вывод компонента, куда подключен этот проводник, так, чтобы этот вывод выделился, и, нажав левую клавишу мыши, перенести проводник от вывода, а затем отпустить клавишу. Кроме того, для того чтобы убрать проводник, элемент или прибор с рабочего поля необходимо выделить его и нажать на клавишу **Del** на клавиатуре. При этом вместе с выбранным объектом пропадут и все линии связи, подключенные к этому объекту.

Линия связи может получиться неровной из-за неточного взаимного позиционирования элементов и приборов по горизонтали и вертикали. Для ее выравнивания можно выделить объект и переместить с помощью мыши методом перетаскивания или с помощью клавиш управления курсором.

1.6 Установить необходимые номиналы и свойства каждому элементу, дважды щелкнув мышью по нему. В результате появится окно свойств элемента (рисунок 2), в разделе **Value** которого необходимо установить требуемое значение параметра элемента, а в разделе **Label** можно задавать позиционные обозначения элемента.

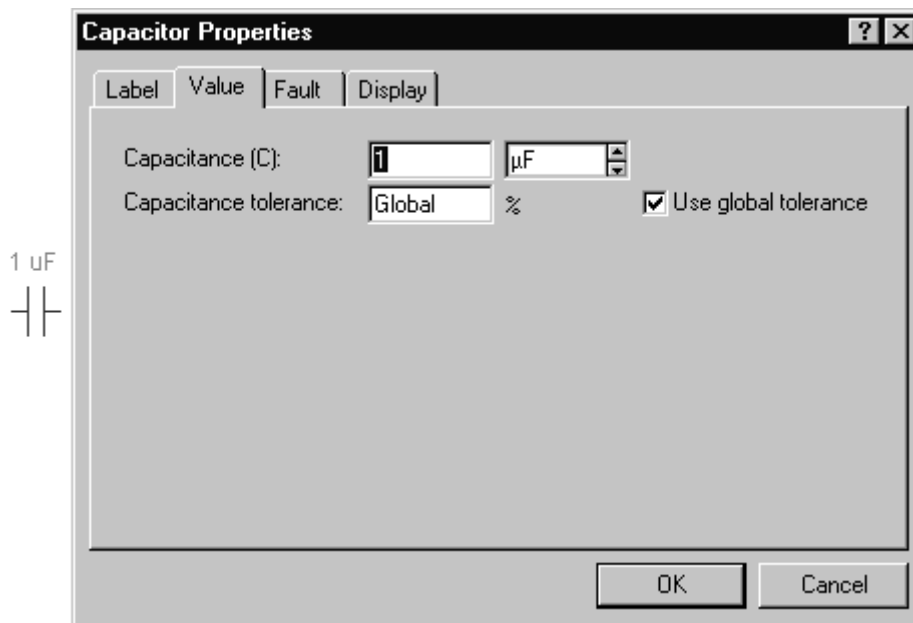


Рисунок 2

1.7 Подключить к схеме амперметр  и вольтметр , выбрав их с панели инструментов **Indicators** (количество амперметров и вольтметров на этой панели не ограничено). При необходимости их можно повернуть также как и другие элементы. По умолчанию они вставляются в схему в режиме измерения на постоянном токе. Для выбора требуемых настроек амперметра и вольтметра, необходимо дважды щелкнуть по нему мышью и в появившемся окне свойств установить требуемый режим измерения Mode (DC – постоянный ток и AC – переменный ток).

1.8 Добавить в схему осциллограф с панели приборов. Каждый из приборов имеется на панели в единственном экземпляре, поэтому при перетаскивании его на рабочее поле место на панели остается свободным. Подключить входные зажимы канала А и В осциллографа к контрольным точкам схемы аналогично остальным соединениям в схеме. Назначить красный цвет одному из проводников, подключенных к его входу.

Клемму заземления (**GROUND**) осциллографа соединить с шиной нулевого потенциала, а входной зажим запуска развертки (**TRIGGER**) осциллографа не использовать.

1.9 Запустить процесс моделирования, путем нажатия на кнопку включения питания на панели инструментов. Через несколько секунд остановить процесс моделирования.

Если в схеме допущена серьезная ошибка (замыкание элемента питания накоротко, отсутствие нулевого потенциала в схеме), то будет выдано соответствующее предупреждение.

1.10 Развернуть изображение элемента осциллографа двойным нажатием клавиши мыши по нему. Посмотреть результаты моделирования на экране осциллографа (рисунок 3), предварительно выполнив его настройку.

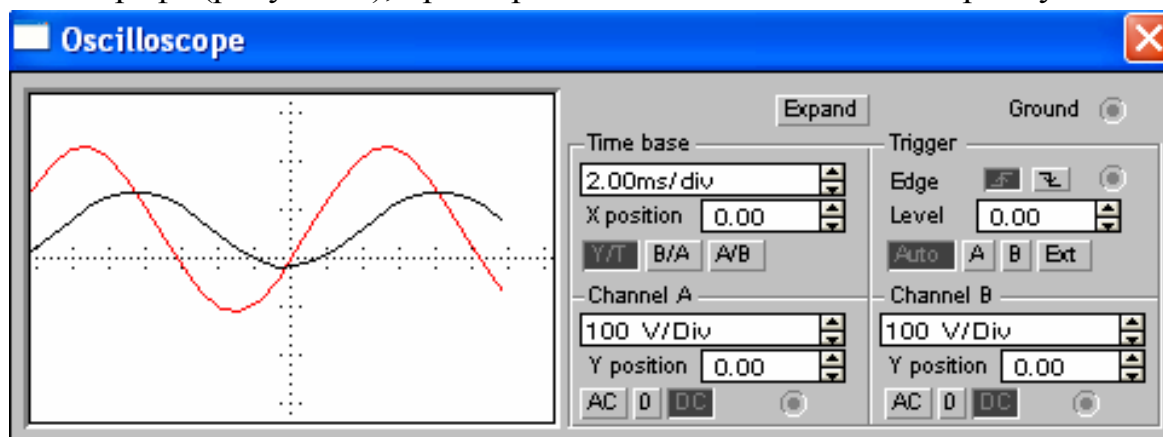


Рисунок 3

1.10.1 Щелчком левой клавиши мыши выбрать режим работы осциллографа **Y/T** при котором по оси X откладывается время, а по оси Y – напряжения сигналов A и B. В режимах работы **B/A** и **A/B** по оси X откладываются напряжения сигналов A и B соответственно, а по оси Y – напряжения сигналов B и A.

1.10.2 Подобрать подходящую развертку осциллографа (масштаб по оси X) с помощью счетчика  сбоку от поля текущего масштаба **Time base**. Скорость развертки можно изменять от 0,1 нс до 1 с на одно деление шкалы.

1.10.3 Подобрать подходящий масштаб по оси Y для каждого канала отдельно с помощью счетчика  сбоку от поля текущего масштаба, который может меняться от 10 мкВ/дел до 5 КВ/дел.

1.10.4 Ознакомиться с возможностью смещения начальной точки развертки по осям X и Y, учитывая то, что смещение по оси X определяется полосой прокрутки **X position** для обоих каналов одновременно. Если **X position** установлено 0.00, то развертка начинается от начала экрана осциллографа, положительное ненулевое значение X POS сдвигает начало развертки вправо, а отрицательное – влево. Смещение сигналов по оси Y задается органами **Y position** обоих каналов в пределах от -3 до 3 делений и используется для того, чтобы раздвинуть по вертикали изображения сигналов A и B. В режимах **B/A** и **A/B** шкала по оси X определяется установленным масштабом по каналу A и B соответственно.

1.10.5 Скопировать с помощью команды **Edit/Copy as Bitmap** изображение осциллографа в буфер обмена, а затем вставьте его в отчет о выполнении работы. Обратите внимание, что данная осциллограмма получена при подаче входных сигналов в каналы A и B через открытые для постоянной составляющей входы в режиме **DC** (Direct Current – постоянный ток). Т.е., на экране осциллографа показан сигнал с учетом его постоянной составляющей.

1.10.6 Получите и скопируйте в отчет осциллограммы при подаче входных сигналов в каналы А и В через закрытые для постоянной составляющей входы в режиме **АС** (Alternating Current – переменный ток). Данный режим эквивалентен подаче сигнала на вход канала через конденсатор большой емкости; Следует иметь в виду, что схемное подключение разделительного конденсатора между контрольной точкой и входом осциллографа является некорректным, так как конденсатор воспринимается программой как компонент с неподключенным выводом.

1.10.7 Установите один из каналов осциллографа в режиме работы **0** (нуль), при котором заземляется вход канала. Этот режим используется для коррекции положения луча на экране осциллографа в отсутствии входного сигнала. Скопируйте в отчет полученные осциллограммы.

1.10.8 Определите по положению ручек в блоке **Trigger** какой режим горизонтальной развертки по умолчанию установлен для осциллографа. В виртуальном осциллографе предусмотрено четыре режима горизонтальной развертки: **Auto** – автоматический запуск; **A, B** – запуск от входных сигналов А и В соответственно; **Ext** – запуск от внешнего сигнала, подаваемого на зажим **Trigger**. Кнопки **Edge** (фронт)  устанавливают запуск развертки соответственно по фронту и спаду запускающего сигнала. Полоса прокрутки **Level** (уровень) определяет пороговое напряжение, превышение которого приводит к запуску развертки.

1.10.9 Нажмите на кнопку **Expand** осциллографа. При этом появится его развернутое изображение с дополнительными инструментами (рисунок 4). С помощью ползунка выберите нужный участок осциллограммы.

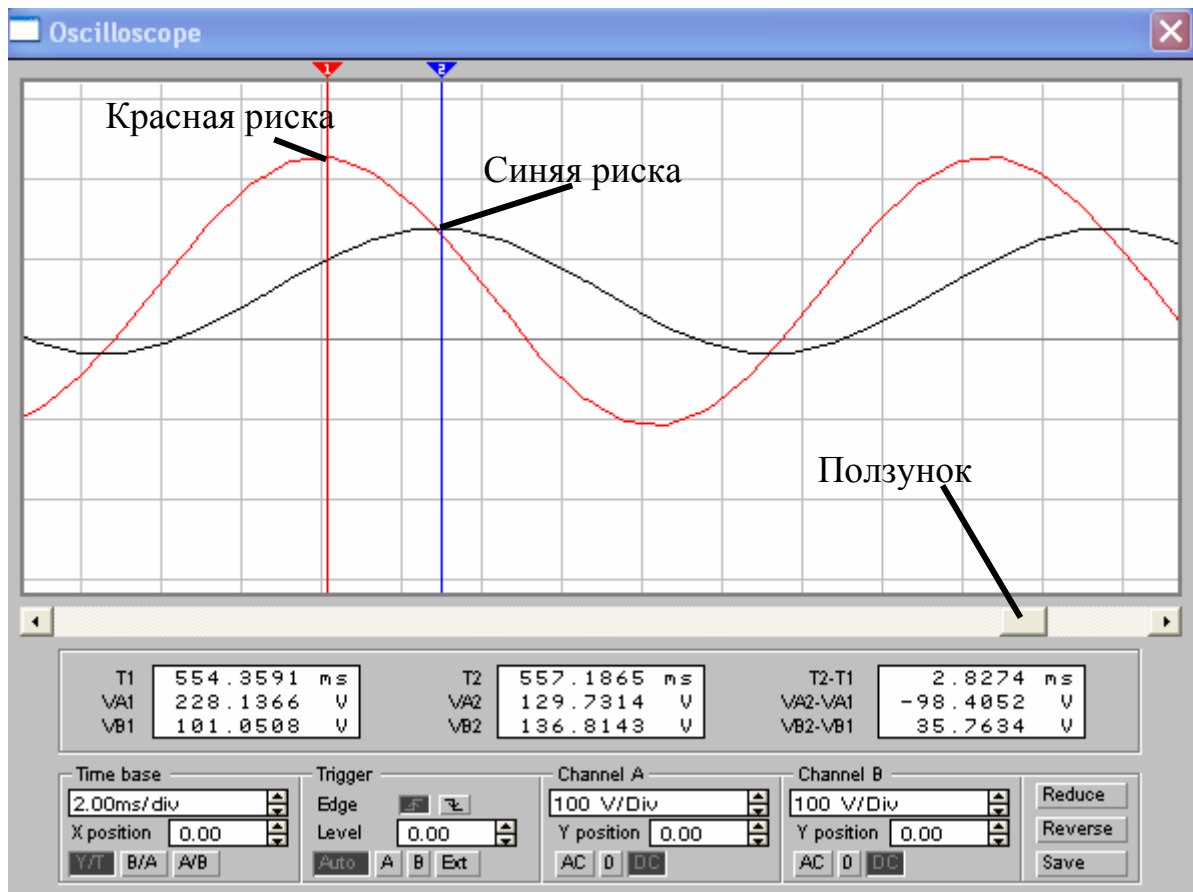


Рисунок 4

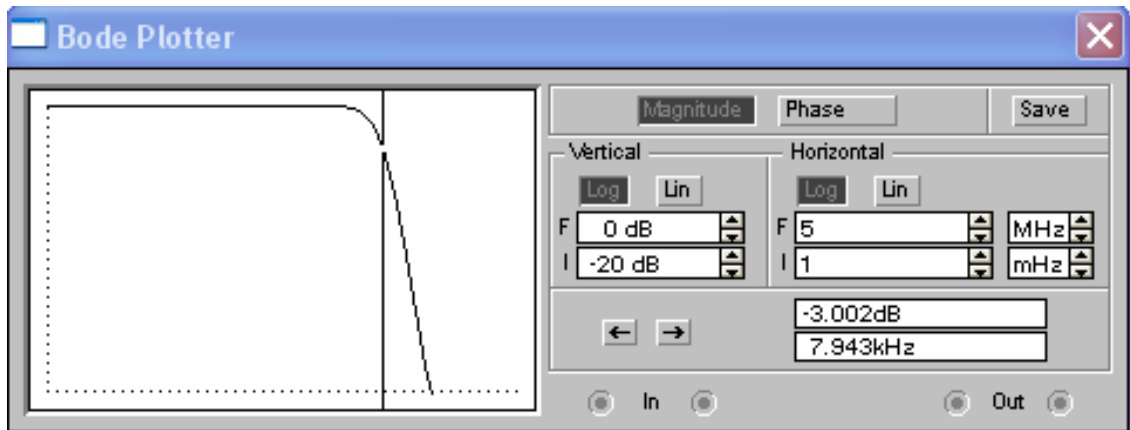
Перетащите с помощью левой клавиши мыши красную риску к точке, соответствующей амплитудному значению красной осциллограммы, а синюю риску – к точке, соответствующей амплитудному значению черной осциллограммы. Скопируйте в отчет изображение осциллографа и определите мгновенные значения его входных сигналов с помощью цифровых индикаторов.

1.10.10 Нажмите клавишу **Reduce** осциллографа и посмотрите как при этом изменится внешний вид осциллографа.

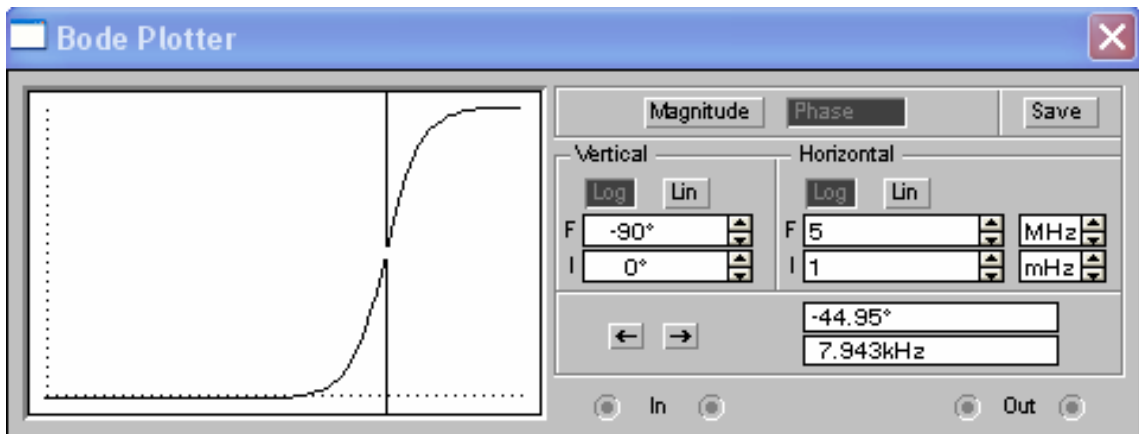
1.10.11 Развернуть изображение измерителя АЧХ и ФЧХ (Bode Plotter – построитель диаграмм Боде) двойным нажатием клавиши мыши по нему. Bode plotter генерирует гармоническое напряжение с линейно изменяющейся частотой на своем зажиме **IN** и измеряет отношение напряжений на подключенных к схеме зажимах **OUT** (Выход) и **IN** (Вход) режиме **Magnitude** (рисунок 5, а), или же разность их фаз в режиме **Phase** (рисунок 5,б). Частоты всех источников переменного тока в исследуемой схеме в процессе расчета игнорируются, однако схема должна включать хотя бы один такой источник.

1.10.12 Выполнить настройку Bode Plotter, установив логарифмический масштаб по горизонтали (**Horizontal**) и вертикали (**Vertical**), а также требуемый диапазон исследуемых частот и параметры выходных величин. Шкалы осей задаются начальными (**I**) и конечными (**F**) значениями величин. По оси

X всегда откладывается частота в Гц в десятичном или логарифмическом масштабах, а по оси Y откладывается безразмерная величина (LIN) или децибеллы (LOG) для отношения напряжений и градусы для разности фаз.



а



б

Рисунок 5

1.10.13 Для точного отсчета результата измерений можно использовать визирную линию, управляя её позицией с помощью кнопок с изображениями горизонтальных стрелок «←», «→» в нижней части лицевой панели Bode Plotter. Визирную линию можно также перемещать с помощью мыши, для чего визир (в виде крестика в левом нижнем углу экрана прибора) следует перетащить в нужную точку на графике АЧХ или ФЧХ. Отсчет измеряемой величины появляется на цифровом табло в нижней правой части прибора.

Определить с помощью визирной линии Bode Plotter точные значения граничной частоты $f_{гр}$ для исследуемой схемы на уровне 3 дБ и фазового сдвига φ в градусах между входным и выходным напряжениями для полученного значения $f_{гр}$. Скопировать с помощью команды **Edit/Copy as Bitmap** соответствующие изображения Bode Plotter в буфер обмена, а затем вставить их в отчет о выполнении лабораторной работы.

1.11 Смоделировать электрическую цепь (рисунок 6) на рабочем поле Electronics Workbench. Двойным щелчком развернуть изображения функцио-

нального генератора, генератора двоичных слов Word Generation и логического анализатора Logic Analyzer.

1.11.1 Ознакомиться с возможностями *функционального генератора* (рисунок 7), который является источником напряжения специальной формы. Генератор способен вырабатывать напряжение синусоидальной, прямоугольной и треугольной формы. Форма сигнала задается клавишами верхнего ряда. Включить генератор в режиме генерации напряжение прямоугольной формы.

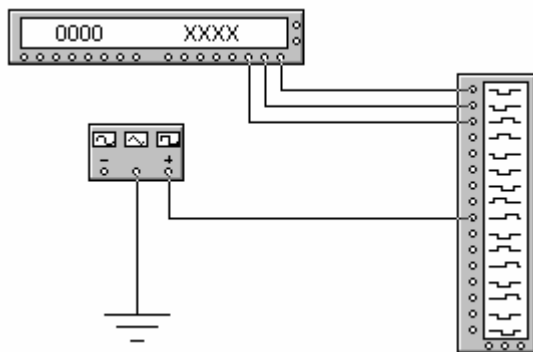


Рисунок 6

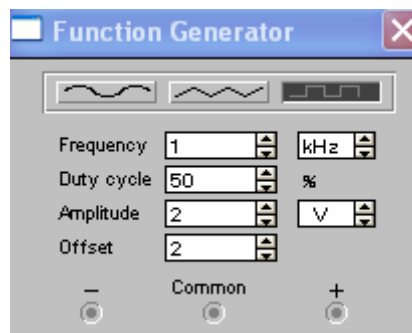


Рисунок 7

Частота сигналов **Frequency**, коэффициент заполнения **Duty cycle**, амплитуда **Amplitude** и смещение **Offset** базовой линии (постоянной составляющей напряжения) устанавливаются либо непосредственным вводом с клавиатуры в соответствующее окно либо с помощью соответствующей счетчика.

При этом частота выходных сигналов генератора может устанавливаться в пределах от 0,1 Гц (Hz) до 999 МГц.

Коэффициент заполнения задает для прямоугольного сигнала отношение в % длительности импульса с высоким рабочим уровнем к периоду, а для треугольного сигнала – отношение длительности положительного линейно нарастающего фронта к периоду. Коэффициент заполнения 50% соответствует симметричной форме сигнала. Форма синусоидального сигнала не изменяется с изменением данного коэффициента.

Амплитуда задает максимальное значение выходного напряжения, отсчитываемое от базовой линии (смещения по постоянному току) в предположении, что выходной сигнал снимается между зажимов **COM** (Общий) и «+» (или **COM** и «-»). Если выходной сигнал снимается с зажимов «+» и «-», то амплитуда удваивается. Амплитуда задается в диапазоне от 1 μ V до 999 KV.

Смещение задает величину постоянного смещения выходного сигнала в пределах от -999 KV до +999 KV.

Режим источника напряжения, реализуемый функциональным генератором, предполагает, что генерируемый сигнал свободен от искажений, шумов и пульсаций, свойственных реальным генераторам с реальной нагрузкой.

Параметры генерируемого сигнала в режиме источника напряжения не зависят от величины подключенной нагрузки. Один из выходных зажимов генератора обычно подключается к земле.

Установите те же настройки для функционального генератора, как показано на рисунке 6.

1.11.2 Ознакомьтесь с возможностями *генератора двоичных слов (Word generator)* (рисунок 8), который предназначен для формирования последовательностей цифровых сигналов. Необходимая последовательность задается в виде списка 4-разрядных шестнадцатеричных слов.

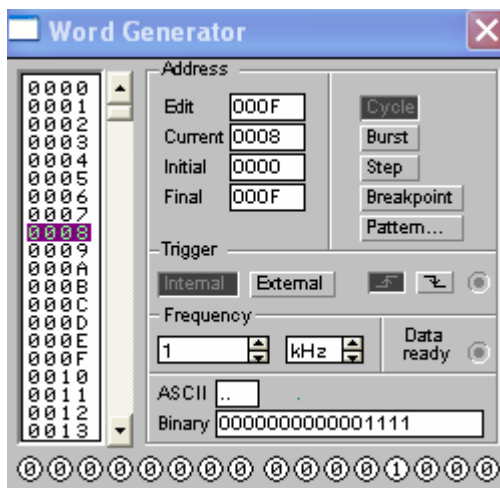


Рисунок 8

На левой стороне панели генератора последовательности отображен столбец строк 4-символьных шестнадцатеричных чисел, значения которых расположены в диапазоне от 0000 до 03FF (от 0 до 1023, в десятичном виде). Каждая строка представляет собой двоичное 16-разрядное слово. Когда генератор слова активизирован, строки битов посылаются в параллельном виде на соответствующие клеммы внизу прибора.

Изменение значений бит в генераторе может осуществляться путем:

- изменения двоичного 16-разрядного числа в поле **Binary** (изменение числа в поле Binary сразу же меняет значение 16-ричного числа в левом столбце в строке, номер которой указан в поле **Edit**);
- изменения 4-разрядного шестнадцатеричного числа непосредственно в столбце задаваемой последовательности (используйте полосу прокрутки, клавиши управления курсором, PageUp, PageDown);
- ввода двух символов ASCII в поле, помеченное **ASCII** (ввод символов в поле ASCII сразу же меняет значение 16-ричного числа в левом столбце в строке, номер которой указан в поле **Edit**, код одного символа занимает 8 бит).

По мере вывода генератором очередного слова заданной последовательности, значение каждого бита появляется в кружках, представляющих клеммы вывода внизу прибора.

Клавиша **Pattern** (Шаблон), вызывает диалог создания, сохранения и многократного использования образцов последовательностей (рисунок 9). В этом окне можно установить следующие режимы:

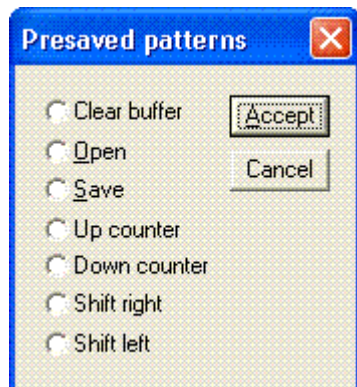


Рисунок 9

Clear buffer – очистка столбца последовательности; **Open** – ввод сохраненной последовательности из файла; **Save** – запись текущей последовательности в файл; **Up counter** – создание последовательности от 0000 счетом вверх (0000, 0001, 0002 и т.д.); **Down counter** – создание последовательности от 03FF счетом вниз (03FF, 03FE, 03FD и т.д.); **Shift right** – бегущая 1 вправо (8000, 4000, 2000, 1000, 0800, 0400 и т.д.); **Shift left** – бегущая 1 влево (1000, 2000, 4000, 8000, 0001, 0002 и т.д.).

Выберите радиокнопкой режим **Up counter** и нажмите клавишу **Accept** (Применить).

1.11.3 Генератор имеет три режима формирования последовательностей импульсов: пошаговый режим (**Step**), построчный режим (**Burst**) и циклический режим (**Cycle**). При этом текущее слово появляется в поле **Current**.

Пошаговый режим работы (**Step**) необходим при отладке цифровых схем и позволяет выполнять заданные последовательности сигналов с остановкой после каждого такта.

Построчный режим работы (**Burst**) предназначен для формирования заданных цифровых последовательностей с остановкой после завершения строки последовательности, т.е. после завершения кодовой последовательности. Этот режим используется для однократного выполнения последовательности цифровых сигналов.

Циклический режим работы (**Cycle**) используется для непрерывного повторения последовательностей цифровых сигналов. Данный режим полезен при наблюдении динамики работы цифровых автоматов. (Остановка осуществляется повторным нажатием **Cycle** или нажатием клавиш **Ctrl + T**).

Выберите циклический режим работы генератора слов.

1.11.4 Использование контрольной точки позволяет приостановить или перезапустить поток слов в указанном месте. Чтобы вставить контрольную точку, выберите слово в окне прокрутки, там, где Вы хотите, чтобы вывод остановился, затем нажмите **Breakpoint**. Чтобы удалить контрольную точку, нажмите на существующую контрольную точку в окне прокрутки, затем нажмите **Breakpoint**. Может использоваться больше одной контрольной точки. Контрольные точки работают и в режиме **Burst**, и в режиме **Cycle**.

Выберите контрольную точку, соответствующую коду **0008**.

1.11.5 Каждое слово в окне прокрутки генератора имеет адрес, определяемый как 4-символьный шестнадцатеричный номер. Когда слово в поле изменяется, его адрес появляется в окне **Edit**. По мере вывода генератором слов в схему, адрес каждого слова появляется в поле **Current**.

Чтобы создать подмножество слов, которые нужно вывести, введите начальный и конечный адреса слов в полях **Initial** и **Final**.

Введите значение для финального адреса, равное **000F**.

1.11.6 В секции **Trigger** генератора клавиша **Internal** определяет режим синхронизации вывода слов последовательности от внутреннего тактового генератора, а клавиша **External** – режим синхронизации от внешнего сигнала, клемма для подключения которого находится в этой же секции.

Кнопки   устанавливают синхронизацию соответственно по фронту и спаду запускающего сигнала.

Установите режим внутренней синхронизации генератора.

1.11.7 На выходе **Data Ready** генератора появляется единичный сигнал после формирования им очередного слова.

1.11.8 Тактовая частота генератора слов может быть установлена в Гц, кГц или МГц. Каждое слово будет находиться на выходе генератора на протяжении одного периода тактового генератора.

Установите тактовую частоту генератора слов равной 1 кГц.

1.11.9 Ознакомьтесь с возможностями *логического анализатора* (рисунок 10), который используется для наглядного представления и измерения параметров сигнала. Он имеет 16 каналов, которые находятся слева на панели, и может развертывать во времени одновременно до 16 последовательностей прямоугольных логических сигналов.

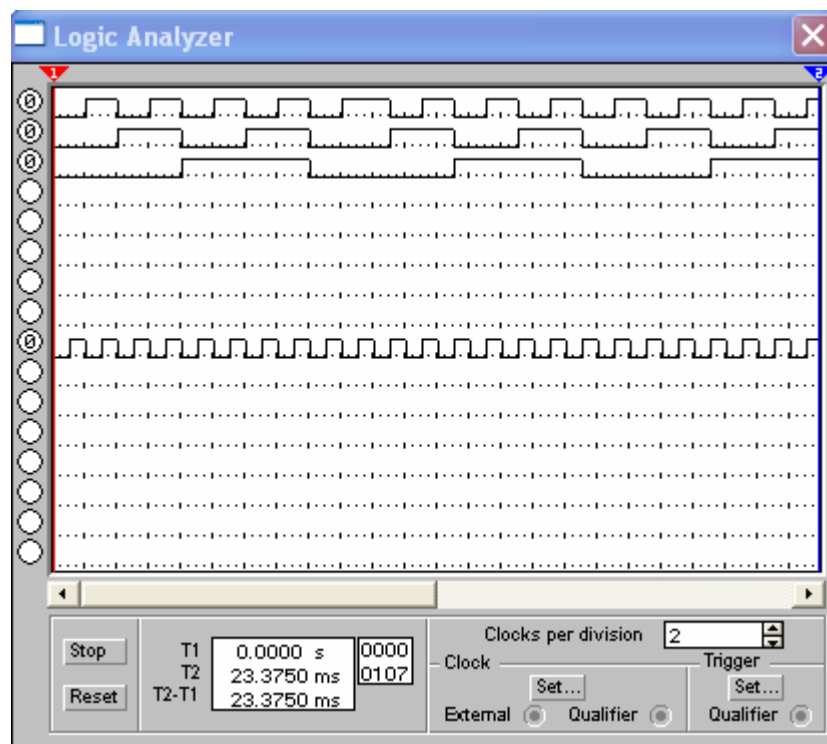


Рисунок 10

Левая половина открытого окна логического анализатора отображает состояние (высокое или низкое) входных сигналов по каждому входному каналу.

1.11.10 В секции **Clock** логического анализатора клавиша **Set** вызывает окно **Clock setup**, в котором можно выбрать тип синхронизации: от внутреннего тактового генератора (**Internal**) или от внешнего сигнала (**External**), клемма для подключения которого находится в этой же секции. Кроме того в разделе **Clock edge** можно выбрать по какому фронту будет выполняться синхронизация: по переднему **Positiv** или по заднему **Negativ**. В разделе **Internal clock rate** задается частота внутреннего тактового генератора.

Установите режим внутренней синхронизации генератора по переднему фронту с частотой 2 кГц.

В секции **Trigger** логического анализатора клавиша **Set** вызывает окно **Trigger patterns**, в котором определяет начало запуска развертки от момента поступления на входы анализатора сигналов, соответствующих наложенной маске. Маска имеет 16 разрядов (по количеству входов) и может состоять из символов “1”, “0” и “x”. Символы “1” и “0” указывают на содержимое входа, необходимое для появления информации на экране. Символы “x” предназначены для маскирования входов анализатора, для которых все равно какая информация на входе “0” или “1”. Маска сигналов по умолчанию имеет значение xxxxxxxxxxxxxxxxx.

Маска может быть задана для трех кодовых комбинаций **A**, **B** или **C**, между которыми дополнительно может быть заданна одна из восьми логиче-

ской функции из списка **Trigger combination**.

Установить для всех кодовых комбинаций **A, B, C** значения **X**. Выбрать в текстовом окне со списком **Trigger combination** логическую функцию **A**, а в текстовом окне со списком **Trigger qualifier** – значение **X**.

1.11.11 Запустить процесс моделирования, путем нажатия на кнопку включения питания на панели инструментов.

Скопируйте в отчет изображение логического анализатора.

2 Обработка экспериментальных данных

2.1 Составить отчет о выполнении лабораторной работы. Включить в отчет экспериментальные схемы.

2.2 Сравнить осциллограммы, полученные в п.п. 1.10.5-1.10.7, и сделайте выводы.

2.3 Определить мгновенные значения входных сигналов осциллографа, полученные при выполнении п. 1.10.9 по состоянию цифровых индикаторов осциллографа.

2.4 Проанализировать временные диаграммы, полученные в п. 1.11.11 с помощью логического анализатора и сделайте выводы.

Контрольные вопросы

1. Какие зоны можно выделить на монтажном столе и для чего они предназначены?

2. Какие опции содержат разделы горизонтального меню?

3. Каким образом осуществляется вставка элементов электрической цепи и как выполняются соединения между их выводами?

4. Как можно выполнить редактирование существующей схемы?

5. Как назначаются значения параметрам элементам электрической цепи?

6. Каким образом проводится запуск программы на анализ?

7. Как выполняются настройки амперметра и вольтметра, выбранных с панели инструментов **Indicators**?

8. Какие выводы имеются у виртуального осциллографа и как осуществляется настройка режимов его работы?

9. Какие выводы имеются у виртуального частотного характериографа и как осуществляется настройка режимов его работы?

10. Какие выводы имеются у виртуального функционального генератора и как осуществляется настройка режимов его работы?

11. Какие выводы имеются у виртуального генератора двоичных слов и как осуществляется настройка режимов его работы?

12. Какие выводы имеются у виртуального логического анализатора и как осуществляется настройка режимов его работы?