

Лабораторная работа №1

ВВЕДЕНИЕ В ELECTRONICS WORKBENCH

Цель работы: ознакомиться с принципами работами Electronics Workbench, изучить основные базовые элементы.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Система схемотехнического моделирования Electronics Workbench предназначена для моделирования и анализа электрических схем.

Electronics Workbench может проводить анализ схем на постоянном и переменном токах. При анализе на постоянном токе определяется рабочая точка схемы в установившемся режиме работы. Результаты этого анализа не отражаются на приборах, они используются для дальнейшего анализа схемы. Анализ на переменном токе использует результаты анализа на постоянном токе для получения линеаризованных моделей нелинейных компонентов. Анализ схем в режиме АС может проводиться как во временной, так и в частотной областях.

В Electronics Workbench можно исследовать переходные процессы при воздействии на схемы входных сигналов различной формы. Программа также позволяет производить анализ цифро-аналоговых и цифровых схем большой степени сложности. Имеющиеся в программе библиотеки включают в себя большой набор широко распространенных электронных компонентов. Есть возможность подключения и создания новых библиотек компонентов.

Широкий набор приборов позволяет производить измерения различных величин, задавать входные воздействия, строить графики. Все приборы изображаются в виде, максимально приближенном к реальному, поэтому работать с ними просто и удобно.

Результаты моделирования можно вывести на принтер или импортировать в текстовый или графический редактор для их дальнейшей обработки.

Программа Electronics Workbench совместима с программой P-SPICE, т.е. предоставляет возможность экспорта и импорта схем и результатов измерений в различные ее версии.

Electronics Workbench позволяет разместить схему таким образом, чтобы были четко видны все соединения элементов и одновременно вся схема целиком.

Программа использует стандартный интерфейс Windows, что значительно облегчает ее использование.

В библиотеки компонентов программы входят пассивные элементы, транзисторы, управляемые источники, управляемые ключи, гибридные элементы, индикаторы, логические элементы, триггерные устройства, цифровые и аналоговые элементы, специальные комбинационные и последовательные схемы. Активные элементы могут быть представлены моделями как идеальных, так и реальных элементов. Возможно также создание своих моделей элементов и добавление их в библиотеки элементов.

В программе используется большой набор приборов для проведения измерений: амперметр, вольтметр, осциллограф, мультиметр, Боде-плоттер (графопостроитель частотных характеристик схем), функциональный генератор, генератор слов, логический анализатор и логический преобразователь.

Electronics Workbench позволяет строить схемы различной степени сложности при помощи следующих операций:

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

Все операции производятся при помощи мыши и клавиатуры. Управление только с клавиатуры невозможно.

Путем настройки приборов можно:

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

Графические возможности программы позволяют:

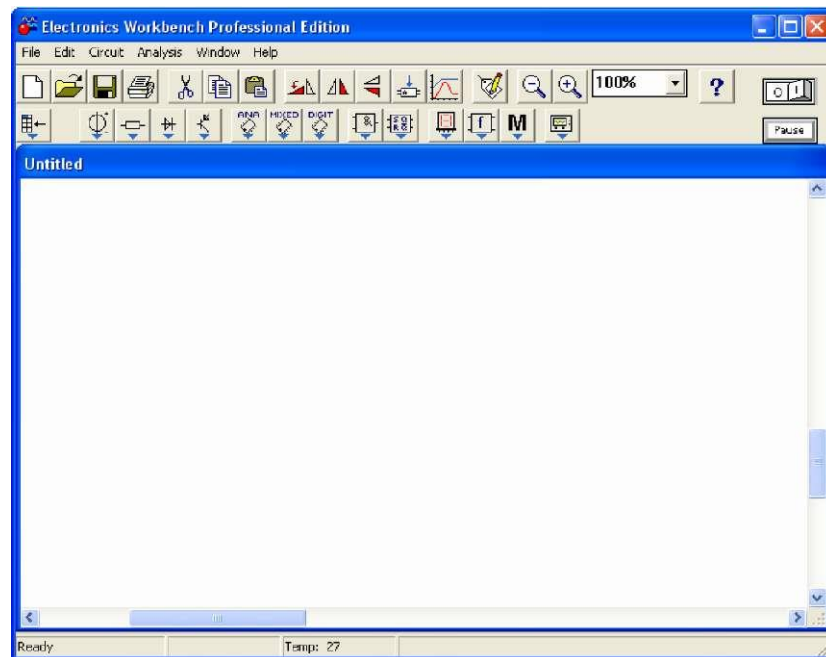
- одновременно наблюдать несколько кривых на графике;
- отображать кривые на графиках различными цветами;
- измерять координаты точек на графике;
- импортировать данные в графический редактор, что позволяет произвести необходимые преобразования рисунка и вывод его на принтер.

Electronics Workbench позволяет использовать результаты, полученные в программах P-SPICE, PCB, а также передавать результаты на Electronics Workbench в эти программы. Можно вставить схему или ее фрагмент в текстовый редактор и напечатать в нем пояснения или замечания по работе схемы.

1 КОМПОНЕНТЫ

1.1 Панель компонентов

Для операций с компонентами на общем поле Electronics Workbench выделены две области: панель компонентов и поле компонентов:



Панель компонентов состоит из пиктограмм полей компонентов, поле компонентов - из условных изображений компонентов.

В библиотеки элементов программы Electronics Workbench входят аналоговые, цифровые и цифро-аналоговые компоненты.

Все компоненты можно условно разбить на следующие группы:

- базовые компоненты;
- источники;
- линейные компоненты;
- ключи;
- нелинейные компоненты;
- индикаторы;
- логические компоненты;
- узлы комбинационного типа;
- узлы последовательного типа;
- гибридные компоненты.

1.2 Базовые компоненты



Соединяющий узел применяется для соединения проводников и создания контрольных точек. К каждому узлу может подсоединяться не более четырех проводников.

Заземление.

Не все схемы нуждаются в заземлении для моделирования, однако любая схема, содержащая:



- операционный усилитель;
- трансформатор;
- управляемый источник;
- осциллограф,

должна быть обязательно заземлена, иначе приборы не будут производить измерения или их показания окажутся неправильными.

2 ИСТОЧНИКИ

Все источники в Electronics Workbench идеальные.

2.1 Неуправляемые источники

Источник постоянного напряжения. ЭДС источника постоянного напряжения или батареи измеряется в вольтах и задается производными величинами (от мкВ до кВ). Батарея в Electronics Workbench имеет внутреннее сопротивление, равное нулю, поэтому, если необходимо использовать две параллельно подключенные батареи, следует включить последовательно между ними небольшое сопротивление (например, в 1 Ом).



Источник постоянного тока. Ток источника постоянного тока (direct current) измеряется в амперах и задается производными величинами (от мкА до кА).



Источник переменного напряжения. Действующее значение напряжения источника измеряется в вольтах и задается производными величинами (от мкВ до кВ). Имеется возможность установки частоты и начальной фазы. Действующее значение напряжения V_{RMS} , вырабатываемое источником переменного синусоидального напряжения, связано с его амплитудным значением V_{PEAK} следующим соотношением:



$$V_{RMS} = \frac{V_{PEAK}}{\sqrt{2}}.$$

Источник переменного тока. Действующее значение тока источника измеряется в амперах и задается производными величинами (от мкА до кА).



Генератор тактовых импульсов вырабатывает последовательность прямоугольных импульсов. Отсчет амплитуды импульсов генератора производится от вывода, противоположного выводу «+».



Источник напряжения +5 В. Используя этот источник напряжения, можно устанавливать фиксированный потенциал узла 5 В или уровень логической единицы.



Источник сигнала «логическая единица». При помощи этого источника устанавливают уровень логической единицы в узле схемы.



2.2 Управляемые источники

Источник напряжения, управляемый напряжением. Отношение выходного напряжения к входному определяется коэффициентом пропорциональности E , который задается в мВ/В, В/В и кВ/В:



$$E = \frac{V_{OUT}}{V_{IN}},$$

где V_{OUT} - выходное напряжение источника; V_{IN} - входное напряжение источника.

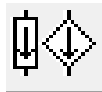
Источник тока, управляемый напряжением. Отношение выходного тока к управляющему напряжению - коэффициент G , измеряется в единицах проводимости (1/Ом или сименс):



$$G = \frac{I_{OUT}}{V_{IN}},$$

где I_{OUT} - выходной ток источника; V_{IN} - напряжение, приложенное к управляющим зажимам источника.

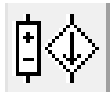
Источник тока, управляемый током. Входной и выходной токи связаны коэффициентом пропорциональности F , который определяет отношение выходного тока к току в управляющей ветви и задается в мА/А, А/А и кА/А:



$$F = \frac{I_{OUT}}{I_{IN}},$$

где I_{OUT} - выходной ток источника; I_{IN} - входной ток источника.

Источник напряжения, управляемый током. Передаточное сопротивление имеет размерность сопротивления и задается в мОм, Ом и кОм:



$$H = \frac{V_{OUT}}{I_{IN}},$$

где V_{OUT} - выходное напряжение источника; I_{IN} - входной ток источника.

3 ЭЛЕМЕНТЫ

3.1 Линейные элементы

Резистор. Сопротивление резистора измеряется в Омах и задается производными величинами (от Ом до МОм).



Переменный резистор. Положение движка переменного резистора устанавливается при помощи специального элемента - стрелки-регулятора. В диалоговом окне можно установить сопротивление, начальное положение движка (в процентах) и шаг приращения (также в процентах). Имеется возможность изменять положение движка при помощи клавиш-ключей.



Используемые клавиши-ключи:

- буквы от A до Z;
- цифры от 0 до 9;
- клавиша Enter на клавиатуре;
- клавиша «пробел».

Конденсатор. Емкость конденсатора измеряется в Фарадах и задается производными величинами (от пФ до Ф).



Переменный конденсатор. Величину емкости устанавливают, используя ее начальное значение и значение коэффициента пропорциональности следующим образом:



$$C = \frac{\text{начальное} \dots \text{значение}}{100} \text{ коэффициент.}$$

Значение емкости может устанавливаться с помощью клавиш-ключей.

Катушка индуктивности. Индуктивность катушки (дресселя) измеряется в генри и задается производными величинами (от мкГн до Гн).



Катушка с переменной индуктивностью. Величину индуктивности этой катушки устанавливают, используя начальное значение ее индуктивности и коэффициента пропорциональности следующим образом:



$$L = \frac{\text{начальное} \dots \text{значение}}{100} \text{ коэффициент.}$$

Значение индуктивности может устанавливаться с помощью клавиш-ключей.



Трансформатор может быть выполнен с отводом средней точки.

3.2 Ключи

Ключи имеют два состояния: выключенное (разомкнутое) и включенное (замкнутое). В выключенном состоянии они представляют собой бесконечно большое сопротивление, во включенном состоянии их сопротивление равно нулю. Ключи могут управляться:

- клавишей;
- таймером;
- напряжением;
- током.

Реле. Электромагнитное реле может иметь нормально замкнутые или нормально разомкнутые контракты.



Ключ, управляемый клавишей. Ключи могут быть замкнуты или разомкнуты при помощи управляющих клавиш на клавиатуре. Имя управляющей клавиши можно ввести с клавиатуры в диалоговом



окне, появляющемся после двойного щелчка мышью на изображении ключа. Используемые клавиши-ключи:

- буквы от A до Z;
- цифры от 0 до 9;
- клавиша Enter на клавиатуре;
- клавиша «пробел».

Реле времени представляет собой ключ, который размыкается в момент времени T_{off} и замыкается в момент времени T_{on} . Эти моменты должны быть больше 0.



Ключ, управляемый напряжением, имеет два управляющих параметра: включающее (V_{on}) и выключающее (V_{off}) напряжения.



Ключ, управляемый током работает аналогично ключу, управляемому напряжением. Когда ток через управляющие выводы превышает ток включения (I_{on}), ключ замыкается; когда ток падает ниже тока выключения (I_{off}) - ключ размыкается.



3.3 Нелинейные элементы

3.3.1 Диоды

Диод. Двухэлектродный электронный прибор, обладающий различной проводимостью в зависимости от направления электрического тока. Электрод диода, подключаемый к положительному полюсу источника тока, когда диод открыт (то есть имеет маленькое сопротивление), называют анодом, подключаемый к отрицательному полюсу — катодом. Ток через диод может протекать только в одном направлении - от анода А к катоду К.



Стабилитрон - плоскостной кремниевый полупроводниковый диод, работающий при обратном смещении в режиме пробоя. До наступления пробоя через стабилитрон протекают незначительные токи утечки, а его сопротивление весьма высоко. При наступлении пробоя ток через стабилитрон резко возрастает, а его дифференциальное сопротивление падает до величины, составляющей для различных приборов от долей Ома до сотен Ом. Поэтому в режиме пробоя напряжение на стабилитроне поддерживается с заданной точностью в широком диапазоне обратных токов. Обычно используют для стабилизации напряжения, для стабилитрона (диода Зенера) рабочим является отрицательное напряжение.



Светоизлучающий диод (светодиод) излучает видимый свет, когда проходящий через него ток превышает пороговую величину.





Мостовой выпрямитель предназначен для выпрямления переменного напряжения. При подаче на выпрямитель синусоидального напряжения среднее значение выпрямленного напряжения V_{dc} можно приблизительно вычислить по формуле:

$$V_{dc} = 0,636 \left(V_p - 1,4 \right),$$

где V_p - амплитуда входного синусоидального напряжения.



Диод Шоттки в отличие от простого диода, находится в отключенном состоянии до тех пор, пока напряжение на нем не превысит фиксированного уровня порогового напряжения.



Тиристор (управляемый вентиль). Полупроводниковый прибор, выполненный на основе монокристалла полупроводника с тремя или более р-п-переходами и имеющий два устойчивых состояния: закрытое состояние, то есть состояние низкой проводимости, и открытое состояние, то есть состояние высокой проводимости. У тиристора помимо анодного и катодного выводов имеется дополнительный вывод управляющего электрода. Он позволяет управлять моментом перехода прибора в проводящее состояние.



Симистор (двунаправленный управляемый вентиль) – полупроводниковый прибор, являющийся разновидностью тиристорov и используемый для коммутации в цепях переменного тока. Способен проводить ток в двух направлениях. Для управления нагрузкой основные электроды симистора включаются в цепь последовательно с нагрузкой. В закрытом состоянии проводимость симистора отсутствует, нагрузка выключена. При подаче на управляющий электрод отпирающего сигнала между основными электродами симистора возникает проводимость, нагрузка оказывается включённой. Характерно, что симистор в открытом состоянии проводит ток в обоих направлениях. Другой особенностью симистора, как и других тиристорov, является то, что для его удержания в открытом состоянии нет необходимости постоянно подавать сигнал на управляющий электрод (в отличие от транзистора). Симистор остаётся открытым, пока протекающий через основные выводы ток превышает некоторую величину, называемую током удержания. Отсюда следует, что выключение нагрузки в цепи переменного тока происходит вблизи моментов времени, когда ток через основные электроды симистора меняет направление (обычно это совпадает по времени со сменой полярности напряжения в сети).



Динистор. Управляемый анодным напряжением двунаправленный переключатель.

3.3.2 Биполярные транзисторы

Биполярные транзисторы являются усилительными устройствами, управляемыми током. Они бывают двух типов: р-п-р и п-р-п.

Буквы означают тип проводимости полупроводникового материала, из которого изготовлен транзистор. В транзисторах обоих типов стрелкой отмечается эмиттер, направление стрелки и указывает направление протекания тока.



n-p-n транзистор имеет две n-области и одну p-область



p-n-p транзистор имеет две p-области и одну n-область.

3.3.3 Полевые транзисторы

Полевые транзисторы управляются напряжением на затворе, т.е. ток, протекающий через транзистор, зависит от напряжения на затворе. Полевой транзистор включает в себя протяженную область полупроводника n-типа или p-типа, называемую каналом. Канал оканчивается двумя электродами, которые называются истоком и стоком. Кроме канала n- или p-типа, полевой транзистор включает в себя область с противоположным каналу типом проводимости.

Полевые транзисторы с управляющим p–n переходом

Полевой транзистор с управляющим p-n-переходом – униполярный транзистор, управляемый напряжением, в котором для управления током используется наведенное электрическое поле, зависящее от напряжения затвора.

В n-канальном полевом транзисторе затвор состоит из p-области, окруженной n-каналом.



В p-канальном полевом транзисторе затвор состоит из n-области, окруженной p-каналом.



Полевые транзисторы на основе металлооксидной пленки

Управление током, протекающим через полевой транзистор на основе металлооксидной пленки (МОП-транзистор или MOSFET), также осуществляется с помощью электрического поля, прикладываемого к затвору.

В Electronics Workbench имеется восемь типов МОП-транзисторов:

- четыре типа МОП-транзисторов со встроенным каналом;
- четыре типа МОП-транзисторов с индуцированным каналом.

МОП-транзистор со встроенным каналом. Подобно полевым транзисторам с управляющим p-n-переходом, МОП-транзистор со встроенным каналом состоит из протяженной области полупроводника, называемой каналом. Для p-канального транзистора эта область является полупроводником p-типа, для n-канального транзистора – n-типа.



Трехвыводной n-канальный МОП-транзистор со встроенным каналом.



Трехвыводной p-канальный МОП-транзистор со встроенным каналом.



Четырехвыводной n-канальный МОП-транзистор со встроенным каналом.



Четырехвыводной p-канальный МОП-транзистор со встроенным каналом.

МОП-транзисторы с индуцированным каналом не имеют физического канала между истоком и стоком, как МОП-транзисторы со встроенным каналом. Вместо этого область проводимости может расширяться на весь слой двуокиси кремния. МОП-транзистор с индуцированным каналом работает только при положительном напряжении исток-затвор.



Трехвыводной n-канальный МОП-транзистор с индуцированным каналом.



Трехвыводной p-канальный МОП-транзистор с индуцированным каналом.



Четырехвыводной n-канальный МОП-транзистор с индуцированным каналом.



Четырехвыводной p-канальный МОП-транзистор с индуцированным каналом.

3.3.4 Интегральные микросхемы



Операционный усилитель (ОУ) – усилитель, предназначенный для работы с обратной связью. Модель операционного усилителя позволяет задавать параметры: коэффициент усиления, напряжение смещения, входные токи, входное и выходное сопротивления.



Операционный усилитель с пятью выводами имеет два дополнительных вывода (положительный и отрицательный) для подключения питания.

3.3.5 Прочие нелинейные элементы



Лампа накаливания. Элемент резистивного типа, преобразующий электроэнергию в световую энергию.



Предохранитель. Разрывает цепь, если ток в ней превышает максимальный ток I_{max} . Это значение может иметь величину в диапазоне от мА до кА.

4 ЦИФРОВЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ

Цифровые элементы программы представлены следующими группами: индикаторы, логические элементы, узлы комбинационного типа, узлы последовательного типа, гибридные элементы.

4.1 Звуковые и световые индикаторы



Семисегментный индикатор. Каждый из семи выводов индикатора управляет соответствующим сегментом, от а до g.



Дешифрующий семисегментный индикатор служит для отображения на своем дисплее шестнадцатеричных чисел от 0 до F, задаваемых состоянием на входе индикатора.



Пробник логического уровня определяет логический уровень (0 или 1) в конкретной точке схемы. Если исследуемая точка имеет уровень логической единицы, индикатор загорается красным цветом. С помощью команды Value в меню Circuit можно изменить цвет свечения пробника.



Зуммер применяется для звуковой сигнализации о превышении подводимого к нему напряжения. С помощью команды Value в меню Circuit можно задать пороговое напряжение и частоту звукового сигнала.

5 ПРИБОРЫ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ИЗМЕРЕНИЙ

Простейшими приборами в Electronics Workbench являются вольтметр и амперметр, расположенные в поле индикаторов (Indicators), которое на панели компонентов изображается значком. Они не требуют настройки, автоматически изменяя диапазон измерений. В одной схеме можно применять несколько таких приборов одновременно, наблюдая токи в различных ветвях и напряжения на различных элементах.

Вольтметр используется для измерения переменного и постоянного напряжения. Выделенная толстой линией сторона прямоугольника, изображающего вольтметр, соответствует отрицательной клемме.



Двойным щелчком мыши на изображении вольтметра открывается диалоговое окно для изменения параметров вольтметра: вида измеряемого напряжения; величины внутреннего сопротивления. Величина внутреннего сопротивления вводится с клавиатуры в строке Resistance, вид измеряемого напряжения (опция Mode) выбирается из списка.

При измерении переменного синусоидального напряжения (AC) вольтметр будет показывать действующее значение напряжения U_d , определяемое по формуле:

$$U_d = \frac{U_M}{\sqrt{2}}, \text{ где } U_M - \text{амплитудное значение напряжения.}$$

Внутреннее сопротивление вольтметра 1 МОм, установленное по умолчанию, в большинстве случаев оказывает пренебрежимо малое влияние на работу схемы. Его значение можно изменить, однако использование вольтметра с очень высоким внутренним сопротивлением в схемах с низким выходным импедансом может привести к математической ошибке во

время моделирования работы схемы. В качестве вольтметра можно использовать мультиметр.



Амперметр используется для измерения переменного и постоянного тока. Выделенная толстой линией сторона прямоугольника, изображающего амперметр, соответствует отрицательной клемме.

Двойным щелчком мыши на изображении амперметра открывается диалоговое окно для изменения параметров амперметра: вида измеряемого тока, величины внутреннего сопротивления. Величина внутреннего сопротивления вводится с клавиатуры в строке Resistance, вид измеряемого тока (опция Mode) выбирается из списка. При измерении переменного синусоидального тока (AC) амперметр будет показывать его действующее значение I_D :

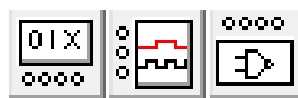
$$I_D = \frac{I_M}{\sqrt{2}}, \text{ где } I_M - \text{амплитудное значение напряжения.}$$

Внутреннее сопротивление 1 мОм, установленное по умолчанию, в большинстве случаев оказывает пренебрежимо малое влияние на работу схемы. Его значение можно изменить, однако использование амперметра с очень маленьким внутренним сопротивлением в схемах с высоким выходным импедансом может привести к математической ошибке во время моделирования работы схемы. В качестве амперметра можно использовать мультиметр.

Кроме описанных амперметра и вольтметра в Electronics Workbench имеется семь приборов, с многочисленными режимами работы, каждый из которых можно использовать в схеме только один раз. Эти приборы расположены на панели приборов.



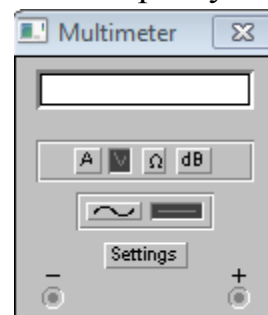
Слева на панели расположены приборы для формирования и наблюдения аналоговых величин: мультиметр, функциональный генератор, осциллограф, Бode-плоттер.



Справа расположены приборы для формирования и наблюдения логических величин: генератор слов, логический анализатор, логический преобразователь



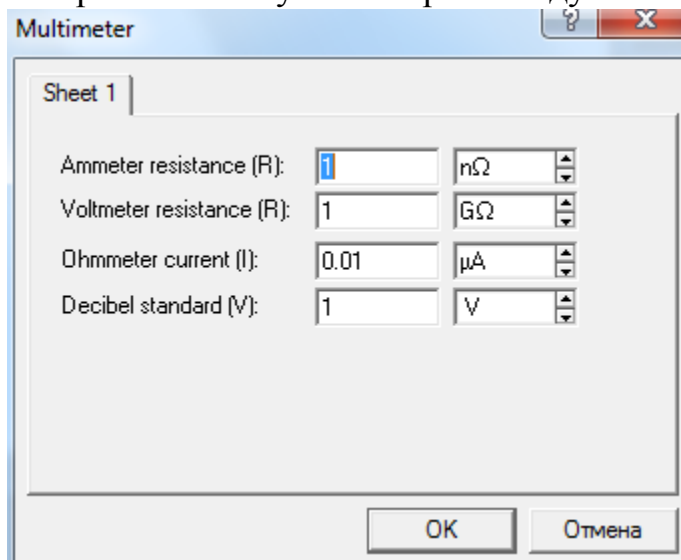
Мультиметр используется для измерения: напряжения (постоянного и переменного), тока (постоянного и переменного), сопротивления, уровня напряжения в децибелах. Для настройки мультиметра нужно двойным щелчком мыши на его уменьшенном изображении открыть его увеличенное изображение. На увеличенном изображении нажатием левой кнопки мыши выбирается: измеряемая величина по единицам измерения – A, V, Ω или dB; вид измеряемого сигнала – переменный или постоянный; режим установки параметров мультиметра. Установка вида измеряемой величины производится нажатием соответствующей кнопки на



увеличенном изображении мультиметра. Нажатие кнопки с символом «~» устанавливает мультиметр для измерения действующего значения переменного тока и напряжения, постоянная составляющая сигнала при измерении не учитывается. Для измерения постоянных напряжения и тока нужно на увеличенном изображении мультиметра нажать кнопку с символом «—». Для того чтобы использовать мультиметр для измерений напряжения, тока, сопротивления или уровня напряжения в децибелах, нужно нажать кнопку на увеличенном изображении мультиметра: A , V , Ω или dB соответственно. В качестве амперметра и вольтметра мультиметр используется так же, как и стандартные приборы.

Мультиметр – единственный в Electronics Workbench стандартный прибор, предназначенный для измерения сопротивления. Для использования мультиметра в качестве омметра его следует подсоединить параллельно участку цепи, сопротивление которого нужно измерить, на увеличенном изображении мультиметра нажать кнопку Ω и кнопку с символом «—» переключения в режим измерения постоянного тока. Включить схему. На табло мультиметра при этом появится измеренное значение сопротивления. Чтобы избежать ошибочных показаний, схема должна иметь соединение с землей и не иметь контакта с источниками питания, которые должны быть исключены из схемы, причем идеальный источник тока должен быть заменен разрывом цепи, а идеальный источник напряжения – короткозамкнутым участком.

Для измерения уровня напряжения в децибелах на увеличенном изображении мультиметра следует нажать кнопку dB . Мультиметр



подключается одним из выводов к точке, уровень напряжения в которой нужно измерить, а другим выводом – к точке, относительно которой производится измерение. При измерении уровня переменного напряжения измеряется уровень действующего значения. После включения схемы на табло мультиметра появится измеренное значение уровня напряжения. Уровень

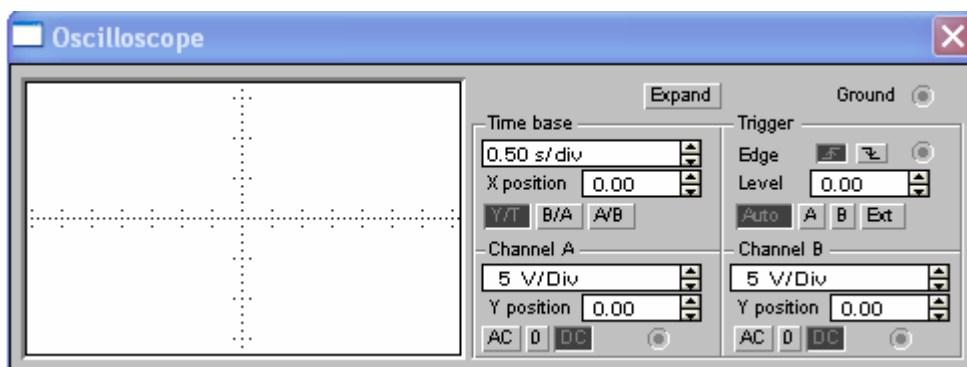
напряжения в децибелах подсчитывается следующим образом:

$$dB = 20 \lg \frac{U_{ex}}{U_{on}},$$

где U_{ex} – напряжение, приложенное к выводам мультиметра; U_{on} – опорное напряжение, по отношению к которому измеряется уровень напряжения. По умолчанию опорное напряжение установлено равным 1 В.

Клавишу SETTINGS следует использовать для настройки: входного сопротивления вольтметра, последовательного сопротивления амперметра, измерительного тока омметра, опорного напряжения для отсчета в децибелах.

Осциллограф, имитируемый программой Workbench, представляет собой аналог двухлучевого запоминающего осциллографа и имеет две модификации: простую и расширенную. Расширенная модификация по своим возможностям приближается к лучшим цифровым запоминающим осциллографам. Из-за того, что расширенная модель



занимает много места на рабочем поле, рекомендуется начинать исследования простой моделью, а для подробного исследования процессов – использовать расширенную модель EXPAND. Осциллограф можно подключить к уже включенной схеме или во время работы схемы переставить выводы к другим точкам – изображение на экране осциллографа изменится автоматически. Двойным щелчком мыши по уменьшенному изображению открывается изображение передней панели простой модели осциллографа с кнопками управления, информационными полями и экраном.

Для проведения измерений осциллограф нужно настроить, для чего следует задать:

- 1) расположение осей, по которым откладывается сигнал;
- 2) нужный масштаб развертки по осям;
- 3) смещение начала координат по осям;
- 4) режим работы по входу: закрытый или открытый;
- 5) режим синхронизации: внутренний или внешний.

Настройка осциллографа производится при помощи полей управления, расположенных на панели управления.

Панель управления имеет общий для обеих модификаций осциллографа вид и разделена на четыре поля управления:

- 1) горизонтальной разверткой (Time base);
- 2) синхронизацией (Trigger);
- 3) каналом А;
- 4) каналом В.

Поле управления горизонтальной разверткой (масштабом времени) служит для задания масштаба горизонтальной оси осциллографа при наблюдении

напряжения на входах каналов А и В в зависимости от времени. Временной масштаб задается в: с/дел, мс/дел, мкс/дел, нс/дел (s/div, ms/div, μ s/div, ns/div соответственно). Величина одного деления может быть установлена от 0,1 нс до 1 с. Масштаб может дискретно изменять на один шаг при щелчке мышью на кнопке справа от поля. С помощью кнопок, расположенных в поле строки X POS, можно дискретно сдвигать начало осциллограммы по горизонтальной оси. В этом же поле расположены три кнопки: Y/T, A/B, B/A, позволяющие задавать вид зависимости отображаемых сигналов. При нажатии на кнопку Y/T по вертикальной оси откладывается напряжение, по горизонтальной оси – время, при нажатии на кнопки A/B по вертикальной оси откладывается амплитуда напряжения на входе канала А, по горизонтальной оси – канала В и при нажатии на кнопку B/A наоборот. При этом масштаб осей определяется установками соответствующих каналов. В режимах A/B и B/A можно наблюдать частотные и фазовые сдвиги (фигуры Лиссажу), петли гистерезиса, вольтамперные характеристики и т.д.

Две нижних части панели осциллографа являются полями управления отображением сигналов, поданных на входы каналов А и В соответственно. Верхнее окно в поле позволяет управлять масштабом оси отображаемого напряжения по вертикальной или горизонтальной оси. Цена деления может дискретно устанавливаться от 10 mV/div до 5 kV/div. Масштаб для каждой оси устанавливается отдельно. Чтобы получить удобное для работы изображение на экране осциллографа перед началом эксперимента, следует установить масштаб, соответствующий ожидаемому напряжению.

Ниже расположено поле, которое позволяет дискретно сдвигать ось Х вверх или вниз. Для того, чтобы развести изображения от каналов А и В, следует воспользоваться сдвигом по оси Y (Y POS) для одного или двух каналов.

Три нижние кнопки реализуют различные режимы работы входа осциллографа по входу. Режим работы осциллографа с закрытым входом устанавливается нажатием на кнопку AC. В этом режиме на вход не пропускается постоянная составляющая сигнала. При нажатии на кнопку DC осциллограф переходит в режим с открытым входом. В этом режиме на вход осциллографа пропускается как постоянная, так и переменная составляющая сигнала. При нажатии на кнопку 0 вход осциллографа соединяется с общим выводом осциллографа, что позволяет определить положение нулевой отметки по оси Y.

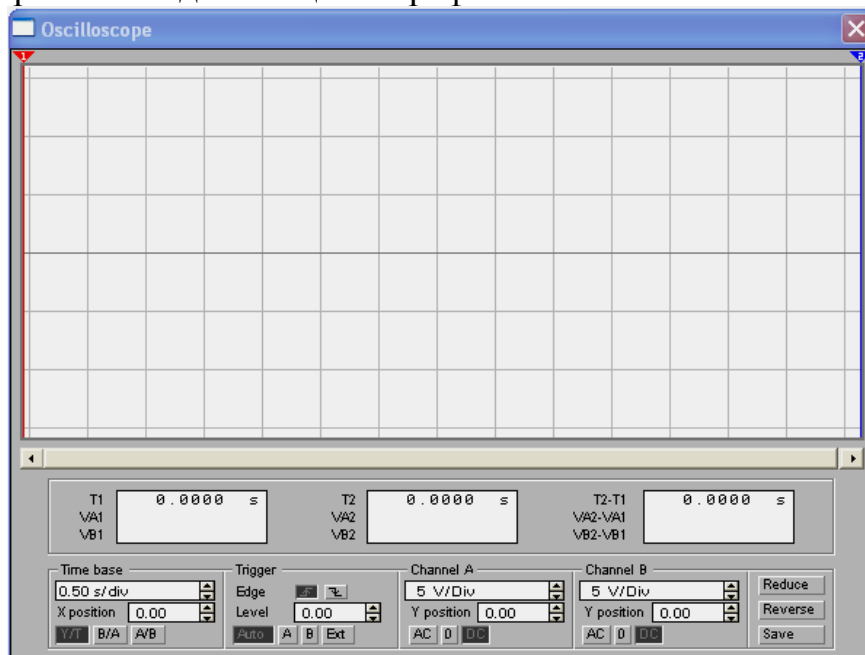
Верхнее правое поле управления TRIGGER определяет момент начала отображения осциллограммы на экране осциллографа. Кнопки в строке EDGE задают момент запуска осциллограммы по фронту или по срезу импульса на входе синхронизации. Поле LEVEL позволяет задавать уровень, при превышении которого происходит запуск осциллограммы. Значение уровня можно сдвинуть на три деления вниз или вверх. Осциллограф имеет четыре режима синхронизации:

1 Автоматический режим (AUTO) – запуск осциллограммы производится автоматически при подключении осциллографа к схеме или при ее включении. Когда «луч» доходит до конца экрана, осциллограмма снова прописывается с начала экрана (новый экран).

2 Режимы запуска по входу А или В, в которых запускающим сигналом является сигнал, поступающий на соответствующий вход.

3 Режим «Внешний запуск» (EXT - external). В этом случае сигналом запуска является сигнал, подаваемый на вход синхронизации.

Нажатие клавиши EXPAND на панели простой модели открывает окно расширенной модели осциллографа.

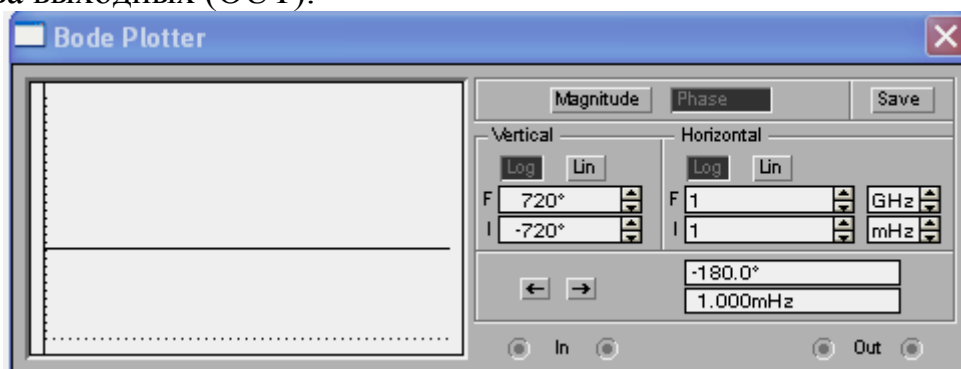


Панель расширенной модели осциллографа в отличие от простой модели расположена под экраном и дополнена тремя информационными табло, на которые выводятся результаты измерений. Кроме того, непосредственно под экраном находится линейка прокрутки, позволяющая наблюдать любой временной отрезок процесса от момента включения до момента выключения схемы. В сущности, расширенная модель осциллографа это совершенно другой прибор, позволяющий намного удобнее и более точно проводить численный анализ процессов.

На экране осциллографа расположены два курсора, обозначаемые 1 и 2, при помощи которых можно измерить мгновенные значения напряжений в любой точке осциллограммы. Для этого следует просто перетащить мышью курсоры за треугольники в их верхней части в требуемое положение. Координаты точек пересечения первого курсора с осциллограммами отображаются на левом табло, координаты второго курсора – на среднем табло. На правом табло отображаются значения разностей между соответствующими координатами первого и второго курсоров. Результаты измерений, полученные при помощи расширенной модели осциллографа, можно записать в файл. Для этого следует нажать кнопку Save (Сохранить) и в диалоговом окне ввести имя файла.

Чтобы вернуться к прежнему изображению осциллографа, следует нажать клавишу REDUCE, расположенную в правом нижнем углу.

Бодe-плоттер (графопостроитель) используется для получения амплитудно-частотных (АЧХ) и фазочастотных (ФЧХ) характеристик схемы. Бодe-плоттер измеряет отношение амплитуд сигналов в двух точках схемы и фазовый сдвиг между ними. Отношение амплитуд сигналов может измеряться в децибелах. Для измерения Бодe-плоттер генерирует собственный спектр частот, диапазон которого может задаваться при настройке прибора. Частота любого переменного источника в исследуемой схеме игнорируется, однако схема должна включать какой-либо источник переменного тока. Бодe-плоттер имеет четыре зажима: два входных (IN) и два выходных (OUT).



Для измерения отношения амплитуд или фазового сдвига нужно подключить положительные выводы входов IN и OUT (левые выводы соответствующих входов) к исследуемым точкам, а два других вывода заземлить. При двойном щелчке мышью по уменьшенному изображению Бодe-плоттера открывается его увеличенное изображение. Верхняя панель плоттера задает вид получаемой характеристики: АЧХ или ФЧХ. Для получения АЧХ следует нажать кнопку Magnitude, для получения ФЧХ – кнопку Phase.

Левая панель управления (Vertical) задает:

а) начальное (I – initial) и конечное (F – final) значения параметров, откладываемых по вертикальной оси,

б) вид шкалы вертикальной оси – логарифмическая (LOG) или линейная (LIN). Правая панель управления (HORIZONTAL)

настраивается аналогично.

При получении АЧХ по вертикальной оси откладывается отношение напряжений:

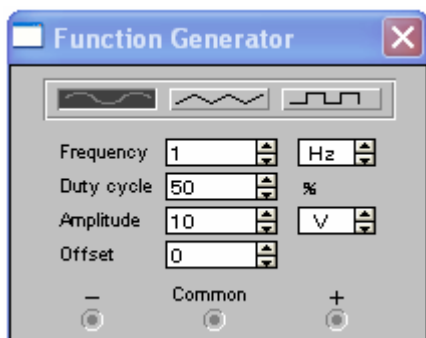
в) в линейном масштабе от 0 до 10E9;

г) в логарифмическом масштабе от –200 dB до 200 dB.

При получении ФЧХ по вертикальной оси откладываются градусы: от –720 до +720. По горизонтальной оси всегда откладывается частота в герцах или в производных единицах. В начале горизонтальной шкалы расположен курсор. Его можно перемещать нажатием на кнопки со стрелками, расположенными справа от экрана, либо «тащить» с помощью мыши. Координаты точки пересечения курсора с графиком характеристики

выводятся на информационных полях внизу справа. С помощью Бode-плоттера нетрудно построить топографическую диаграмму на комплексной плоскости для любой схемы.

Функциональный генератор является идеальным источником напряжения, вырабатывающим сигналы синусоидальной, прямоугольной или треугольной формы. Средний вывод генератора при подключении к схеме обеспечивает общую точку для отсчета амплитуды переменного напряжения.



Для отсчета напряжения относительно нуля общий вывод заземляют. Крайние правый и левый выводы служат для подачи переменного напряжения на схему. Напряжение на правом выводе изменяется в положительном направлении относительно общего вывода, напряжение на левом выводе – в отрицательном. При двойном щелчке мышью по уменьшенному изображению функционального генератора открывается его увеличенное изображение.

1 Установка формы сигнала.

Выбрать требуемую форму выходного сигнала и нажать на кнопку с соответствующим изображением. Форму треугольного и прямоугольного сигналов можно изменить, уменьшая или увеличивая значение в поле DUTY CYCLE (скважность). Этот параметр определяется для сигналов треугольной и прямоугольной формы. Для треугольной формы напряжения он задает длительность (в процентах от периода сигнала) между интервалом нарастания напряжения и интервалом спада. Установив, например, значение 20, можно получить длительность интервала нарастания 20 % от периода, а длительность интервала спада – 80 % . Для прямоугольной формы напряжения этот параметр задает соотношение между длительностями положительной и отрицательной части периода.

2 Установка частоты сигнала.

Частота генератора может регулироваться от 1 Hz до 999 MHz. Значение частоты устанавливается в строке FREQUENCY с помощью клавиатуры и кнопок со стрелками. В левом поле устанавливается численное значение, в правом – единица измерения (Hz, kHz, MHz – Гц, кГц, МГц соответственно).

3 Установка амплитуды выходного напряжения.

Амплитуда выходного напряжения может регулироваться от 0 mV до 999 kV. Значение амплитуды устанавливается в строке AMPLITUDE с помощью клавиатуры и кнопок со стрелками. В левом поле устанавливается численное значение, в правом – единица измерения (mV, V, kV – мВ, В, кВ соответственно).

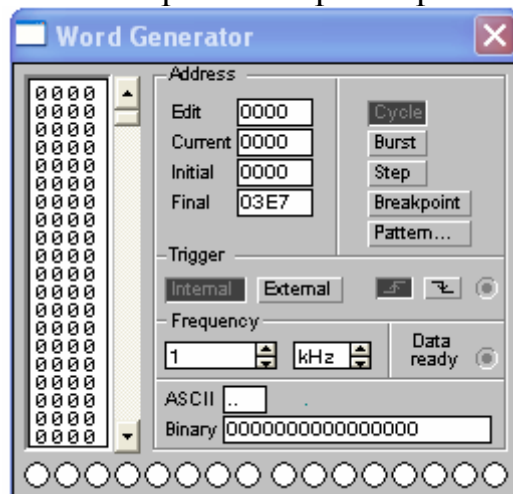
4 Установка постоянной составляющей выходного напряжения.

Постоянная составляющая переменного сигнала устанавливается в строке OFFSET при помощи клавиатуры или кнопок со стрелками. Она может иметь

как положительное, так и отрицательное значение. Это позволяет получить, например, последовательность однополярных импульсов.

Генератор слов используется для задания цифровых последовательностей. На схему выводится уменьшенное изображение генератора слов. На шестнадцать выходов в нижней части генератора параллельно подаются биты генерируемого слова. На выход тактового сигнала подается последовательность тактовых импульсов с заданной частотой. Вход синхронизации используется для подачи синхронизирующего сигнала от внешнего источника.

Двойным щелчком мыши открывается расширенное изображение.



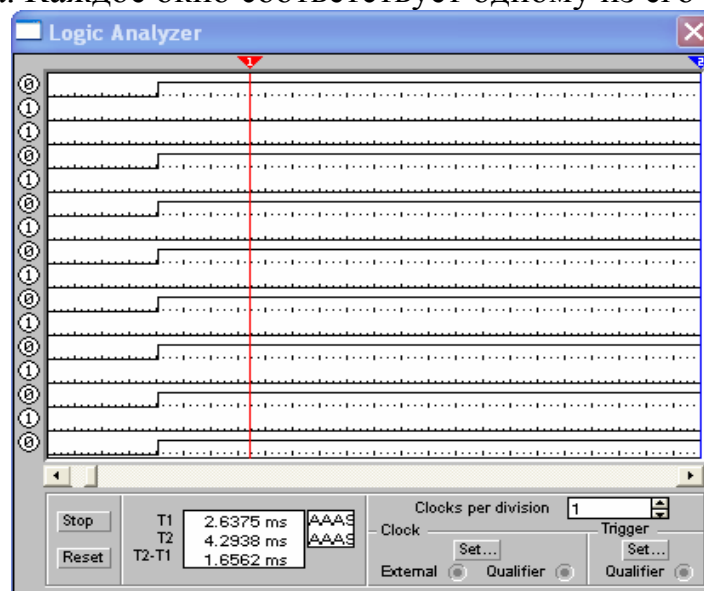
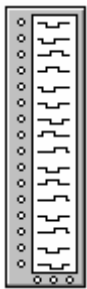
Левая часть генератора содержит 1023 слова. Выделением отмечается слово, активное в данный момент. Значения этого слова отражаются в шестнадцатиричной системе (левое окно), или в двоичной системе окно Binary, или в международной системе кодов окно ASCII. Ввод слов производится в левой или нижней (окно Binary или ASCII) части окна генератора при помощи мыши и клавиатуры. Нажатием на левую клавишу мыши выделяется нужный бит, а ввод значения производится с клавиатуры. Для дальнейшего использования установленного набора слов (шаблона) необходимо его сохранить. Для этого следует нажать кнопку *Pattern...* на панели генератора слов и в появившемся окне выбрать *SAVE* и ввести имя файла. Шаблон сохраняется в виде файла с расширением **.dp*. Если необходимо снова использовать данный шаблон, то следует нажать кнопку *LOAD* и в диалоговом окне дважды щелкнуть левой кнопкой мыши на имени нужного файла с шаблоном. Очистить (заполнить нулями) левую часть окна генератора можно нажатием на кнопку *CLEAR BUFFER*.

Генератор может работать в трех режимах:

- 1) пошаговый (каждый раз после подачи очередного слова на выход генератор останавливается);
- 2) циклический (на выход генератора однократно последовательно поступают все слова);
- 3) непрерывный (все слова циклически передаются на выход генератора в течение необходимого времени).

Нажатием на кнопку *STEP* генератор переводится в пошаговый режим, кнопка *BURST* переводит в циклический режим, а кнопка *CYCLE* – в непрерывный. Для того чтобы прервать работу в непрерывном режиме, необходимо еще раз нажать кнопку *CYCLE* (или *CTRL + T* на клавиатуре). Панель управления *TRIGGER* определяет момент начала работы генератора. Момент запуска может быть задан по положительному или отрицательному фронтам синхронизирующего импульса. В режиме *EXTERNAL* (внешняя синхронизация) передача слов на выход генератора синхронизируется с помощью импульсов, подаваемых на вход запуска. С приходом каждого импульса на выход генератора выдается одно слово. В режиме *INTERNAL* (внутренняя синхронизация) генератор производит внутреннюю синхронизацию передачи слов на выход. Для синхронизации работы схемы с генератором можно установить частоту импульсов в пределах от Гц до МГц в окне *FREQUENCY*.

Логический анализатор. На схему выводится уменьшенное изображение логического анализатора. Логический анализатор подключается к исследуемой схеме с помощью выводов в его левой части. Одновременно могут наблюдаться сигналы в шестнадцати точках схемы. Правый нижний зажим используется для подачи синхронизирующих импульсов. Двойным щелчком мыши по уменьшенному изображению открывается расширенное изображение логического анализатора, приведенное ниже на рисунке. Временные диаграммы сигналов на экране 16-канального логического анализатора изображаются в виде прямоугольных импульсов. Кроме того, круглые окна в левой части анализатора показывают текущее состояние входов анализатора. Каждое окно соответствует одному из его входов.

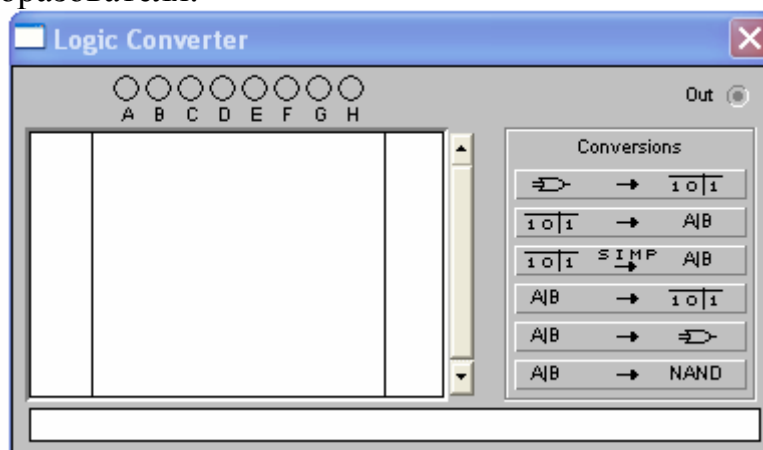


Уровни сигналов, в текущий момент подающихся на вход анализатора, на экране отображаются справа. Правый крайний вход анализатора соответствует средней временной диаграмме на экране анализатора. Нажатие на клавишу *CLEAR* очищает экран логического анализатора. В поле *TIME BASE* устанавливается временной масштаб по горизонтальной оси.

Логический преобразователь – прибор, который не имеет аналогов в реальном мире. Он предназначен для выполнения различных функциональных преобразований в схеме. С его помощью можно осуществлять следующие операции:



- а) получение таблицы истинности исследуемой схемы;
- б) преобразование таблицы истинности в логическое выражение;
- в) преобразование логического выражения в таблицу истинности;
- г) создание логических схем по заданному логическому выражению;
- д) синтез логических схем на элементах И-НЕ по заданному логическому выражению. На экран выводится уменьшенное изображение логического преобразователя.



Получение таблицы истинности схемы.

Для получения таблицы истинности схемы необходимо подключить входы (A, B, C, D, E, F, G, H) логического преобразователя ко входам исследуемой схемы (не более восьми), выход (OUT) логического преобразователя соединить с выходом схемы. После нажатия кнопки в левой части экрана логического преобразователя появится таблица истинности, описывающая функционирование исследуемой схемы.



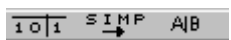
Ввод и преобразования таблицы истинности.

Для того чтобы создать таблицу истинности, необходимо в левой верхней части прибора выбрать число переменных от A до H (нажать на соответствующую букву левой кнопкой мыши). Вся левая половина экрана заполнится комбинациями нулей и единиц, которые определяют начальные входные условия. Немного правее расположен столбец выходных значений OUT (реакция на вход), заполненный первоначально нулями. Изменяя в правой колонке нули на единицы или X (безразличное состояние), можно описать состояние выхода для любого начального условия. После щелчка на кнопке в нижней строке изображения прибора появится логическое выражение.



Упрощение выражения Булевой алгебры.

Если таблица истинности содержит большое число переменных, то логическое выражение функции получается громоздким. Для его преобразования в компактную форму следует нажать кнопку .



Ввод и преобразования логического выражения.

Для получения таблицы истинности функции, заданной логическим выражением, необходимо:

а) в строку преобразователя ввести при помощи клавиатуры логическое выражение;

б) нажать кнопку.

При вводе выражений инверсия обозначается апострофом, логическое сложение – знаком +. Логическое умножение не обозначается.

Синтез схемы по логическому выражению.

При помощи логического преобразователя можно получить схему, реализующую функцию, заданную логическим выражением.

Для этого в нижней строке преобразователя следует ввести логическое выражение и нажать кнопку.

После нажатия этой кнопки на рабочем поле Electronics Workbench появится эквивалентная логическому выражению схема. Все элементы в схеме будут выделены красным цветом. Если требуется использовать для построения схемы только элементы И-НЕ, то необходимо воспользоваться кнопкой:

Задание. Изучить принципы работы в Electronics Workbench. Собрать приведенные ниже схемы.
Схема 1.

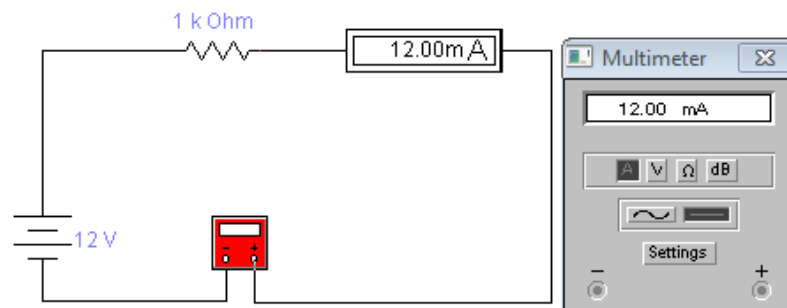


Схема 2.

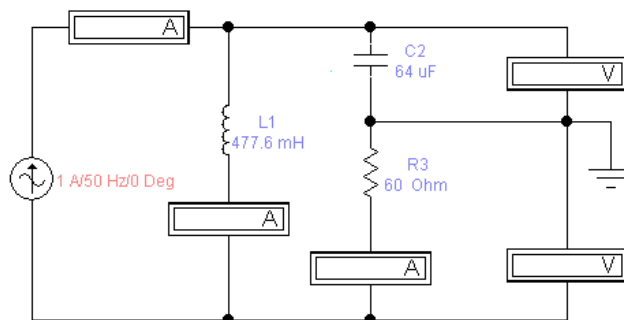


Схема 3.

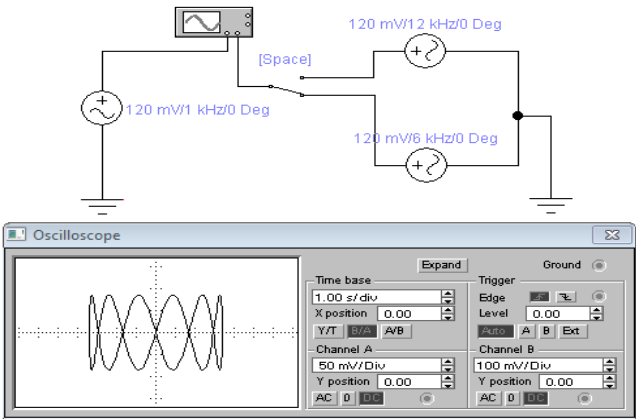


Схема 4.

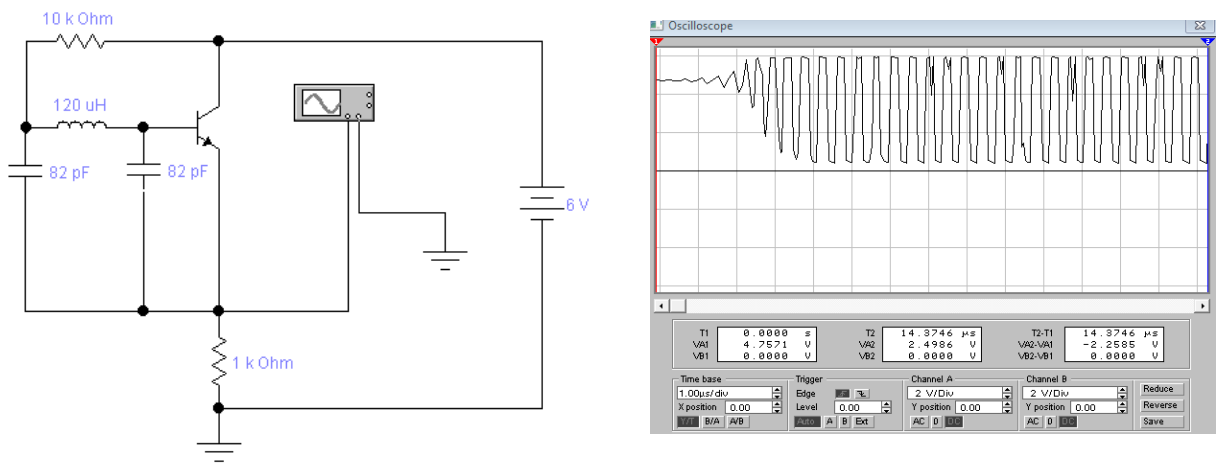
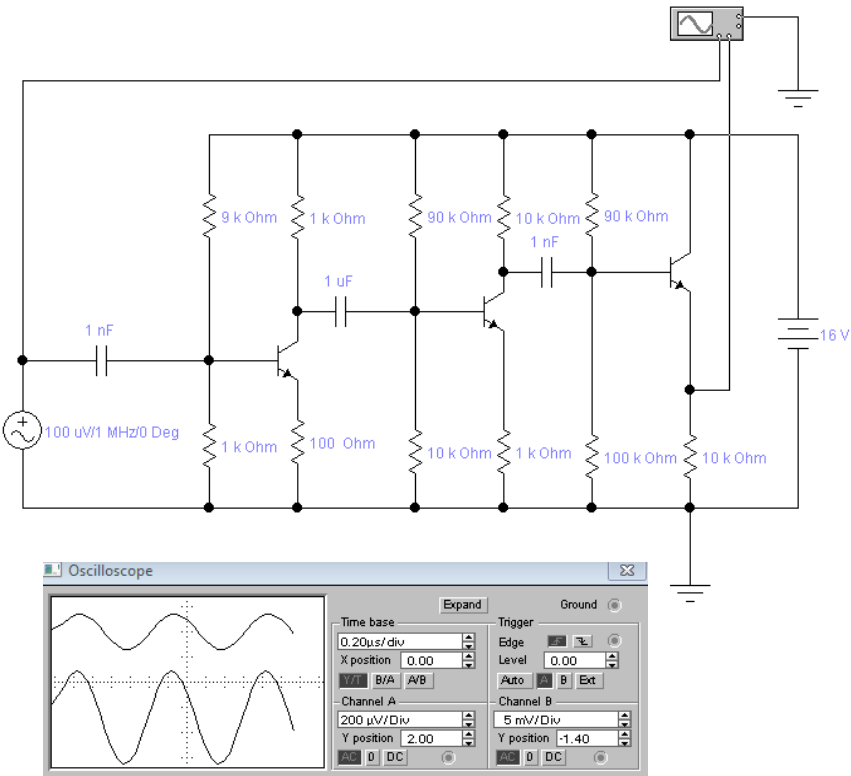


Схема 5.



Требования к отчету.

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

1. Титульный лист
2. Цель и задачи работы
3. Краткие теоретические сведения (ответы на контрольный вопросы)
4. Результаты лабораторной работы (схемы, графики, таблицы, значения параметров, измеренных в процессе работы)
5. Необходимые расчеты (если они оговариваются в практической части лабораторной работы).
6. Выводы.

Контрольные вопросы.

- 1 Состав панели источников Electronics Workbench.
- 2 Панель базовых элементов Electronics Workbench. Динистор, тиристор, диод Шоттки.
- 3 р-п-р, п-р-р биполярные и полевые транзисторы.
- 4 Измерительные приборы Electronics Workbench.
- 5 Самостоятельно изучить меню Analysis/Display Graphs.
- 6 Идентифицировать схему № 5. Рассчитать ее основной параметр.