

Предисловие

Прежде чем претворять в жизнь новый, только что придуманный радиоаппарат, или новый вариант доработки схемы какого-либо устройства, необходимо убедиться в работоспособности появившейся идеи, убедиться в том, что обновленное устройство будет работать лучше старого. Для этих целей конструкторы радиоаппаратуры всегда начинали создание нового аппарата или устройства с создания некоторого опытного образца, или макета, который позволял бы без больших затрат убедиться в работоспособности или в преимуществах нового аппарата перед старым. Профессионалы создания подобного опытного образца часто называют процессом физического моделирования.

С появлением и широким распространением персональных компьютеров отдельными фирмами были разработаны компьютерные программы, позволяющие выполнять компьютерное (математическое) моделирование радиоэлектронных схем.

Физическое моделирование связано с большими материальными затратами, поскольку требуется изготовление макетов и их трудоемкое исследование. Часто физическое моделирование просто невозможно из-за чрезвычайной сложности устройства, например, при разработке больших и сверхбольших интегральных микросхем. В этом случае прибегают к математическому моделированию с использованием средств и методов вычислительной техники.

Для подобных целей используют обычно известные пакеты **P-CAD** или **OrCAD**, которые содержат блоки логического моделирования цифровых устройств. Эти пакеты программ предназначены для профессиональной работы и могут для начинающих, в числе и для студентов, представлять значительные трудности в освоении.

Существует также целая группа пакетов компьютерных программ, которые являются более простыми в освоении, и при этом мало уступают указанным выше профессиональным пакетам. На этапе начального освоения методов автоматизированного проектирования и на этапах проведения поисково-исследовательских работ целесообразно рассмотреть возможность использования следующих программ.

Micro-Cap (версии 6 и 7)—разработка фирмы Spectrum Software (www.spectrum-soft.com), выпускается для платформ IBM, NEC и Macintosh. В версиях для IBM и NEC требуется процессор не ниже 80386 с сопроцессором, 15 Мбайт свободного пространства на жестком диске, Windows 3.xx или выше. Имеется библиотека моделей 10 тыс. электрорадиоэлементов ведущих фирм Японии, Европы и США.

Программа позволяет:

- ☐ создать принципиальную электрическую схему устройства и отредактировать ее;
- ☐ провести расчет статического режима по постоянному току;
- ☐ рассчитать частотные характеристики и переходные процессы;
- ☐ провести оценку уровня внутреннего шума и предельной чувствительности;
- ☐ провести многовариантный анализ, включая статический анализ по методу Монте-Карло;
- ☐ наращивать библиотеку компонентов;
- ☐ представлять данные в форме, удобные для интерпретации и дальнейшего анализа;
- ☐ реализовать другие сервисные функции, типичные для такого класса программ.

DesignLab 8,0—интегрированный пакет корпорации MicroSim (www.oread.com), в состав которого входит известная программа моделирования **Pspice**. Этот пакет позволяет проводить сквозное проектирование радиоэлектронных устройств:

- ❑ ввод принципиальной схемы;
- ❑ моделирования этой схемы до создания управляющих файлов для программаторов;
- ❑ разработка печатных плат и управляющих программ для сверлильных станков и вывода данных на графопостроитель.

Aplac 7,0 — пакет с типичным набором возможностей, перечисленных выше. Описание пакета программ и возможности его приобретения имеются в Интернете на сайте по адресу www.aplac.hut.fi/aplac. Программа позволяет также моделировать устройства СВЧ диапазона, в частности, она содержит подпрограмму расчета трехмерных электромагнитных полей микрополосковых конструкций и других устройств СВЧ техники. Программа позволяет вводить данные с помощью интерфейсных плат IEEE-488.

System View 1,9 — программа фирмы Elanix (www.elanix.com), содержит типичный набор функций для схемотехнического моделирования, а также богатый математический аппарат для обработки полученных результатов. Программа позволяет моделировать устройства на уровне функциональных схем.

Electronics Workbench (EWB) – разработка фирмы Interactive Image Technologie (www.interactiv.com). Особенностью программы является наличие контрольно-измерительных приборов, по внешнему виду и характеристикам приближенных к их промышленным аналогам. Программа легко осваивается и достаточно удобна в работе. После составления схемы моделирование начинается щелчком обычного выключения. Программа существует в нескольких вариантах, последние из которых имеют название **Multisim** (например, **Multisim620pro**, **Multisim2001**). Для начинающих работу с этой программой большой интерес может представлять вариант программы, предназначенный для студентов, который распространяется свободно и который можно скачать с указанного выше сайта.

CircuitMaker 6,0 фирмы MicroCode Engineering (www.microcode.com). Программа содержит обширную библиотеку моделей промышленных изделий электронных компонентов с возможностью оперативного просмотра их основных характеристик (например, транзистора – это тип корпуса, максимальное напряжение, ток, частота, фирма-изготовитель и др.). Особенности программы:

- ❑ программа позволяет достаточно оперативно подготавливать электрические схемы аналоговых, цифровых или смешанных аналогово-цифровых устройств;
- ❑ проводить моделирование этих схем с получением результатов в виде осциллограмм сигналов и графиков частотных характеристик, возможно получение точных отсчетов с помощью вертикальных и горизонтальных визирных линий;
- ❑ позволяет контролировать режим по постоянному току в выбранных точках схемы;
- ❑ интересной особенностью программы является наличие анимационных компонентов (запуск ракеты, старт автомобилей), призванных имитировать конечный результат работы схемы;
- ❑ программа содержит учебное пособие в демонстрационном режиме;
- ❑ интегрируется с программой разработки печатных плат **TraxMaker**.

Программа имеют коммерческую и студенческую версии. Студенческая версия практически не отличается от профессиональной, скачать её можно с указанного выше сайта.

Учитывая легкость освоения двух последних программ, наличие бесплатных (студенческих) версий этих программ, в этой главе достаточно подробно расскажу вам о том, что представляет из себя программа **Electronics Workbench 5.12 (EWB 5.12)** и каким образом можно при помощи этой программы проводить компьютерное моделирование радиоэлектронных схем.

Учтите, что в моей книге «Создаем принципиальную радиосхему» приведено описание программы **CircuitMaker 6,0pro** и рассказано о том, как с помощью этой программы создавать высококачественные рисунки схем, предназначенные для печати в книгах или журналах.

Также следует отметить, что описание методов работы с этими двумя программами, а также соответственно и эта книга, будут полезны не только начинающим разработчикам радиоаппаратуры, но и разработчикам – специалистам.

Система моделирования

Electronics Workbench

Программа **Electronics Workbench (EWB)** начинает разрабатываться с 1989 г. В 1996 г. были выпущены сначала четвертая, а затем и пятая версия программы, которые значительно отличались от всех предыдущих.

Программа стала иметь средства анализа примерно в объеме программы **Micro-Cap 5**, переработана и несколько расширена библиотека компонентов. Средства анализа цепей выполнены в типичном для всей программы ключе – минимум усилий со стороны пользователя. Дальнейшим развитием EWB является программа **EWB Layout**, предназначенная для разработки печатных плат, которая в данной книге не рассматривается. Программа EWB обладает преемственностью снизу вверх, т.е. все схемы, созданные в версиях 3.0 и 4.1 могут быть промоделированы в версии 5.0. Следует отметить, что EWB позволяет также моделировать устройства, для которых задание на моделирование подготовлено в текстовом формате **SPICE**, обеспечивая совместимость с программами **Micro-Cap** и **Pspice**. Программа EWB 4.1 рассчитана для работы в среде **Windows 3.xx** или **95/98** и занимает около 5 Мбайт дисковой памяти, EWB 5.0 – в среде **Windows 95/98**, требуемый объем дисковой памяти – около 16 Мбайт. Для размещения временных файлов требуется дополнительно 10 – 20 Мбайт свободного пространства.

Дальнейшие обновленные варианты программы (начиная с варианта 6) стали называться **Multisim**. Последней из известных мне версий программы является **Multisim 2001 (EWB 6.20)**, которая практически является расширенной версией программ **EWB 5.12**, но, на мой взгляд, стала менее удобной в обращении.

Далее в этой главе я сделаю описание программы **EWB 5.12** и в некоторых случаях параллельно дам информацию о программе **Multisim 2001**. Это позволит читателю изучить работу с программой **EWB 5.12** и без труда (в случае необходимости) начать работать с **Multisim 2001**.

Структура окна и система меню EWB 5.12

Процесс моделирования во всех аналогичных программах происходит одинаково. Сначала в рабочем окне программы из набора имеющихся в этой программе компонентов создается принципиальная электрическая схема нужного устройства. Схема создается по

принципу детского конструктора – из отдельных кубиков-компонентов, которые затем соединяются между собой линиями связи.

На рис. 1 показано рабочее окно программы **EWB 5.12**, на рис. 2 – рабочее окно программы **Multisim 2001**.

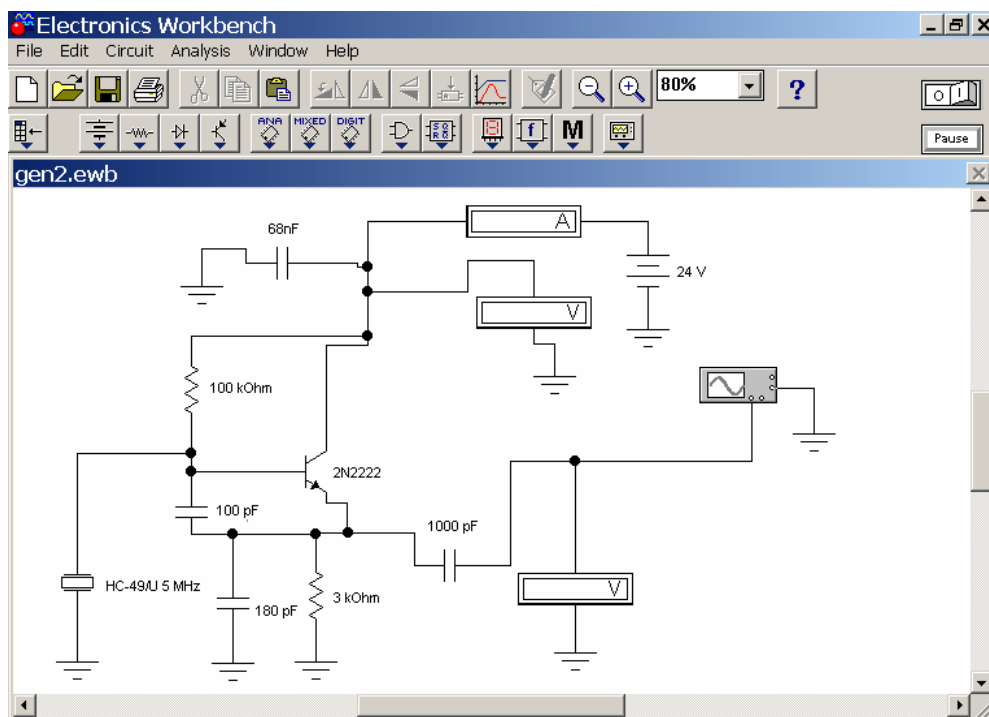


Рис. 1. Окно программы EWB 5.12

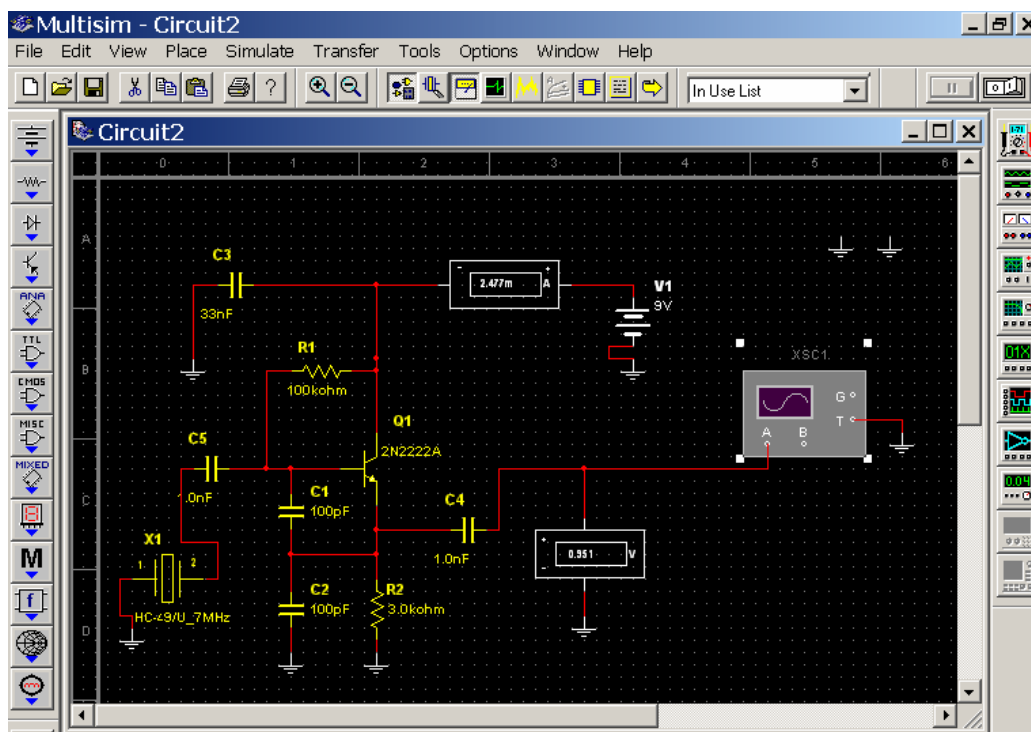


Рис. 2. Окно программы Multisim 2001

Для печати в книге рисунок рабочего окна программы Multisim 2001 выглядит слишком темным. К счастью, в программе имеется возможность изменять цвета фона рабочего окна, цвета изображения компонентов и соединительных линий. Поэтому на рис. 3

показано предыдущее окно **Multisim 2001**, но с измененными цветами и фона и компонентов.

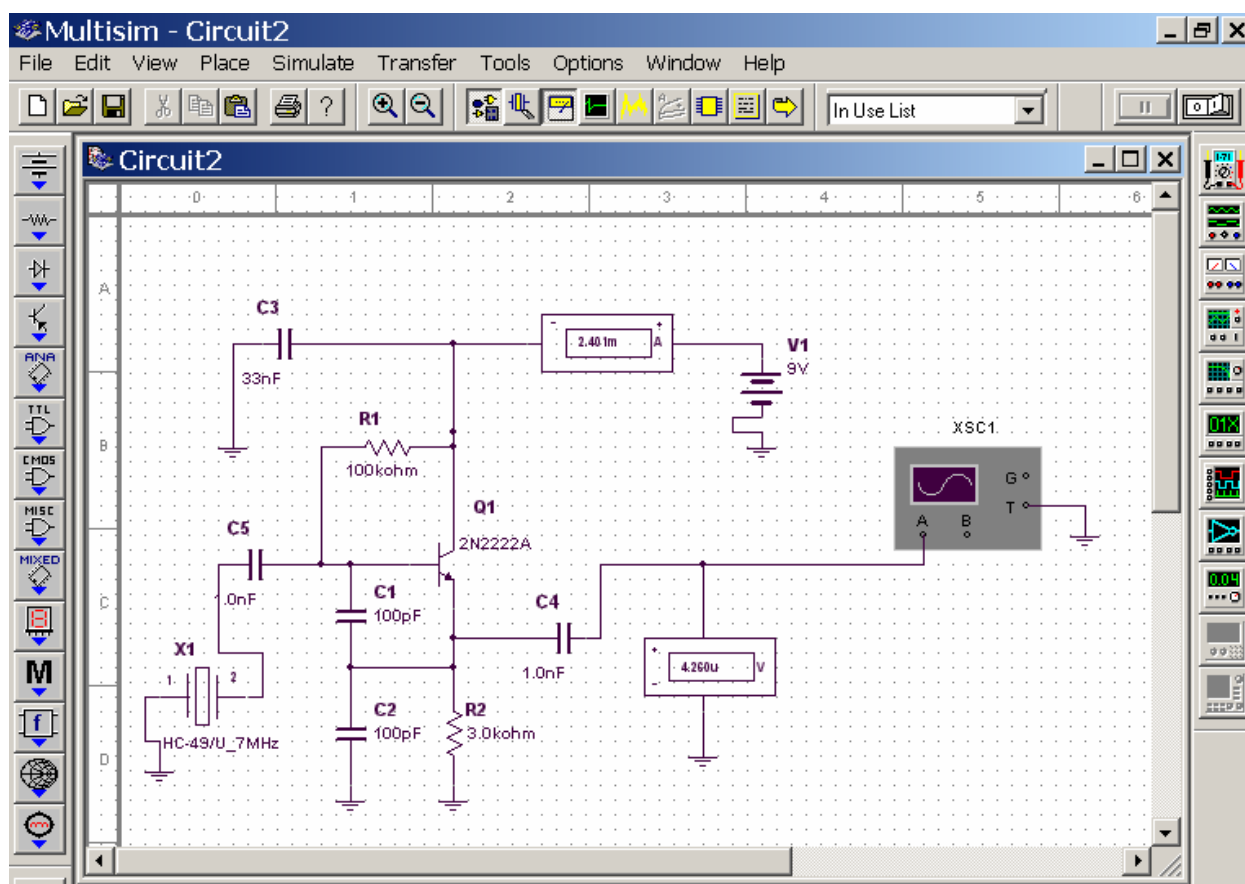


Рис. 3. Окно Multisim 2001 с измененными цветами

Окно программы **EWB 5.12** содержит поле меню, которое располагается в самой верхней части окна, ниже располагается линейка исполняемых команд, а еще ниже находится линейка библиотек компонентов и контрольно-измерительных приборов.

В рабочем поле программы располагается моделируемая схема с подключенными к ней изображениями контрольно-измерительных приборов.

Окно программы **Multisim 2001** содержит поле меню, ниже которого располагается линейки исполняемых команд, справа (вертикально) располагается линейка контрольно-измерительных приборов, а слева (вертикально) располагается линейка компонентов.

Сразу хочу предупредить, что, несмотря на то, что программа **Multisim 2001** имеет гораздо большее число компонентов и инструментов, точность выполнения процесса моделирования в обоих случаях практически одинаковая. Так что не стоит гнаться за обилием и красочностью.

И та и другая программы позволяют к созданной схеме (к созданному проекту) подключить отдельное небольшое окно с описанием схемы (description), но к сожалению, только на английском языке.

При необходимости каждый из измерительных приборов (двойным щелчком мышки на изображении прибора) может быть развернут для установки режимов его работы на наблюдения результатов.

Следует упомянуть также о наличии подсвечиваемых подсказок назначения всех кнопок и компонентов и инструментов.

В поле меню программы **EWB 5.12** располагаются следующие пункты меню:

File, Edit, Circuit, Analysis, Window, Help. Рассмотрим более подробно каждый из пунктов этого меню.

Пункт меню File

Пункт меню **File** предназначен для загрузки и записи файлов, получения твердой копии выбранных для печати составных частей схемы, а также для импорта/экспорта файлов в форматах других систем моделирования и программ разработки печатных плат.

1. Первые четыре команды этого меню: **New** (<CTRL>+<N>), **Open...** (<CTRL>+<O>), **Save** (<CTRL>+<S>), **Save As...** – типичные для Windows команды работы с файлами и поэтому пояснений не требуют. Для этих команд имеются кнопки с стандартным изображением. Схемные файлы программы **EWB 5.12** имеют расширение .ewb – аналого-цифровые схемы для **EWB 5.0** и выше.
2. **Revert to Saved...** – стирание всех изменений, внесенных в текущем сеансе редактирования, и восстановление схемы в первоначальном виде.
3. **Import** – копировать из какой-то папки необходимый файл.
4. **Export** – копировать в нужную папку файл либо с расширением *.CIR, либо с расширением *.PLC для программы **EWB Layout**.
5. **Print...** (<CTRL>+<P>) – выбор данных для вывода на принтер: Schematic – схема (опция включена по умолчанию); Description – описание к схеме; Part list – перечня выводимых на принтер документов; Label list – список обозначений элементов схемы; Model list – списка имеющихся в схеме компонентов; Subcir – подсхем (частей схемы, являющихся законченными функциональными узлами, обозначаемых прямоугольниками с названием внутри); Analysis options – перемена режимов моделирования; Instruments – список приборов. В этом же подменю можно выбрать опции печати (кнопка Setup) и отправить материал в принтер (кнопка Print). В программе EWB 5.0 (и выше) предусмотрена также возможность изменения масштаба выводимых на принтер данных в пределах от 20 до 500%.
6. **Print Setup...** – настройка принтера.
7. **Exit** (<ALT>+<F4>) – выход из программы.
8. **Install...** – установка дополнительных программ с гибких дисков.
9. **Export to PCB** – составление списков соединений схемы в формате **OrCAD** других программ разработки печатных плат.
10. **Import from SPICE** – импорт текстовых файлов описания схемы и задание на моделирование в формате SPICE (с расширением .cir) и автоматическое построение схемы по ее текстовому описанию.
11. **Export to SPICE** – составление текстового описания схемы и задание на моделирование в формате SPICE.

Пункт меню Edit

Пункт меню **Edit** позволяет выполнять команды редактирования схем и копирования из рабочего окна экрана.

1. **Cut** (<CTRL> + <X>) – стирание (вырезание) выделенной части схемы с сохранением ее в буфере обмена (Clipboard). Выделение одного компонента производится щелчком мыши на изображении компонента. Для выделения части схемы или нескольких компонентов необходимо поставить курсор мыши в левый

угол соображаемого прямоугольника, охватывающего выделяемую часть, нажать левую кнопку мыши и, не отпуская ее, протянуть курсор по диагонали этого прямоугольника, контуры которого появляются уже в начале движения мыши, затем отпустить кнопку. Выделенные компоненты окрашиваются в красный цвет.

2. **Copy** (<CTRL> + <C>) – копирование выделенной части схемы в буфер обмена.
3. **Paste** (<CTRL> + <V>) – вставка содержимого буфера обмена на рабочее поле программы. Поскольку в **EWB** нет возможности помещать импортируемое изображение схемы или ее фрагмента в точно указанное место, то непосредственно после вставки, когда изображение еще является отмеченным (выделено красным) и может оказаться наложенным на создаваемую схему, его можно переместить в нужное место клавишами курсора или мышью. Таким же образом перемещаются и предварительно выделенные фрагменты уже имеющейся на рабочем поле схемы.
4. **Delete** () – стирание выделенной части схемы.
5. **Select All** (<CTRL> + <A>) – выделение всей схемы.
6. **Copy as Bitmap** – по этой команде изображенная в рабочем окне схема копируется в буфер обмена как картинка с расширением *.BMP.
7. **Show Clipboard** – показать содержимое буфера обмена.

Пункт меню Circuit

Пункт меню **Circuit** используется при подготовке схем, а также для задания параметру моделирования.

1. **Rotate** – поворот выделенного компонента на 90°.
2. **Flip Horizontal** – зеркальное изображение выделенного компонента относительно горизонтальной оси.
3. **Flip Vertical** – зеркальное изображение выделенного компонента относительно вертикальной оси.
4. **Component Properties** – выдает окно редактирования, относящееся к выделенному компоненту, в котором можно производить редактирование основных свойств.
5. **Create Subcircuit** – выделенный компонент выводится в отдельное окно, потом его можно использовать.
6. **Zoom In** (<CTRL>+<++>) – увеличение размера изображения.
7. **Zoom Out** (<CTRL>+<+>) – уменьшение размера изображения.
8. **Schematic Options** – изменение всех основных свойств изображения: Grid (сетка), Show/Hide (показывать или нет на экране), Fonts (выбор шрифта, кроме русского), Printing (изменять размер печатаемого принтером изображения, в процентах).

Пункт меню Analysis

Пункт меню **Analysis** используется при запуске в работу находящейся в рабочем окне программы схемы (при процессе моделирования).

1. **Activate** (<CTRL> + <G>) – запуск моделирования, соответствует нажатию кнопки запуска, расположенной в правом верхнем углу экрана.
2. **Pause** (<F9>) – прерывание моделирования.

3. **Stop** (<CTRL> + <T>) – остановка моделирования. Эта и предыдущая команды могут быть выполнены также нажатием кнопки, расположенной в правом верхнем углу экрана.
4. **Analysis Options** (<CTRL>+<Y>) – выдает окно редактирования всех основных свойств, изменять какое-либо из этих свойств не следует до полного освоения программы.
5. **DC Operating Point** – выдает на экран окно с графическим результатом моделирования (осциллограмма) и данные анализа по постоянному току.
6. **AC Frequency** – выдает на экран окно для редактирования нижнего и верхнего предела примененных при моделировании частот.
7. **Transient** – выдает на экран окно для редактирования временных пределов для моделирования.
8. **Fourier** – выдает окно для редактирования длительности шагов при моделировании.
9. **Monte Carlo** – выдает окно для специального метода моделирования, называемого Monte Carlo.
10. **Display Graphs** – выдает специальное окно, в котором результат моделирования схемы представлен в виде графической зависимости (в виде графика).

Пункт меню Window

Пункт меню **Window** содержит подпункт **Arrange**, который имеет два подпункта, при этом значение имеет подпункт **Description** (<CTRL>+<D>), при выборе которого в нижней части экрана создается специальное окно, которое служит для описания схемы.

Пункт меню Help

Этот пункт меню, по моему мнению, в комментариях не нуждается.

Меню программы Multisim 2001

Меню программы **Multisim 2001** содержит следующие пункты:

File, Edit, View, Place, Simulate, Transfer, Tools, Options, Window и Help.

В мои планы совсем не входит подробное описание работы программы **Multisim 2001**, т.к. этот материал может занять целую книгу. Поэтому я приведу только основные отличия этой программы от **EWB 5.12**.

- ☐ Программа **Multisim 2001** может работать не только с отдельными схемами, но и с проектами устройств. Для этого в пункте меню **File** имеются соответствующие команды.
- ☐ Пункты меню **Edit, View** и **Place** каких-то особенностей не имеют. В этих пунктах практически содержатся подпункты, аналогичные подпунктам меню программы **EWB 5.12**. Разобраться будет не трудно.
- ☐ В пункте меню **Simulate** задействованы различные способы моделирования.
- ☐ **Multisim 2001** файлы отдельных схем и проектов трансформировать в форматы других программ (пункт меню **Transfer**), например, в формат **OrCAD**.
- ☐ Программа **Multisim 2001** может задействовать другие вспомогательные программы посредством пункта меню **Tools**.

- ❑ **Multisim 2001** имеет возможность в большом диапазоне менять цвета и фона и компонентов, выполнять рисунки компонентов или в американском, или в немецком стандартах (пункт меню **Options**). Все эти изменения могут быть установлены для вывода по умолчанию. На рис. 4 показано рабочее окно программы, в котором схема генератора выполнена по стандартам DIN (немецким). Сравните рис. 4 с рис. 1, рис. 2 и рис. 3.
- ❑ **Multisim 2001** позволяет менять расположение текстов названия компонента и его номинала по отношению к картинке самого компонента.
- ❑ В программе добавлены некоторые измерительные приборы, введены и другие дополнения и изменения.

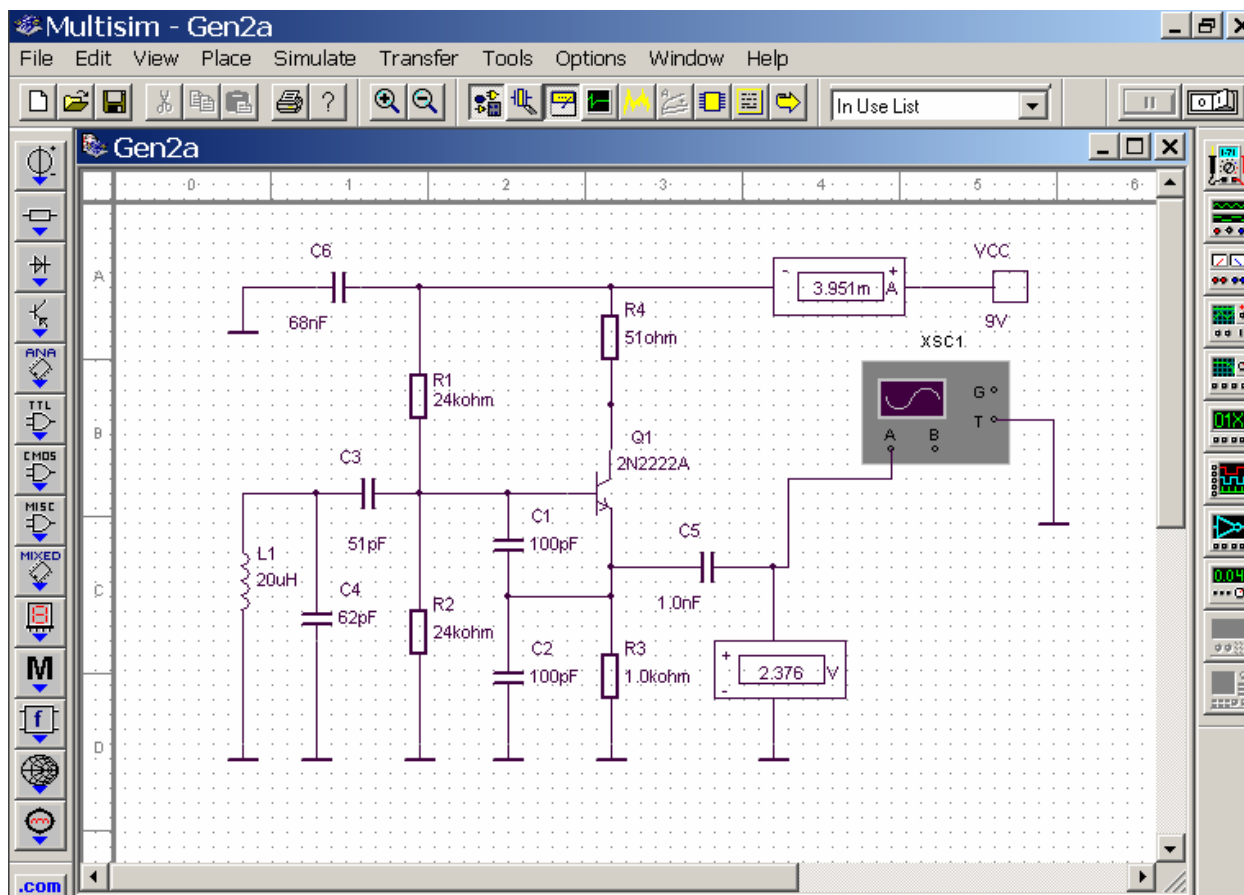


Рис. 4. Измененное рабочее окно программы Multisim 2001

Технология создания схем

Как только вы установили программу **EWB 5.12** (или аналогичную), необходимо просмотреть все имеющиеся в составе этой программы примеры схем и проектов. Делается это через главное меню программы выбором команд **File => Open**. Сразу же появляется окно выбора файла **Open Circuit File**, в котором следует из директории **EWB512** выбрать папку **CIRCUITS**. На рис. 5 показано окно выбора файла.

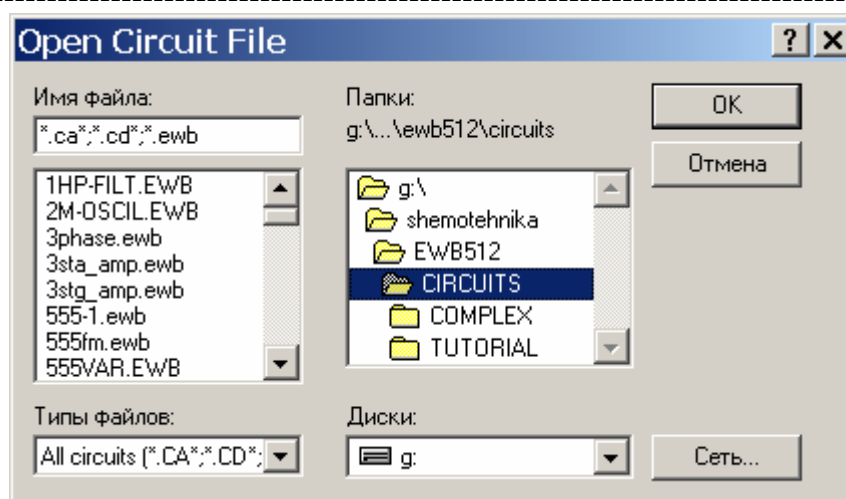


Рис. 5. Окно выбора файла

На рис. 6 показано окно программы с открытым проектом 2M-OSCIL.EWB.

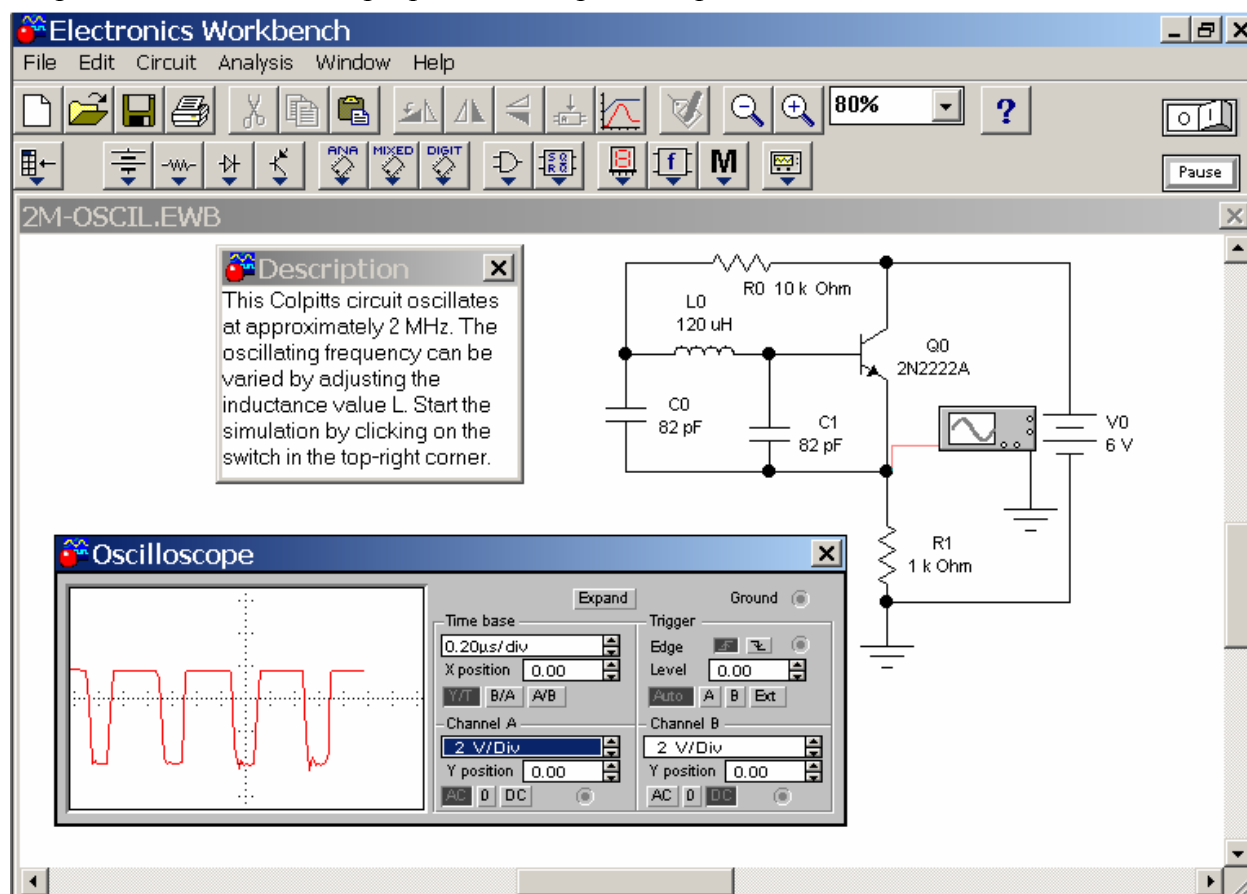


Рис. 6. Проект в окне программы EWB 5.12

Будет очень хорошо, если вы просмотрите все имеющиеся в составе программы примеры и сделаете их краткое описание в специальной тетрадке. В дальнейшем, если вам потребуется, например, создать схему генератора, то вполне возможно, что кое-что похожее можно будет взять из имеющихся примеров, который затем можно будет доработать в нужном направлении. Зачем изобретать колесо, если оно уже имеется готовое?

Прежде чем начать процесс создания в **EWB 5.12** чертежа принципиальной схемы какого либо устройства, советую на листе бумаги подготовить эскиз этой схемы с примерным

расположением компонентов и с учетом возможности оформления отдельных фрагментов в виде подсхем. Целесообразно также ознакомиться с библиотекой готовых схем программы (или записей в своей тетрадке) для выбора аналога (прототипа) использования имеющихся решений в качестве подсхем.

Размещение компонентов

В общем случае процесс создания схемы начинается с размещения на рабочем поле **EWB 5.12** (или аналогичной) компонентов из библиотек программы в соответствии с подготовленным эскизом. Разделы библиотеки программы **EWB 5.12** поочередно могут быть вызваны с помощью кнопок-картинок, при этом необходимо щелкнуть мышкой на соответствующей кнопке. На рис. 7 пронумерованы все 9 кнопок, которые открывают доступ к библиотекам компонентов, расположенным на этом же рисунке ниже. При установке курсора на кнопку возникает всплывающая подсказка с названием соответствующей библиотеки компонентов.

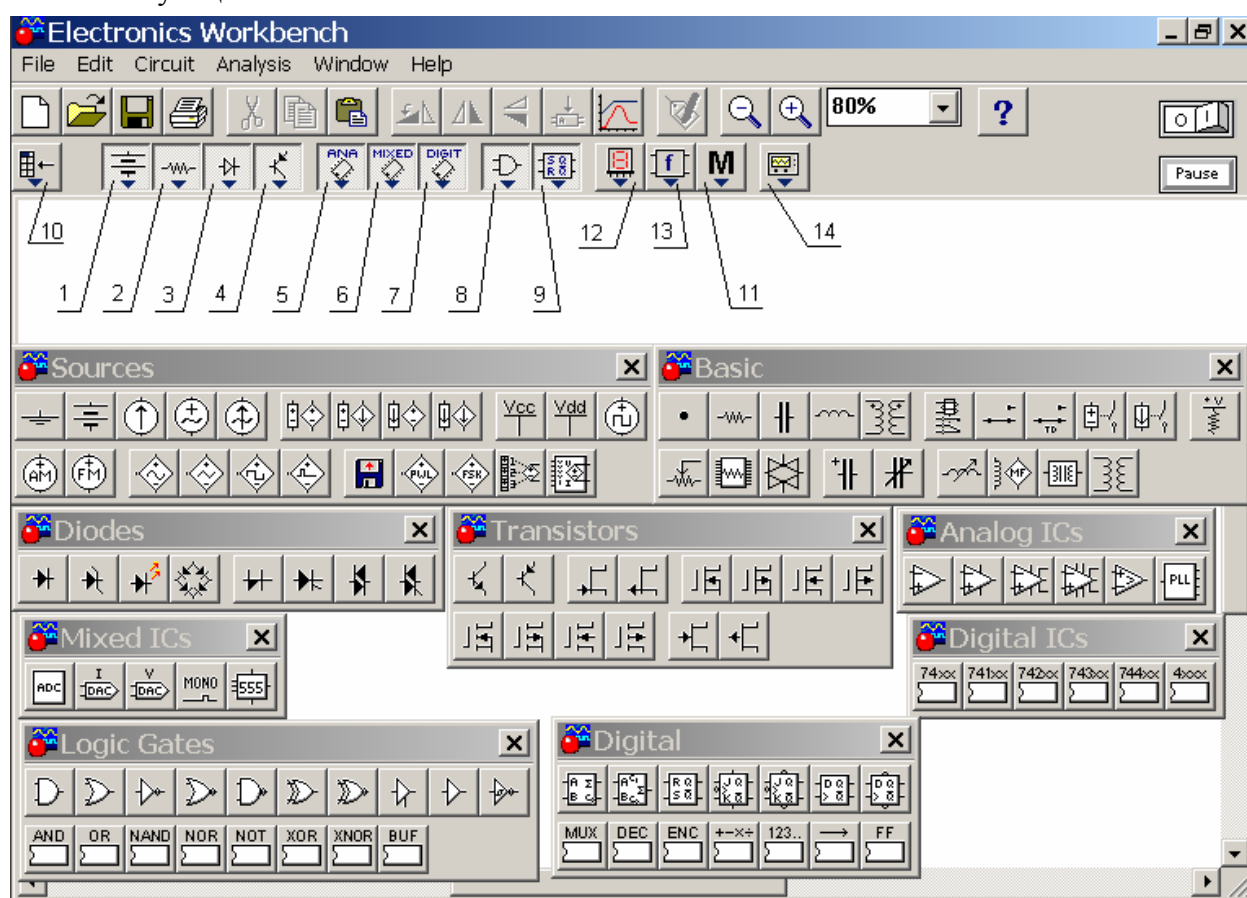


Рис. 7. Библиотеки компонентов

Необходимый для создания схемы значок (символ) компонента переносится из каталога в заданное место на рабочее поле программы движением мыши при нажатой левой кнопке, после чего кнопка отпускается. Для фиксирования символа компонента на заданном месте окна производится щелчок мышкой на некотором расстоянии от значка компонента.

На этом этапе необходимо предусмотреть место для размещения контрольных точек и картинок контрольно-измерительных приборов.

Чтобы установить для данного компонента необходимую величину значения, нужно выполнить двойной щелчок мышкой на значке этого компонента. На рис. 8 показан результат двойного щелчка мышкой на поле значка полевого транзистора. В результате

этого действия возникает окно редактирования, в котором следует установить необходимую величину и нажать кнопку <OK>.

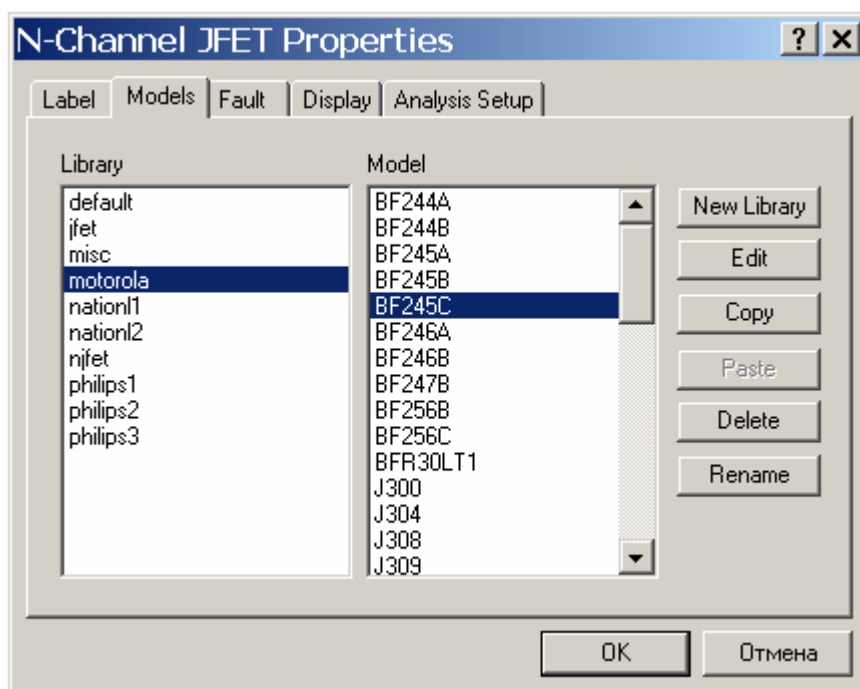


Рис. 8. Окно редактирования номинала полевого транзистора

В программе **Multisim 2001** после двойного щелчка мышкой на изображении компонента на экране появляется окно, показанное на рис. 9, в котором показаны основные параметры и значения этого компонента.

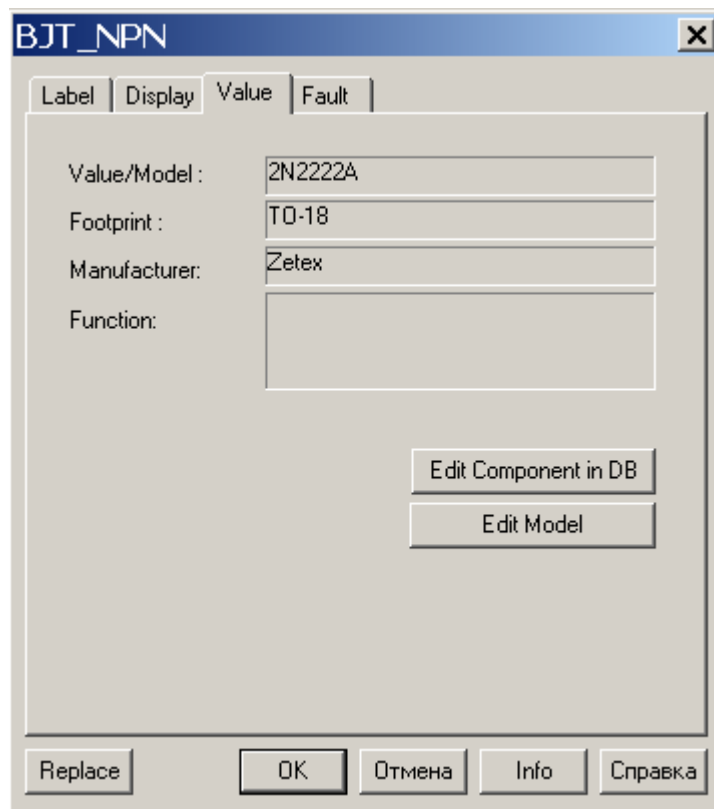


Рис. 9. Окно с информацией

Если необходимо внести какое-то изменение, то следует нажать на клавишу, расположенную в левом нижнем углу окна. Тогда появится окно выбора нового значения для заданного компонента, показанное на рис. 10.

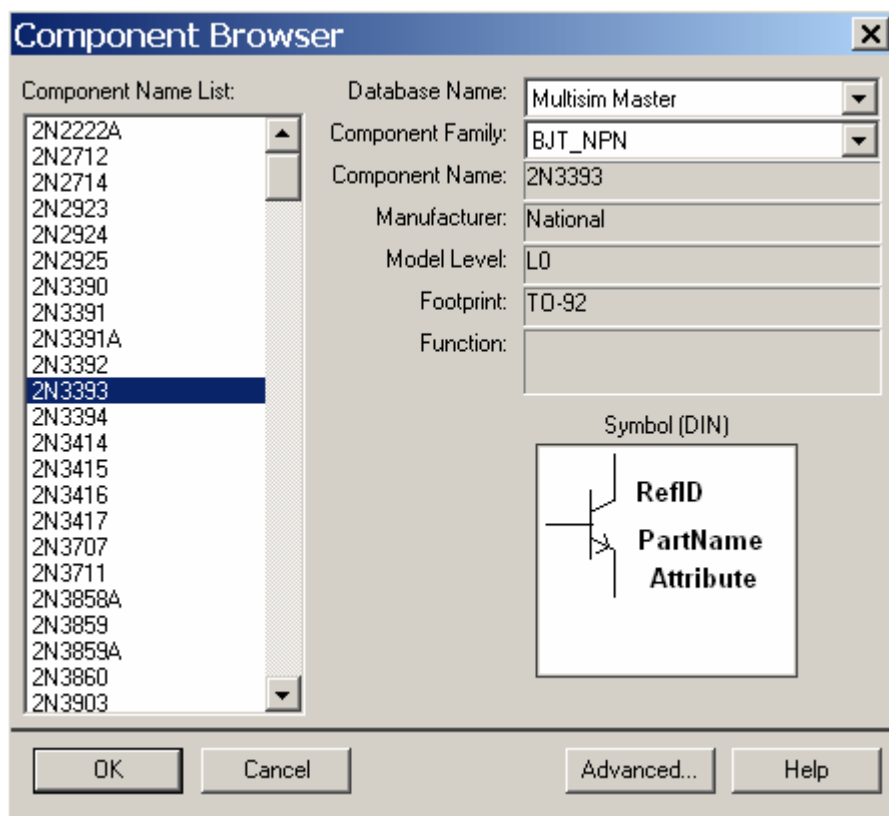


Рис. 10. Окно редактирования данных транзистора

В раскрывающемся диалоговом окне устанавливаются требуемые параметры (сопротивление резистора, тип транзистора и т.д.) и выбор подтверждается нажатием кнопки <OK> или клавиши <Enter>.

Если в схеме используются компоненты одинакового номинала (например, резисторы с одинаковым сопротивлением), то номинал такого компонента рекомендуется задать непосредственно в каталоге библиотеки, и затем переносить компоненты в нужном количестве на рабочее поле.

Соединение компонентов линиями-проводниками

После размещения компонентов производится соединение их выводов проводниками. При этом необходимо учитывать, что к выводу компонента можно подключить только один проводник. Для выполнения подключения курсор мышкой подводится к выводу компонента и после появления прямоугольной площадки синего цвета (или кружок с крестиком) нажимается левая кнопка и появляющийся при этом проводник протягивается к выводу другого компонента до появления на нем такой же прямоугольной площадки (или кружок с крестиком), после чего кнопка мышки отпускается, и соединение готово. В программе **Multisim 2001** после отпускания кнопки мышки следует тут же выполнить её краткосрочное нажатие.

При необходимости подключения к этим выводам других проводников в библиотеке **Basic** выбирается точка (символ соединения) и переносится на установленный проводник. Чтобы точка почернела (первоначально она имеет красный цвет), необходимо щелкнуть мышью по свободному месту рабочего поля. Если эта точка действительно имеет электрическое соединение с проводником, она полностью окрашивается черным цветом.

Если виден след от пересекающего проводника, то электрического соединения нет и точку необходимо установить заново. После удачной установки к точке соединения можно подключить еще два проводника.

Если соединение нужно разорвать, курсор подводится к одному из выводов компонентов или точке соединения и при появлении площадки нажимается левая кнопка, проводник отводится на свободное место рабочего поля, после чего кнопка отпускается. Чтобы убрать соединительную линию, необходимо установить на неё курсор и щелкнуть левой кнопкой мышки. Линия при этом либо изменит свой цвет, либо станет более толстой, либо на концах линии появятся небольшие квадратики – все это говорит о том, что данная линия выбрана. Теперь можно нажать на клавиатуре компьютера клавишу <Delete> и, при необходимости, подтвердить удаление.

Точно таким же методом удаляется ненужный компонент.

Второй метод удаления или изменение положения компонента – установить курсор на картинку компонента и нажать правую кнопку мышки. В появившемся диалоговом окне следует выбрать нужное действие (удалить, повернуть или зеркально отобразить) и нажать клавишу <OK>.

Следует отметить, что место прокладки линий соединительных проводников выбирается автоматически, при этом препятствующие компоненты и другие проводники огибаются по ортогональным направлениям (по горизонтали или по вертикали).

Компонент «Точка соединения» может быть использована не только для подключения проводников, но и для введения надписей (например, указания величины тока в проводнике, его функционального назначения и т.п.). Для этого необходимо дважды щелкнуть мышкой по точке и в раскрывшемся окне ввести необходимую запись (не более 14 символов), причем запись можно смещать вправо путем введения нужного количества пробелов. Это свойство может быть использовано и в том случае, когда позиционное обозначение компонента (например, C1 или R10) накладывается на рядом проходящий проводник или другие элементы схемы.

В программе **Multisim 2001** текст с номиналом или обозначением компонента можно перемещать самостоятельно, отдельно от изображения компонента.

Если необходимо переместить отдельный сегмент проводника, к нему подводится курсор, нажимается левая кнопка мышки и, после появления в вертикальной или горизонтальной плоскости двойной стрелки, производятся нужные перемещения.

Подключение контрольно-измерительных приборов

Подключение к схеме контрольно-измерительных приборов производится аналогично. Причем для таких приборов как осциллограф или логический анализатор соединения целесообразно проводить цветными проводниками, поскольку их цвет определяет цвет соответствующей осциллограммы. Цветные проводники целесообразны не только для обозначения проводников одинакового функционального назначения, но и для проводников, находящихся в разных частях схемы (например, проводники шины данных до и после буферного элемента). Для изменения цвета проводной линии следует установить курсор на эту линию и сделать двойной щелчок мышкой. При этом появляется диалоговое окно, в котором следует выбрать нужный цвет и нажать клавишу <OK>. Примеры такого разноцветного оформления можно найти в каталогах готовых схем.

При обозначении компонентов необходимо придерживаться рекомендаций и правил, предусмотренных ЕСКД (единой системой конструкторской документации). Что касается пассивных компонентов, то при выборе их обозначений особых трудностей не возникает. Трудности возникают при выборе активных элементов микросхем, транзисторов и т.п.,

особенно при необходимости использования компонентов отечественного производства, когда требуется установить точное соответствие функциональных обозначений выводов и параметров зарубежных и отечественных компонентов. Для облегчения этой задачи можно воспользоваться таблицами соответствия зарубежных и отечественных компонентов.

Импортирование частей из другой схемы

При импортировании в создаваемую схему другой схемы или ее фрагментов целесообразно действовать в следующей последовательности:

- ❑ Командой **File=>Save As** записать в файл создаваемую схему, указав его имя в диалоговом окне (расширение имени файла указывать не обязательно, программа сделает это автоматически);
- ❑ Командой **File=>Open** загрузить на рабочее поле импортируемую схему стандартным для Windows образом;
- ❑ Командой **Edit=>Select All** выделить схему, если импортируется схема полностью, или выделить ее нужную часть;
- ❑ Командой **Edit=>Copy** скопировать выделенную схему в буфер обмена;
- ❑ Командой **File=>Open** загрузить создаваемую схему в рабочее окно программы;
- ❑ Командой **Edit=>Paste** вставить содержимое буфера обмена на рабочее поле, после вставки импортируемая схема будет выделена (и отмечена красным цветом) и может оказаться наложенной на создаваемую схему;
- ❑ Клавишами управления курсором или мышью отбуксируйте импортированную часть в нужное место, после чего можно отменить выделение;
- ❑ После подключения импортированной части схемы необходимо щелчками мыши пройти по всем ее компонентам, чтобы исключить их смещения, возникающие при буксировке и приводящие к ступенчатым искажениям проводников.

Перемещения отдельных фрагментов схемы при ее компоновке выполняются вышеописанным образом после выделения фрагмента – сначала нужный фрагмент схемы выделяется, затем выделенная часть передвигается в заданное место.

После подготовки схемы рекомендуется составить ее описание (окно редактора текста вызывается из меню **Windows=>Description**), в котором указывается ее назначение после проведения моделирования указываются его результаты. К сожалению, программа **EWB 5.12** позволяет вводить описание только на английском языке. Кроме того, в **EWB 5.12** не предусмотрены средства для редактирования графических изображений компонентов, а также введения новых шрифтов.

Перейдем теперь к краткому обзору библиотечных компонентов программы **EWB 5.12**. При описании библиотек после названия компонента в скобках указываются назначаемые пользователем параметры. Например, для конденсатора это емкость, значение которой может быть установлено с помощью диалогового окна, а также температурные коэффициенты емкости (ТКЕ), для операционного усилителя – тип, который может быть высвечен с помощью меню, и т.д.

Группа Favorites – вспомогательные компоненты

В **EWB 5.12** самый крайний справа раздел называется **Favorites**. Заполнение раздела моделями компонентов или подсхем осуществляется программой автоматически

одновременно с загрузкой схемного файла и очищается после окончания работы с ним. На рис. 7 эта группа обозначена номером 10.

Группа Sources – различные компоненты-источники

Группа **Sources** показана на рис. 7 под номером 1 и содержит компоненты, которые используются как входящие сигналы или как источники питания. Все входящие в эту группу компоненты расположены на рис. 11.

Компоненты на этом и на последующих рисунках пронумерованы для того, чтобы при их описании можно было ссылаться на эти номера. При описании компонентов сразу после названия компонента в скобках представлены единицы измерения, соответствующие этому компоненту.

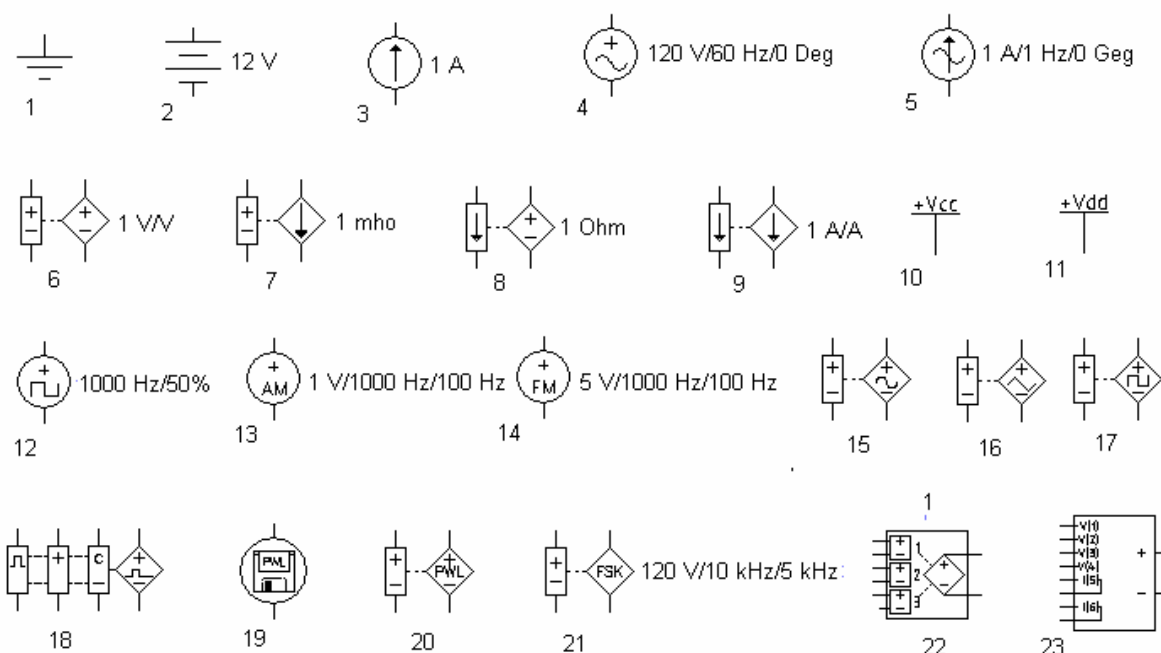


Рис. 11. Компоненты группы Sources

На рис. 11 под соответствующими номерами находятся следующие компоненты:

№ 1 – заземление (метка).

№ 2 – батарея как источник напряжения питания (напряжение).

№ 3 – источник постоянного тока (ток).

№ 4 – источник переменного синусоидального напряжения (эффективное значение напряжения, частота, фаза).

№ 5 – источник переменного синусоидального тока (ток, частота, фаза).

№ 6 – источник напряжения, управляемый напряжением (коэффициент передачи).

№ 7 – источник напряжения, управляемый током (коэффициент передачи).

№ 8 – источник тока, управляемый напряжением (коэффициент передачи).

№ 9 – источник тока, управляемый током (коэффициент передачи).

№ 10, 11 – источники напряжения питания устройства.

№ 12 – генератор однополярных прямоугольных импульсов (амплитуда, частота, коэффициент заполнения).

№ 13 – генератор амплитудно-модулированных колебаний (напряжение и частота несущей, коэффициент и частота модуляции; на значке графического изображения компонента коэффициент модуляции не указан).

№ 14 – генератор фазомодулированных колебаний (напряжение и частота несущей, индекс и частота модуляции; на значке компонента индекс модуляции не указан).

№ 15, 16, 17 – напряжение, управляемое переменным напряжением с синусоидальным, треугольным и прямоугольным по форме сигналом.

№ 19 – источник сигнала подается от внешнего устройства.

№ 20, 21 – источник напряжения, управляемый внешним и фазомодулированным сигналом.

№ 22 – полиномиальный источник питания (коэффициент полинома).

№ 23 – источник питания с переключаемыми напряжениями.

Группа Basic – базовые пассивные компоненты

На рис. эта группа находится под номером 2. Компоненты этой группы показаны на рис. 12.

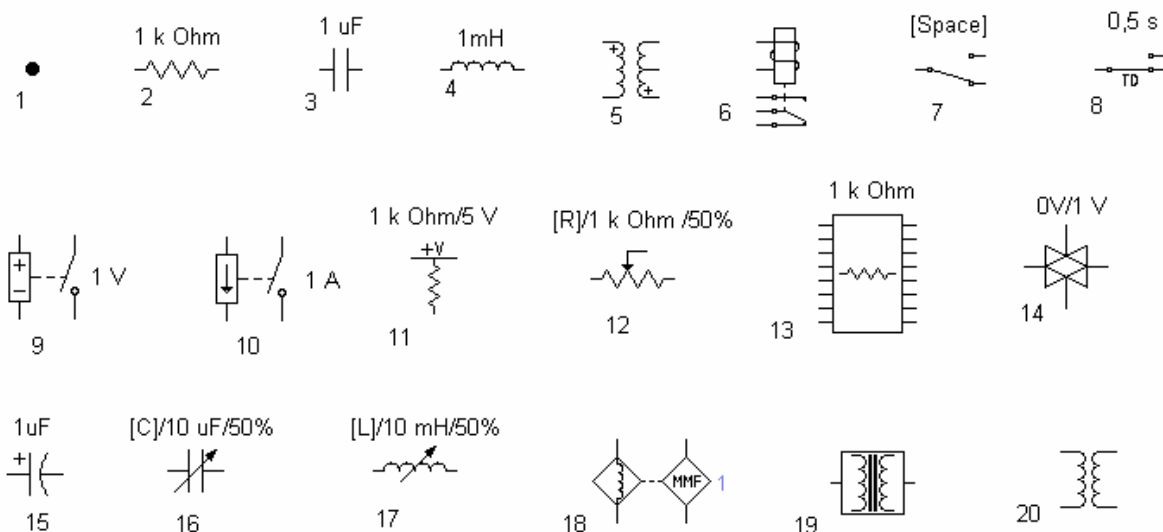


Рис. 12. Компоненты группы Basic

№ 1 – точка соединения проводников, используемая также для введения на схеме надписей длиной не более 14 символов. Например, если на схеме требуется указать значение тока в какой-либо ветви, то на проводнике этой ветви ставится точка, затем двойным щелчком по точке вызывается диалоговое окно, в котором и выполняется соответствующая надпись.

№ 2 – резистор (сопротивление).

№ 3 – конденсатор (емкость).

№ 4 – контурная катушка (индуктивность).

№ 5 – Трансформатор с возможностью редактирования:

- Коэффициента трансформации (Primary-to-secondary turns ratio, n);
- Индуктивности рассеяния (Leakage inductance L_e , Гн);
- Индуктивности первичной обмотки (Primary winding resistance R_p , Ом);
- Сопротивление вторичной обмотки (Secondary winding resistance R_s , Ом).

№ 6 – электромагнитное реле с контактами (ток срабатывания и отпускания, индуктивность обмотки).

№ 7 – переключатель, управляемый нажатием задаваемой клавиши клавиатуры (по умолчанию – клавиша пробела).

№ 8 – переключатель, автоматически срабатывающий через заданное время (время включения и выключения, с).

№ 9, 10 – выключатель, срабатывающий в заданном диапазоне входных напряжений или токов (напряжение или ток включения и выключения).

№ 11 – источник постоянного напряжения с последовательно включенным резистором (напряжение, сопротивление).

№ 12 – Потенциометр, параметры задаются с помощью диалогового окна, в котором параметр Key определяет символ клавиши клавиатуры (по умолчанию <R>), нажатием которой сопротивление уменьшится на заданную величину в % (параметр Increment, подвижный контакт движется влево) или увеличивается на такую же величину нажатием комбинации клавиш <Shift> + <R> (подвижный контакт движется вправо), второй параметр – номинальное значение сопротивления, третий – начальная установка сопротивления в % (по умолчанию – 50%).

№ 13 – сборка (пакет) из резисторов, имеющих одинаковую величину сопротивления (сопротивление).

№ 14 – переключатель, управляемый напряжением (напряжение).

№ 15 – электролитический конденсатор (емкость).

№ 16 – конденсатор переменной емкости (аналогично потенциометру).

№ 17 – катушка переменной индуктивности (аналогично потенциометру).

№ 18 – катушка с сердечником в виде спирали (индуктивность).

№ 19 – катушки с магнитным сердечником (индуктивность, магнитная проницаемость).

№ 20 – трансформатор с нелинейной характеристикой.

Группа Diodes – различные диоды

На рис. 7 эта группа обозначена номером 3. Картинки компонентов из этой группы изображены на рис. 13.

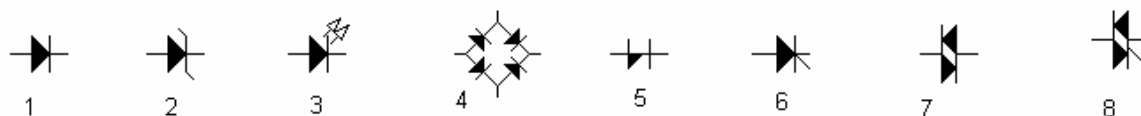


Рис. 13. Компоненты из группы Diodes

№ 1 – полупроводниковый диод (тип).

№ 2 – стабилитрон (тип).

№ 3 – светодиод (тип).

№ 4 – выпрямительный мост (тип).

№ 5 – диод Шокли (тип).

№ 6 – тиристор или динистор (тип).

№ 7 – симметричный динистор или диак (тип).

№ 8 – симметричный тринистор или триак (тип).

Группа Transistors – различные транзисторы

На рис. 7 эта группа обозначена номером 4. Картинки компонентов из этой группы изображены на рис. 14.

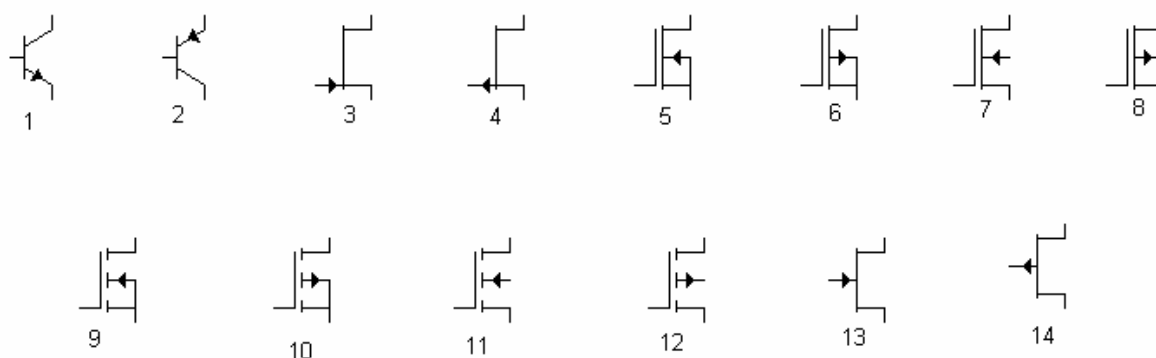


Рис. 14. Компоненты группы Transistors

№ 1, 2 – биполярные $n-p-n$ и $p-n-p$ транзисторы соответственно (тип).

№ 3, 4 – полевые транзисторы с p - и n - типов соответственно (тип).

№ 5, 6, 7, 8 – полевые МОП-транзисторы с изолированным затвором n -канальные с обогащенной подложкой и p -канальные с канальными с обедненной подложкой, с разделенными или соединенными выводами подложки и истока (тип).

№ 9, 10, 11, 12 – полевые МОП-транзисторы с изолированным затвором n -канальные с обогащенным затвором и p -канальные с канальными с обедненным затвором, с разделенными или соединенными выводами подложки и истока (тип).

№ 13, 14 – полевые арсенид-галлиевые транзисторы с каналами n - и p - типов соответственно (тип).

Группа Analog ICs – аналоговые микросхемы

На рис. 7 эта группа обозначена номером 5. Картинки компонентов из этой группы изображены на рис. 15.

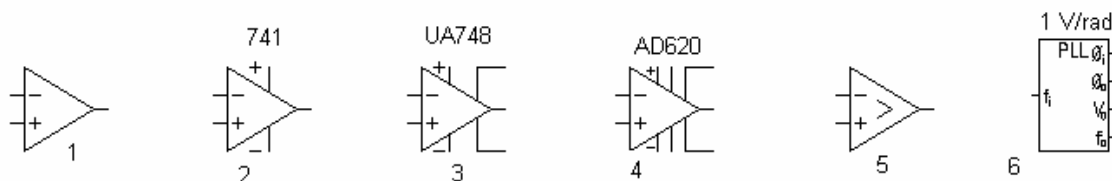


Рис. 15. Компоненты из группы Analog ICs

- № 1 – линейная модель операционного усилителя с 3 выводами (тип).
 № 2 – нелинейная модель операционного усилителя с 5 выводами (тип 741).
 № 3 – нелинейная модель операционного усилителя с 7 выводами (тип UA748).
 № 4 – нелинейная модель операционного усилителя с 9 выводами (тип AD620).
 № 5 – компаратор (тип).
 № 6 – микросхема Phase-Locked Loop (тип).

Группа Mixed ICs – различные микросхемы

На рис. 7 эта группа обозначена номером 6. Картинки компонентов из этой группы изображены на рис. 16.

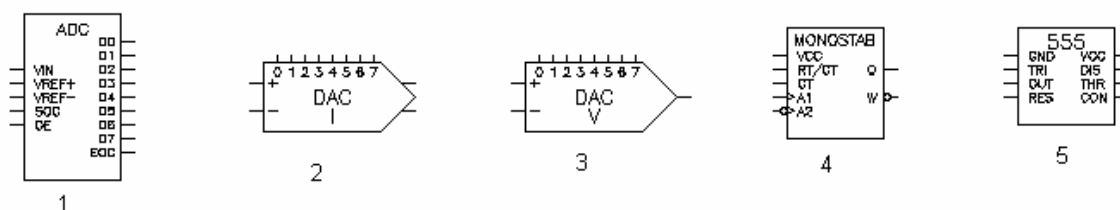


Рис. 16. Компоненты из группы Mixed ICs

- № 1 – 8-разрядный аналого-цифровой преобразователь (АЦП или ADC). Первые два параметра обозначают диапазон преобразуемых напряжений, третий – время преобразования, четвертый – цену младшего разряда.
 № 2 – 8-разрядный цифро-аналоговый преобразователь (ЦАП) с внешним опорным источником напряжения и парафазным выходом.
 № 3 – 8-разрядный цифро-аналоговый преобразователь (ЦАП) с внешним опорным источником напряжения.
 № 4 – моностабильный мультивибратор.
 № 5 – популярная микросхема многофункционального таймера 555. Отечественный аналог – КР1006ВИ1.

Для всех указанных выше компонентов (кроме таймера) допускается редактирование в диалоговом окне следующих параметров:

- ☐ верхний уровень входного напряжения (High-Level Input Voltage V_{ih}, B);
- ☐ нижний уровень входного напряжения (Low-Level Input Voltage V_{il}, B);

- ❑ время установления при переходе от нижнего уровня к верхнему и наоборот (Propagation Delay Time, Low-to-High Level Output Tplh, Propagation Delay Time, High-to-Low Level Output Tphl, с);
- ❑ пороговое напряжение (Threshold Voltage Vth, В).

Группа Digital ICs – цифровые микросхемы

На рис. 7 эта группа обозначена номером 7. Картинки компонентов из этой группы изображены на рис. 17.

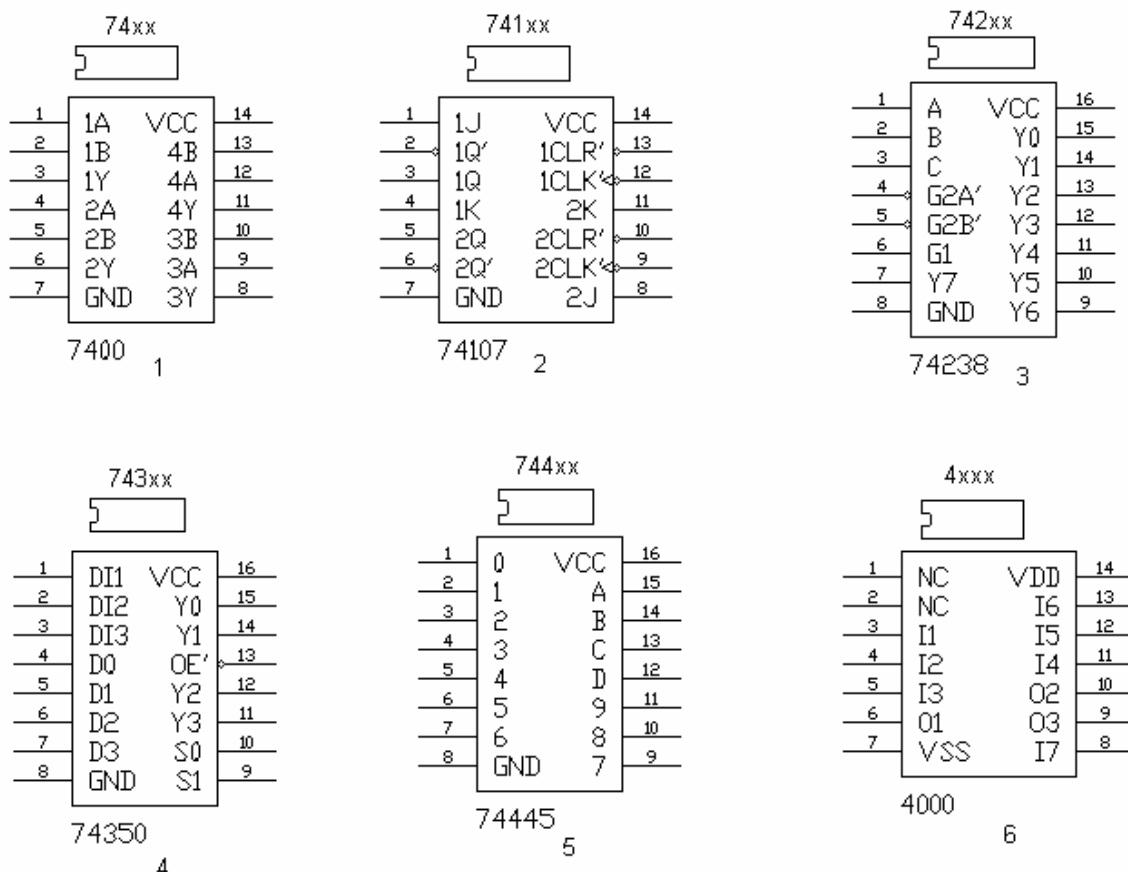


Рис. 17. Компоненты из группы Digital ICs

№ 1 – шаблон для выбора цифровых микросхем, начиная с 7400.

№ 2, 3, 4, 5 – шаблоны для выбора последующих номеров микросхем серии 7400.

№ 6 – шаблон для выбора микросхем цифровых серии 4000.

Над каждым из номеров показана схема одной из микросхем, соответствующей данному шаблону. Изображение шаблона размещено сверху над схемой.

Группа Logic Gates – логические цифровые микросхемы

На рис. 7 эта группа обозначена номером 8. Картинки компонентов из этой группы изображены на рис. 18 и рис. 19.



Рис. 18. Компоненты из группы Logic Gates

№ 1 – схематическое изображение логического элемента И (количество входов).

№ 2 – схематическое изображение логического элемента ИЛИ (количество входов).

№ 3 – схематическое изображение логического элемента НЕ (количество входов).

№ 4 – схематическое изображение логического элемента ИЛИ-НЕ (количество входов).

№ 5 – схематическое изображение логического элемента И-НЕ (количество входов).

№ 6 – схематическое изображение логического элемента ИСКЛЮЧАЮЩЕЕ ИЛИ (количество входов).

№ 7 – схематическое изображение логического элемента ИСКЛЮЧАЮЩЕЕ ИЛИ-НЕ (количество входов).

№ 8 – схематическое изображение логического элемента ТРЕХСТАБИЛЬНЫЙ БУФЕР (количество входов).

№ 9 – схематическое изображение логического элемента БУФЕР (количество входов).

№ 10 – схематическое изображение триггера Шмитта с инвертером.

В нижней части окна для выбора компонентов этой группы располагаются 8 картинок-шаблонов, которые служат для вывода на экран схематических изображений микросхем типа 4000. Соответствующие схематические изображения цифровых микросхем типа 4000 изображены на рис. 19.

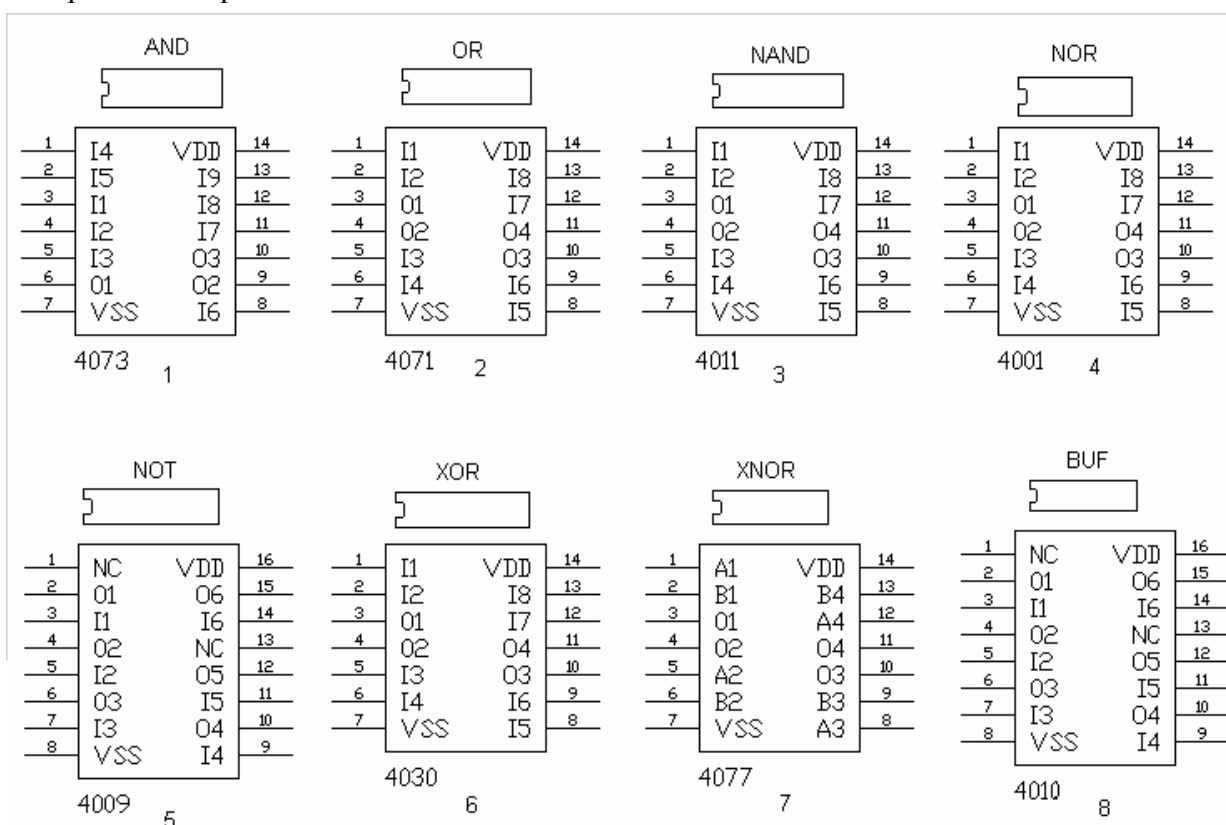


Рис. 19. Микросхемы типа 4000

Над каждым из номеров показана схема одной из микросхем, соответствующей данному шаблону. Изображение шаблона размещено сверху над схемой.

№ 1...8 – схематические изображения микросхем (тип).

Группа Digital – цифровые микросхемы

На рис. 7 эта группа обозначена номером 9. Картинки компонентов из этой группы изображены на рис. 20.

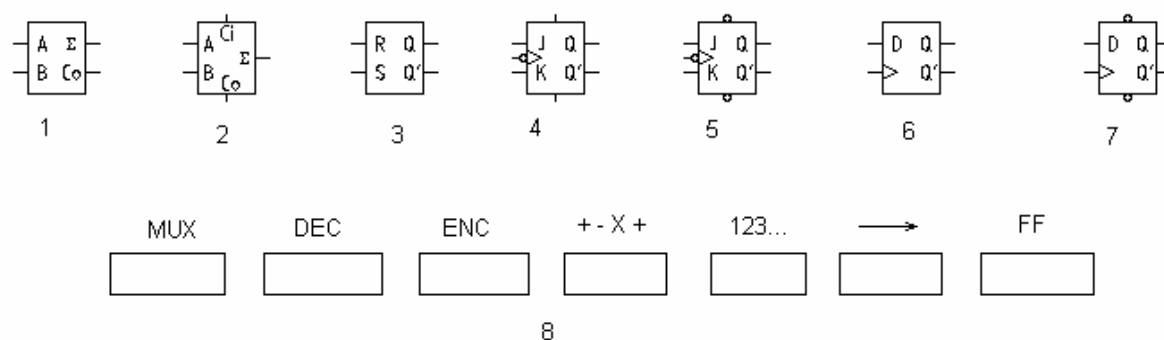


Рис. 20. Компоненты из группы Digital

№ 1 – арифметический полусумматор (тип). А, В – ввод слагаемых, Σ – выход результата суммы, Со – выход переноса.

№ 2 – полный арифметический сумматор (тип). А, В – ввод слагаемых, Σ – выход результата суммы, Со – выход переноса, Сi – ввод переноса.

№ 3 – RS – триггер (тип).

№ 4, 5 – JK – триггеры с прямым или инверсным тактовым входом и выходами предустановки (тип).

№ 6, 7 – D – триггеры без предустановки и со входами предустановки (тип).

№ 8 – под этим номером располагаются шаблоны серийных микросхем. Это – мультиплексоры, декодеры/демультиплексоры, кодеры, элементы арифметико-логических устройств (тип микросхемы).

Группа Miscellaneous – различные компоненты

На рис. 7 эта группа обозначена номером 11. Картинки компонентов из этой группы изображены на рис. 21.

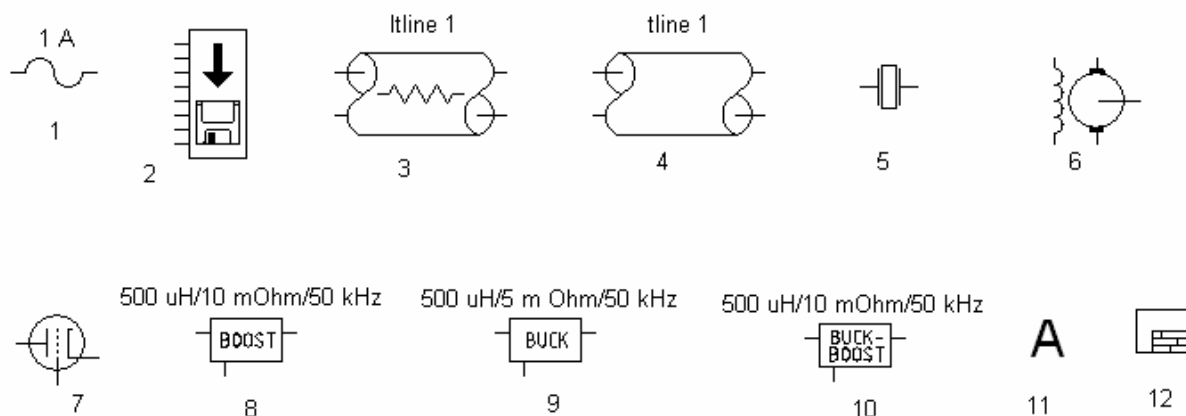


Рис. 21. Компоненты из группы Miscellaneous

№ 1 – предохранитель (ток срабатывания).

№ 2 – компонент Write Data – 8 –разрядное устройство записи данных.

№ 3 – линия передачи с потерями, характеризуемая параметрами:

- ☐ длина линии (Length of the Transmission Line Len, м);
- ☐ сопротивление на единицу длины (Resistance per unit length Rt, Ом/м);
- ☐ индуктивность на единицу длины (inductance per unit length Ct, Гн/м);
- ☐ емкость на единицу длины (Capacitance per unit length Ct, Ф/м);
- ☐ проводимость на единицу длины (Conductance per unit lengrgh Gt, Ом/м);
- ☐ количество последовательно включенных элементарных сегментов (Num Lumps n)/

№ 4 – Линия передачи без потерь с возможностью редактирования:

- ☐ волнового сопротивления (Nominal Impedance Zo, Ом).
- ☐ времени задержки распространения сигнала в линии (Propogation Time Del Td, с);
- ☐ количество последовательно включенных элементарных сегментов (Numk Lumps, n).

№ 5 – кварцевый резонатор (тип, частота).

№ 6 – коллекторный двигатель постоянного тока (напряжение возбуждения, рабочее напряжение).

№ 7 – электровакуумный триод (тип).

№ 8, 9, 10 – фильтры накопительные на переключаемых индуктивностях (индуктивность, сопротивление, частота).

№ 11 – создание текста – вывести букву А на экран и выполнить двойной щелчок.

№ 12 – оформление титульного блока – вывести значок на экран и выполнить двойной щелчок.

Группа Indicators – индикаторные приборы

Картинки компонентов из этой группы изображены на рис. 22. Слева, в верхнем углу, располагается панель индикаторов, которая появляется после нажатия на кнопку под номером 12 на рис. 7. Далее располагаются картинки, изображающие собственно индикаторные приборы. Картинка каждого из приборов имеет на рисунке свой номер.

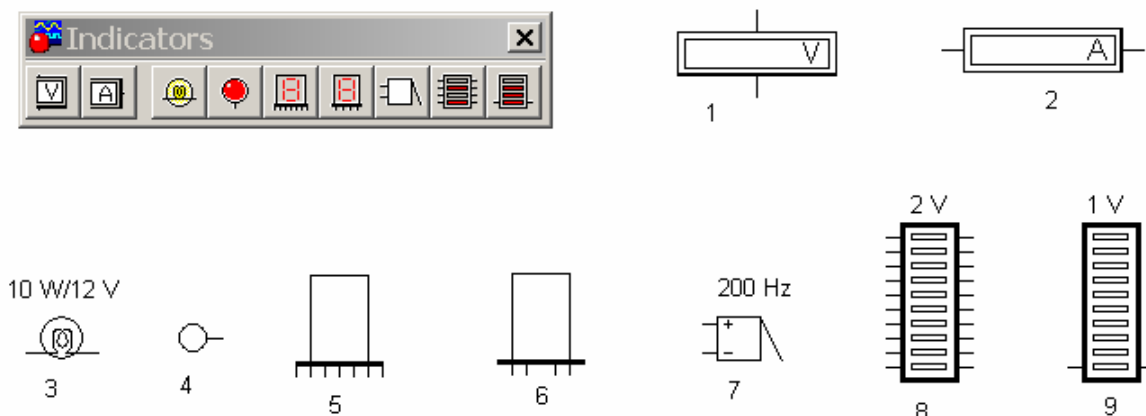


Рис. 22. Компоненты из группы Indicators

№ 1 – вольтметр постоянного или переменного напряжения (внутреннее сопротивление, режим измерения постоянного или переменного тока).

№ 2 – амперметр постоянного или переменного тока (внутреннее сопротивление, режим измерения постоянного или переменного тока).

№ 3 – лампа накаливания (напряжение, мощность).

№ 4 – светоиндикатор (цвет свечения).

№ 5 – семисегментный индикатор (тип).

№ 6 – семисегментный индикатор с дешифратором (тип). Для всех семисегментных индикаторов допускается редактирование в диалоговом окне следующих параметров:

- ☐ верхний уровень входного напряжения (High-Level Input Voltage V_{ih} , В);
- ☐ нижний уровень входного напряжения (Low-Level Input Voltage V_{il} , В);
- ☐ время установления при переходе от нижнего уровня к верхнему и наоборот (Propagation Delay Time, Low-to-High Level Output T_{plh} , Propagation Delay Time, High-to-Low Level Output T_{phl} , с);
- ☐ пороговое напряжение (Threshold Voltage V_{th} , В).

№ 7 – зуммер для звуковой индикации (частота).

№ 8 – линейка из десяти независимых светодиодов (напряжение, номинальный и минимальный ток).

№ 9 – линейка из десяти светодиодов со встроенным АЦП (минимальное и максимальное напряжение).

Группа Controls – аналоговые вычислительные устройства

Картинки устройств из этой группы изображены на рис. 23. Слева, в верхнем углу, располагается панель с картинками устройств, которая появляется после нажатия на кнопку под номером 13 на рис. 7. Далее на рис. 23 располагаются картинки, изображающие собственно вычислительные устройства. Картинка каждого из устройств имеет на рисунке свой номер.

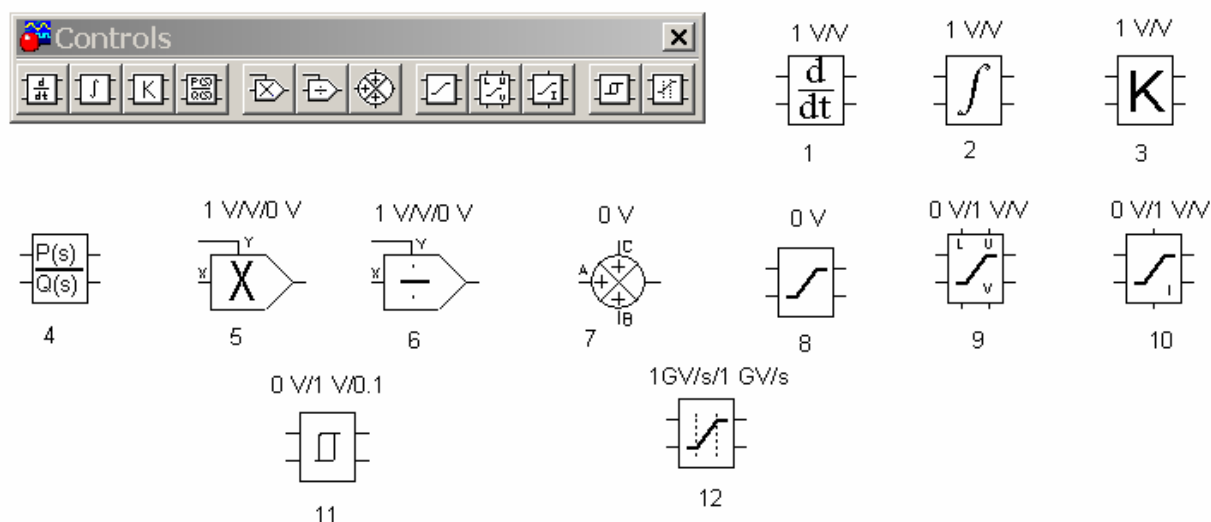


Рис. 23. Компоненты из группы Controls

- № 1 – дифференциатор напряжения (напряжение/напряжение).
- № 2 – интегратор напряжения (напряжение/напряжение).
- № 3 – масштабирующее звено (напряжение/напряжение).
- № 4 – формирователь передаточных функций – Transfer Function Block.
- № 5 – аналоговый умножитель (коэффициент передачи).
- № 6 – аналоговый делитель (коэффициент передачи).
- № 7 – сумматор трех напряжений (величины напряжений).
- № 8 – неуправляемый ограничитель напряжения (напряжение).
- № 9 – управляемый ограничитель напряжения (напряжение).
- № 10 – управляемый ограничитель тока (ток).
- № 11 – блок с гистерезисной характеристикой по напряжению (напряжение).
- № 12 – селектор сигналов по напряжению (напряжение).

Группа Instruments – измерительные приборы

Картинки компонентов из этой группы изображены на рис. 24. Слева, в верхнем углу, располагается панель индикаторов, которая появляется после нажатия на кнопку под номером 14 на рис. 7. Далее располагаются картинки, изображающие собственно измерительные приборы. Картинка каждого из приборов имеет на рисунке свой номер.

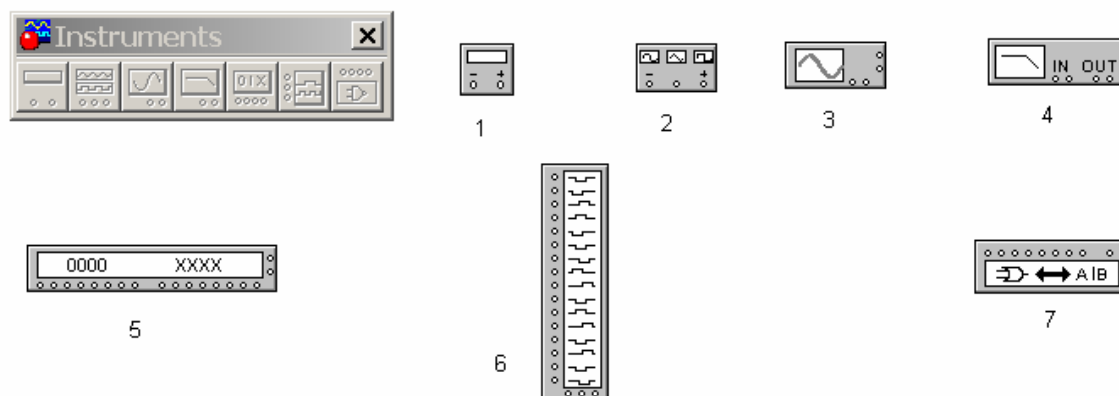


Рис. 24. Компоненты из группы Instruments

Мультиметр (Multimeter)

№ 1 (рис. 24) – мультиметр (Multimeter), предназначен для измерения напряжения, тока, сопротивления и величины отношения в децибелах. Картинка схематического изображения прибора и рабочее окно измерительного инструмента показаны на рис. 25.

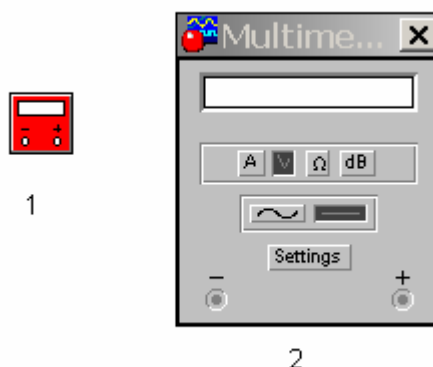


Рис. 25. Мультиметр

На лицевой панели мультиметра расположен дисплей для отображения результатов измерения, клеммы для подключения к схеме и кнопки управления (сверху вниз):

- ☐ кнопка выбора режима измерения тока, напряжения, сопротивления и ослабления (затухания, дБ);
- ☐ кнопка выбора режима измерения переменного или постоянного тока;
- ☐ кнопка <Settings> – установка параметров мультиметра. После нажатия на эту кнопку открывается диалоговое окно, на котором обозначено:

Ammeter resistance – внутреннее сопротивление амперметра;

Voltmeter resistance – входное сопротивление вольтметра;

Ohmmeter current – ток через контролируемый объект;

Decibel standard – установка эталонного напряжения V_1 при измерении ослабления или усиления в децибелах (по умолчанию $V_1 = 1$ В). При этом для коэффициента передачи

используется формула: $K[\text{дБ}] = 20 \times \log(V2/V1)$, где $V2$ – напряжение в контролируемой точке.

Функциональный генератор (Function Generator)

№ 2 (рис. 24) – многофункциональный генератор (Function Generator), предназначен для генерирования сигналов различной формы, различной частоты и амплитуды. Картинка прибора и рабочее окно инструмента показаны на рис. 26

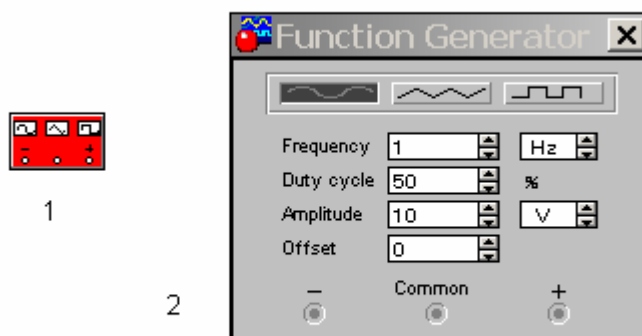


Рис. 26. Многофункциональный генератор

Управление генератором осуществляется следующими органами управления:

- ☐ кнопками выбора формы выходного сигнала: синусоидальной (выбрана) треугольной и прямоугольной;
- ☐ окно редактирования для установки частоты выходного сигнала;
- ☐ окно редактирования для 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;
- ☐ окно редактирования для установки амплитуды выходного сигнала;
- ☐ окно редактирования для установка смещения (постоянной составляющей) выходного сигнала;

Внизу располагаются выходные зажимы, служащие для выдачи в схему сигнала от генератора. Если необходимо выдать сигнал положительный, то зажим отрицательного сигнала заземляется. При заземлении клеммы <COM> (общий) на клеммах <-> и <+> получаем парафазный сигнал.

Осциллограф (Oscilloscope)

№ 3 (рис. 24) – многофункциональный осциллограф (Oscilloscope). Картинка прибора и рабочее окно инструмента показаны на рис. 27

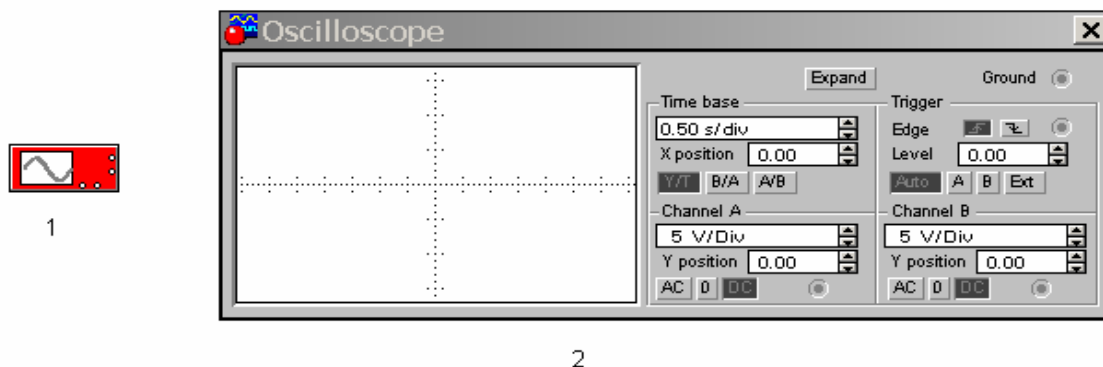


Рис. 27. Осциллограф

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

Выбор режима по входу осуществляется нажатием кнопок <AC>, <D> и <DC>. Эти кнопки располагаются внизу рабочего окна и имеются в двух вариантах – для каждого из входов осциллографа. Режим AC предназначен для наблюдения только сигналов переменного тока (его еще называют режимом «закрытого входа», поскольку в этом режиме на входе усилителя включается разделительный конденсатор, не пропускающий постоянную составляющую). В режиме D 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. Зажим для заземления находится справа, вверху.

В разделе Time Base располагаются кнопки управления режимами развертки.

В режиме Y/T (обычный режим, включен по умолчанию) реализуются следующие режимы развертки: по вертикали – напряжение сигнала; по горизонтали – время; в режиме В/А: по вертикали – сигнал канала А, по горизонтали – сигнал канала В.

В режиме развертки Y/T длительность развертки (TIME BASE) может быть задана в диапазоне от 0,1 нс/дел (ns/div) до 1с/дел (s/div) возможностью установки смещения в тех же единицах по горизонтали, т.е. по оси X (X POS).

В режиме Y/T предусмотрен также ждущий режим (TRIGGER) с запуском развертки (EDGE) по переднему или заднему фронту запускающего сигнала (выбирается нажатием кнопок, расположенных справа от надписи Edge) при регулируемом уровне (LEVEL) запуска, а также в режиме AUTO (от канала А или В), от канала А, от канала В или от внешнего источника (EXT), подключаемого к зажиму в блоке управления TRIGGER. Названные режимы запуска развертки выбираются кнопками <Auto>, <A>, и <Ext>.

Заземление осциллографа осуществляется с помощью клеммы GROUND в правом верхнем углу прибора.

Если нажать на клавишу <Expand>, расположенную в верхней части рабочего окна, то появляется возможность работать с окном увеличенного размера, изображенном на рис. 28. При этом появляется 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 приводятся результаты измерения напряжения, временных интервалов и их приращений (между визирными линиями). Изображение можно инвертировать нажатием кнопки <REVERSE> и записать данные в файл нажатием кнопки <SAVE>. Возврат к исходному состоянию осциллографа – нажатием кнопки <REDUCE>.

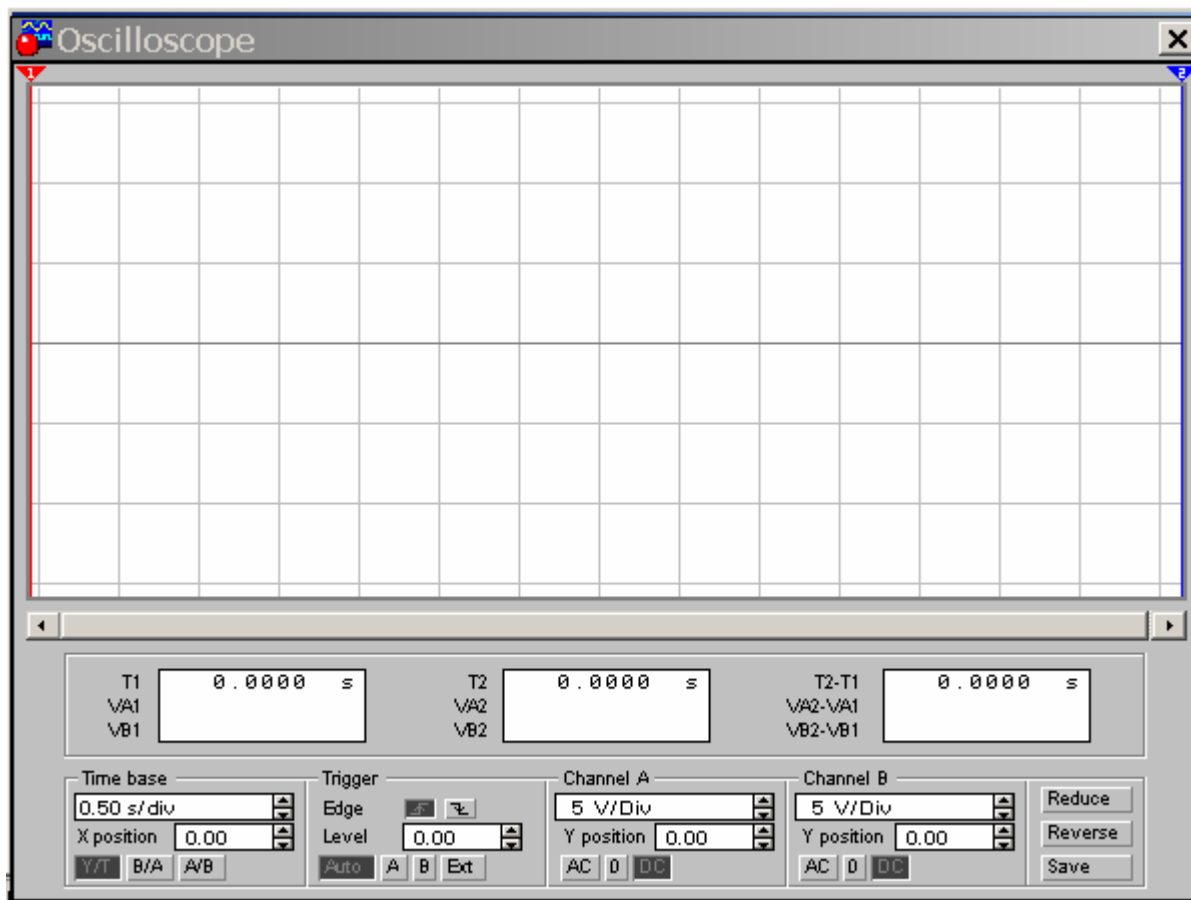


Рис. 28. Осциллограф с увеличенным рабочим окном

Измеритель АЧХ и ФЧХ (Bode)

№ 4 (рис. 24) – измеритель АЧХ и ФЧХ (Bode). Схематическое изображение и лицевая панель измерителя АЧХ-ФЧХ показана на рис. 29.

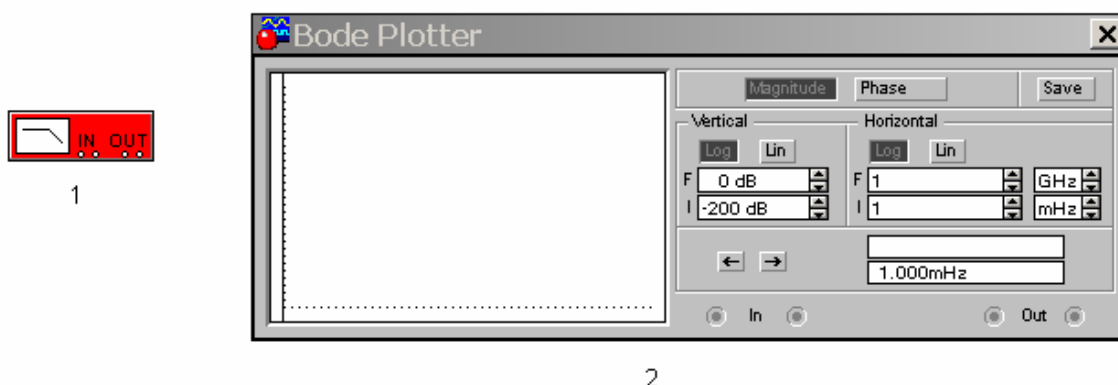


Рис. 29. Измеритель АЧХ и ФЧХ

Измеритель предназначен для анализа амплитудно-частотных (при нажатой кнопке <MAGNITUDE>), которая включена по умолчанию) и фазочастотных (при нажатой кнопке <PHASE>) характеристик при логарифмической (кнопка <LOG> включена по умолчанию) или линейной (кнопка <LIN>) шкале по осям Y(VERTICAL) и X(HORIZONTAL).

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 индуцируется в окошках в правом нижнем углу измерителя.

Подключение прибора к исследуемой схеме осуществляется с помощью пары зажимов <IN> (вход) и <OUT> (выход). Левые клеммы зажимов подключаются соответственно к входу и выходу исследуемого устройства, а правые – к общей шине.

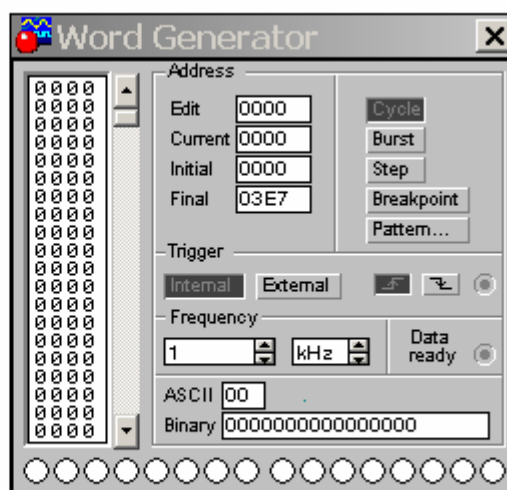
К входу устройства необходимо подключить функциональный генератор или другой источник переменного напряжения, при этом каких-либо настроек в этих устройствах не требуется.

Генератор слова (Word Generator)

№ 5 (рис. 24) – генератор слова (Word Generator). Схематическое изображение и лицевая панель генератора слова показана на рис. 30.



1



2

Рис. 30. Генератор слова

Генератор слова является 16-разрядным. Кодовые комбинации необходимо задавать в шестнадцатеричном коде, что для начинающих пользователей менее удобно и не так наглядно, как в 8-разрядном.

Каждая кодовая комбинация заносится с помощью клавиатуры, номер редактируемой ячейки фиксируется в окошке EDIT блока ADDRESS помещена цифра 0003, поскольку курсор находится в третьей ячейке, верхняя ячейка – нулевая). Всего таких ячеек и, следовательно, комбинаций—2048. В процессе работы генератора в отсеке ADDRESS индицируется номер текущей ячейки (CURRENT), ячейки инициализации или начала работы (INITIAL) и конечной ячейки (FINAL). Выдаваемые на 16 выходов (в нижней части генератора) кодовые комбинации индицируются в текстовом (ASCII) и двоичном коде (BINARY).

Интересной особенностью генератора является внешний запуск (нажата кнопка <External>) по готовности данных (клемма DATA READY). Сигнал с этого выхода сопровождает каждую выдаваемую на выход кодовую комбинацию и используется в том случае, когда исследуемое устройство обладает свойством подтверждения. В этом случае после получения очередной кодовой комбинации и сопровождающего его сигнала DATA READY исследуемое устройство должно выдать сигнал подтверждения получения данных, который подается на вход синхронизации генератора (клемма в блоке Trigger) и производит очередной запуск генератора.

К дополнительным органам управления относится также кнопка <BREAKPOINT> – прерывание работы генератора в указанной ячейке. При этом требуемая ячейка выбирается на дисплее генератора курсором, а затем нажимается кнопка <BREAKPOINT>.

Функция кнопки <PATTERN> состоит в том, что после ее нажатия появляется окно выбора, в котором обозначено:

Clear buffer – стереть содержимое всех ячеек (содержимое буфера экрана);

Open – загрузить кодовые комбинации (из файла с расширением .dp);

Save – записать все набранные на экране комбинации в файл;

Up counter – заполнить буфер экрана кодовыми комбинациями, начиная с 0 в нулевой ячейке и далее с прибавлением 1 в каждой последующей ячейке;

Down counter – заполнить буфер экрана кодовыми комбинациями, начиная с FFFF в нулевой ячейке и далее с уменьшением на 1 в каждой последующей ячейке;

Shift right – заполнить каждые четыре ячейки комбинациями 1-2-4-8 со смещением их в следующих четырех ячейках вправо;

Shift left – то же самое, но со смещением влево.

Сформированные слова выдаются на 16 расположенных в нижней части основного окна прибора выходных клемм-индикаторов:

- ☐ с индикацией выходного сигнала в двоичном коде на клеммах-индикаторах и в шестнадцатеричном коде в окне ASCII;
- ☐ в пошаговом (при нажатии кнопки <STEP>, циклическом (при нажатии кнопки <CYCLE>) и с выбранным словом до конца (при нажатии клавиши <BURST>) при заданной частоте посылок (установка – нажатие кнопок в окнах блока Frequency);
- ☐ при внутреннем (если нажата кнопка <INTERNAL>) или при внешнем запуске (если нажата кнопка <External>, справа от которой находится клемма для подключения внешнего сигнала синхронизации);
- ☐ при запуске по переднему или заднему фронтам используются кнопки, расположенные между кнопкой <External> и клеммой подключения внешнего сигнала синхронизации.

Логический анализатор (Logic Analyzer)

№ 6 (рис. 24) – логический анализатор (Logic Analyzer). Схематическое изображение и внешний вид логического анализатора показан на рис. 31.

Анализатор предназначен для отображения на экране монитора 8-разрядных кодовых последовательностей одновременно в шестнадцати точках схемы.

Длительность развертки задается в окне Clock, при нажатии кнопки <Set...> появляется диалоговое окно, в котором выполняется установка времени. Здесь также можно подключить внешний источник (External), например, генератор слова.

В блоке TRIGGER расположена кнопка <Set...>, при нажатии которой появляется диалоговое окно, в котором можно задать параметры триггера.

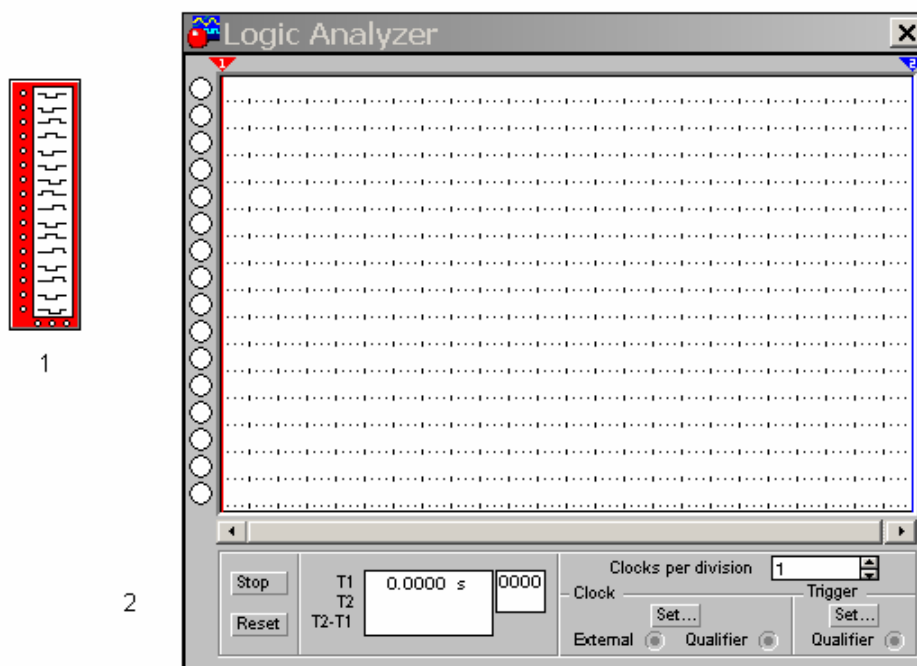


Рис. 31. Логический анализатор

Установку пользователем в окне редактирования данных можно выполнить путем введения туда с клавиатуры 1, 0 или X (неопределенное состояние), предварительно щелкнув мышью на нужном разряде.

В блоке задания точной величины времени (внизу окна, слева) величина T1 соответствует положению *красной вертикальной линейки*, а величина T2 – положению *синей линейки*.

Логический преобразователь (Logic Converter)

№ 7 (рис. 24) – логический преобразователь (Logic Converter). Схематическое изображение и внешний вид логического преобразователя показан на рис. 32.

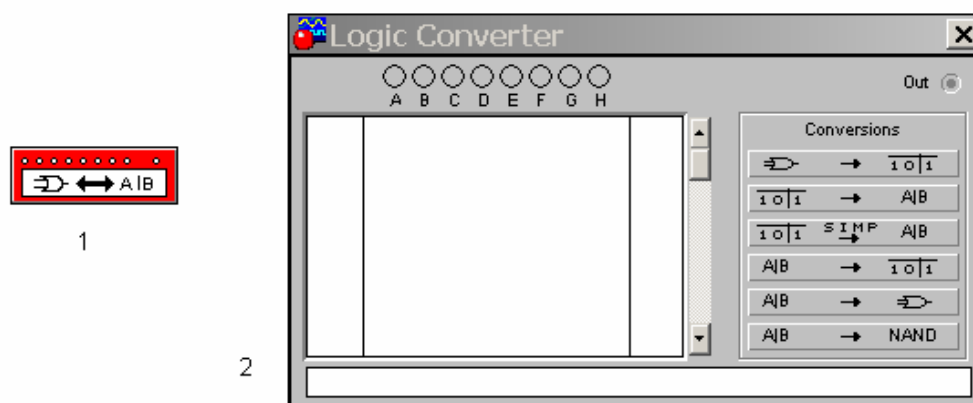


Рис. 32. Логический преобразователь

На лицевой панели картинка схематического изображения (1) преобразователя показаны клеммы-индикаторы входов А, В, ...Н и одного выхода OUT, которые используются при подключении прибора в схему.

В рабочем окне прибора (2) также вверху показаны клеммы-индикаторы входов А, В, ...Н и одного выхода OUT, ниже располагается экран для отображения таблицы истинности исследуемой схемы, экран-строка для отображения ее булева выражения (в нижней части). В правой части панели расположены кнопки управления процессом преобразования (<CONVERSIONS>).

Возможные варианты использования преобразователя:

1. Логический анализ n -входного устройства с одним выходом (входы исследуемого устройства подключаются к клеммам <А>...<Н>, а выход – к клемме <OUT>). В этом случае, используя кнопки управления, расположенные ниже клавиши <CONVERSIONS> получим:
 - Таблицу истинности исследуемого устройства;
 - булево выражение, реализуемое устройством;
 - минимизированное булево выражение;
 - схему устройства на логических элементах без ограничения их типа;
 - схему устройства только на логических элементах И-НЕ.
2. Синтез логического устройства по таблице истинности.
 - 2.1. Щелчком мыши по входным клеммам А, В, ... Н, начиная с клеммы А, активизируем мышью требуемое число входов анализатора, в результате чего на экране анализатора получим начальную таблицу истинности, в которой будут представлены все возможные комбинации входных сигналов и соответствующие им значения логических символов (0 или 1) в столбце OUT.
 - 2.2. Отредактируем полученную таблицу в соответствии с заданием путем записи 1, 0 или X в столбце OUT в строках, которые по комбинациям входных сигналов соответствуют заданным. Пусть, например, в первой строке при комбинации входных сигналов 0000 нужно на выходе получить на 0, а 1. Для этого ставим курсор мыши на первую строку в столбце OUT, производим щелчок и на клавиатуре вводим 1. Дальнейшие перемещения с целью редактирования остальных строк столбца OUT удобнее производить с помощью клавиш управления курсором. При этом данные в столбцах А, В, С и D редактирования не требуют, поскольку в этих столбцах уже имеются все возможные комбинации.
3. Синтез логического устройства по булеву выражению.
 - 3.1. Булево выражение заносится в экран-строку, предварительно активизируя там мышью курсор. Используются символы А,...Н, при инверсии – А\..Н\.
 - 3.2. Нажимая четвертую сверху кнопку, получаем таблицу истинности.

Примеры моделирования радиоэлектронных схем

Пример на применение мультиметра

Приведем пример использования мультиметра в режиме dB. Для этой цели запускаем программу EWB 5.12 и в её рабочем окне собираем из компонентов электрическую

принципиальную схему простого усилителя звуковых частот на операционном усилителе 741 (K140УД7). На рис. 33 показано рабочее окно программы с изображенной схемой усилителя и подключенными измерительными приборами – функциональным генератором, осциллографом и мультиметром.

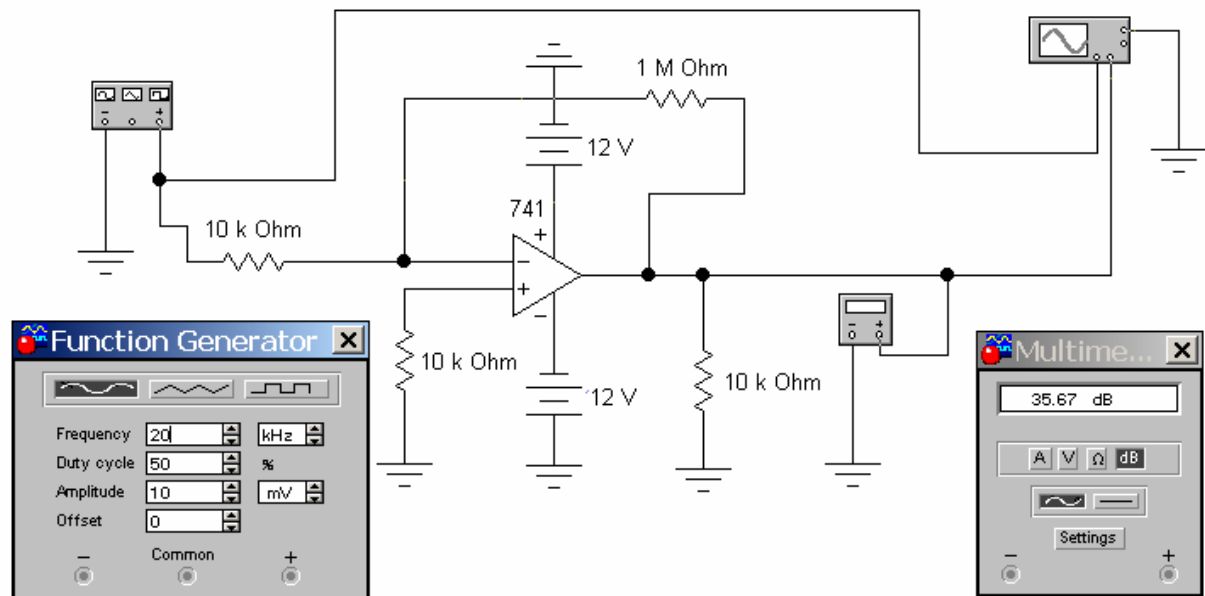


Рис. 33. Схема усилителя на ОУ

Для начала необходимо измерить коэффициент передачи аудиоусилителя на частоте 1 кГц. Для этого в подключенном функциональном генераторе, который является источником переменного синусоидального напряжения, устанавливаем частоту 1 кГц и напряжением $V_1 = 10 \text{ mV}$. Поскольку нам будет необходимо измерить усиление в децибелах, то в подключенном к выходу схемы мультиметру необходимо установить напряжение источника сигнала, которое далее будет фигурировать в расчетах как величина V_1 . Это очень важно, т.к. в противном случае величина усиления в дБ будет неверной.

Предположим далее, что в режиме измерения напряжения получена величина выходного напряжения $V_2 = 1,4060 \text{ V}$. Следовательно, коэффициент передачи усилителя $K = V_2/V_1 = 140,6$. Переведем мультиметр в режим dB, тогда получим значение коэффициента усиления в децибелах $K[\text{дБ}] = 20 \log 140,6 = 42,96 \text{ dB}$.

Предположим далее, что частота входного сигнала увеличена до 20 кГц и получено напряжение на выходе усилителя $V_2 = 607,4 \text{ mV}$, т.е. коэффициент передачи в данном случае составляет $K = 607,4/0,1 = 60,74$. В режиме dB мультиметр измерит $K[\text{дБ}] = 20 \log 60,74 = 35,67 \text{ dB}$.

Отметим, что мультиметр измеряет эффективное (действующее) значение переменного тока.

Моделирование интегратора на ОУ

Рассмотрим схему электронного прибора, в котором результат получается в процессе математического действия интегрирования. Такой прибор называется интегратором.

Схема интегратора на ОУ 741 (K140УД7) с подключенными измерительными приборами показана на рис. 34.

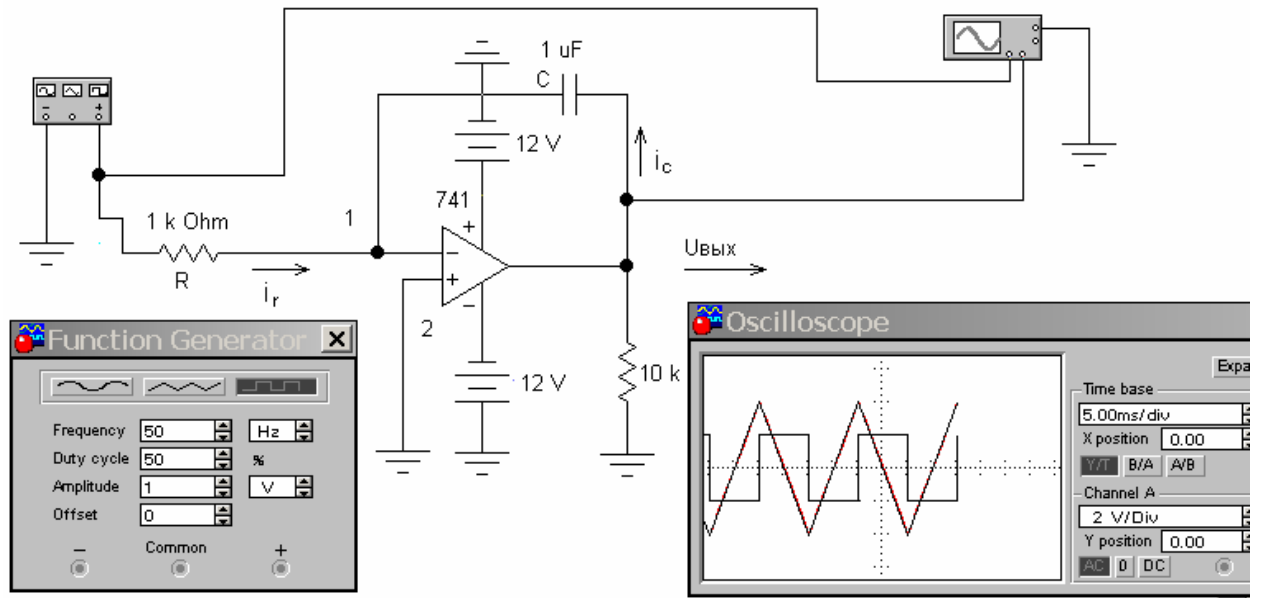


Рис. 34. Схема интегратора на ОУ

Пусть на вход операционного усилителя от функционального генератора подается сигнал с прямоугольной формой импульса. В интервале времени $t1...t2$ амплитуда входного напряжения равна U . Так как вход 2 операционного усилителя заземлен, то ток i_R на этом интервале времени постоянный и равен $i_R = U/R$. В узле 1 сумма токов i_R и i_C равна нулю $i_R + i_C = 0$.

Ток i_C связан с напряжением $U_{вых}$ соотношением

$$i_C = C \times dU_{вых}/dt.$$

Выходное напряжение в интервале $t1...t2$ будет изменяться по линейному закону и будет представлять интеграл от входного напряжения.

Виде математической формулы это будет выглядеть следующим образом:

$$U_{вых} = U(t1) + 1/C \times \int i_C dt.$$

Моделирование интегратора на ОУ выполнено при помощи системы **EWB 5.12**. Схема, показанная на рис. 34 реализована при помощи графического интерфейса этой системы.

На вход схемы подаются прямоугольные импульсы напряжения с амплитудой 1 V и частотой 50 Hz. Сквозность импульсов (DUTY CYCLE) принята 50%. Напряжение прямоугольной формы вырабатывается функциональным генератором (Function Generator).

Двойной щелчок левой клавиши мыши по графическому символу генератора раскрывает интерфейсную панель прибора. Форму сигнала выбираем, нажимая на соответствующую кнопку в верхней части панели прибора. При помощи указателей, расположенных справа от соответствующих полей, устанавливается частота, сквозность и амплитуда сигнала. Смещение (Offset) принимается равным 0. Операционный усилитель помещается на рабочем поле в результате активизации кнопки панели инструментов с именем **Analog ICs**.

Графический символ осциллографа помещается в результате активизации значка на панели инструментов с именем **Instruments**. Третий слева значок этой панели соответствует графическому символу осциллографа. Активизируя этот символ и переноса указатель курсора на рабочее поле, символ осциллографа помещается на рабочем поле.

Двойной щелчок левой клавиши мыши по графическому символу осциллографа раскрывает его интерфейс.

Раскрывшийся интерфейс осциллографа позволяет установить время развертки (Time base), которое принимается равным 5 ms/div; напряжение развертки для канала A, устанавливает 2 V/div. Результаты моделирования показаны на рис. 34.

Моделирование схемы LC генератора

В рабочем окне программы EWB 5.12 соберем из компонентов схему простого транзисторного генератора высокочастотных колебаний, выполненного по схеме емкостной трехточки. Схема показана на рис. 35.

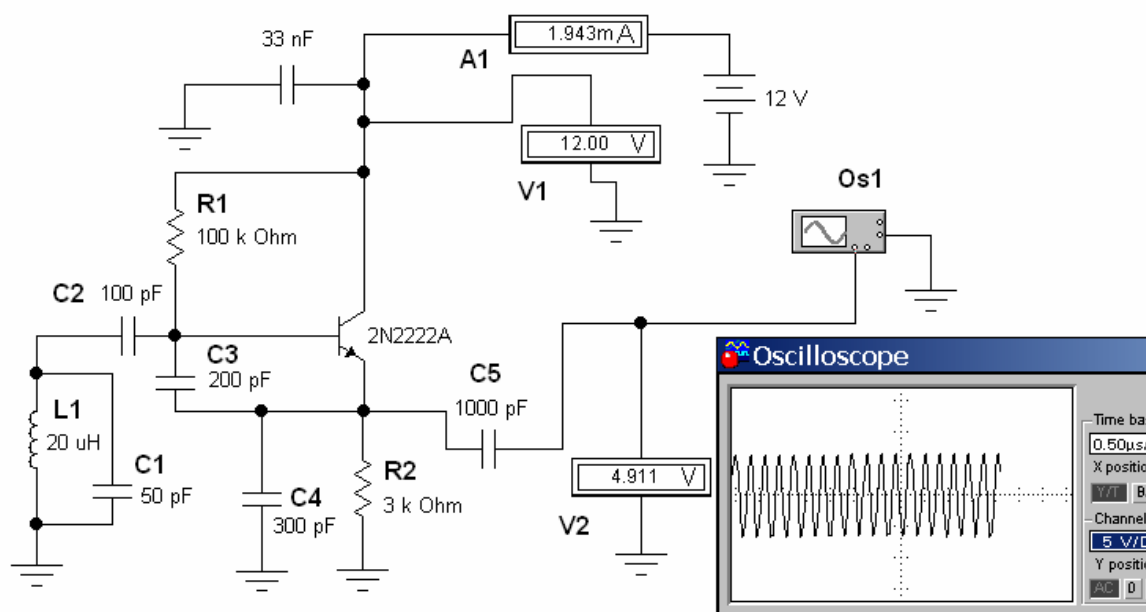


Рис. 35. Схема генератора ВЧ колебаний

Кроме радиоэлементов схемы здесь также находятся измерительные приборы:

- A1 – миллиамперметр постоянного тока;
- V1 – вольтметр постоянного напряжения;
- V2 – вольтметр переменного напряжения;
- Os1 – осциллограф.

После включения схемы в работу путем нажатия на размещенную в правом верхнем углу кнопку с цифрами 0 и 1, схема приводится в рабочее состояние и на всех измерительных приборах появляются соответствующие показания, а на экране осциллографа – синусоида генерируемого сигнала.

Подключенные к схеме измерительные приборы позволяют контролировать суммарный ток через транзистор (A1), постоянное напряжение на коллекторе транзистора (V1), переменное (высокочастотное) напряжение на выходе генератора (V2) и форму генерируемого сигнала (Os1).

При указанных на схеме номиналах радиодеталей, генерируемая частота должна быть порядка 4 МГц.

Целью моделирования всегда является поиск вариантов использования таких номиналов радиодеталей, при которых наблюдается наиболее эффективная работа схемы. В данном

случае можно утверждать, что наиболее эффективной работе генератора будет соответствовать максимальная величина выходного напряжения при неискаженной синусоидальной форме выходного сигнала.

Следовательно, при проведении экспериментов необходимо вести наблюдение за величиной напряжения на выходе (вольтметр V2), формой сигнала (Os1) и величиной тока через транзистор (A1). Ток через транзистор не должен приближаться к допустимой предельной паспортной величине.

Эффективность работы данной схемы генератора будет зависеть от следующих параметров:

- ☐ от величины обратной связи, которая зависит от величин емкостей C3 и C4;
- ☐ от связи колебательного контура L1C1 с транзистором, которая зависит от C2;
- ☐ от величины тока базы транзистора, которая зависит от сопротивления R1;
- ☐ от величины начального тока коллектора транзистора, зависящего от R2.

Чтобы провести эксперименты по подбору емкостей C3 и C4 следует подготовить таблицу, аналогичную таб. 1, в которую необходимо записывать основные данные.

Таблица 1. Подбор емкостей C3 и C4

C3, пФ	C4, пФ	C3/C4	V2, В	A1, мА
1	2	3	4	5
200	300	0,666	4,911	1,943

Величины емкостей C3 и C4 выбираются исходя из того положения, что величина связи, равная отношению C3/C4 (столбец 3) должна выбираться в пределах от 0,3 до 1,0. В крайних случаях можно и чуточку больше.

После введения для C3 и C4 новых значений емкостей схема включается в работу и в таблицу записываются полученные показания приборов. Начинать следует с выбора малых величин обратной связи. Затем для C3 и C4 устанавливаются следующие величины емкостей и записываются новые показания приборов.

После проведения ряда экспериментов для рабочего варианта выбираются те величины емкостей, при которых показания V2 будут максимальными.

Примерно таким же образом подбираются величины и других элементов схемы.

Исследование схем с логическими элементами

Рассмотрим построение таблиц истинности для логических элементов, при помощи системы EWB 5.12. Последовательность операций для получения таблиц истинности логических элементов будем проводить с помощью рис. 36.

1. В меню системы EWB 5.12 выбираем значок с именем **Logic Gates**, отмеченный на рис. 36 цифрой 1;

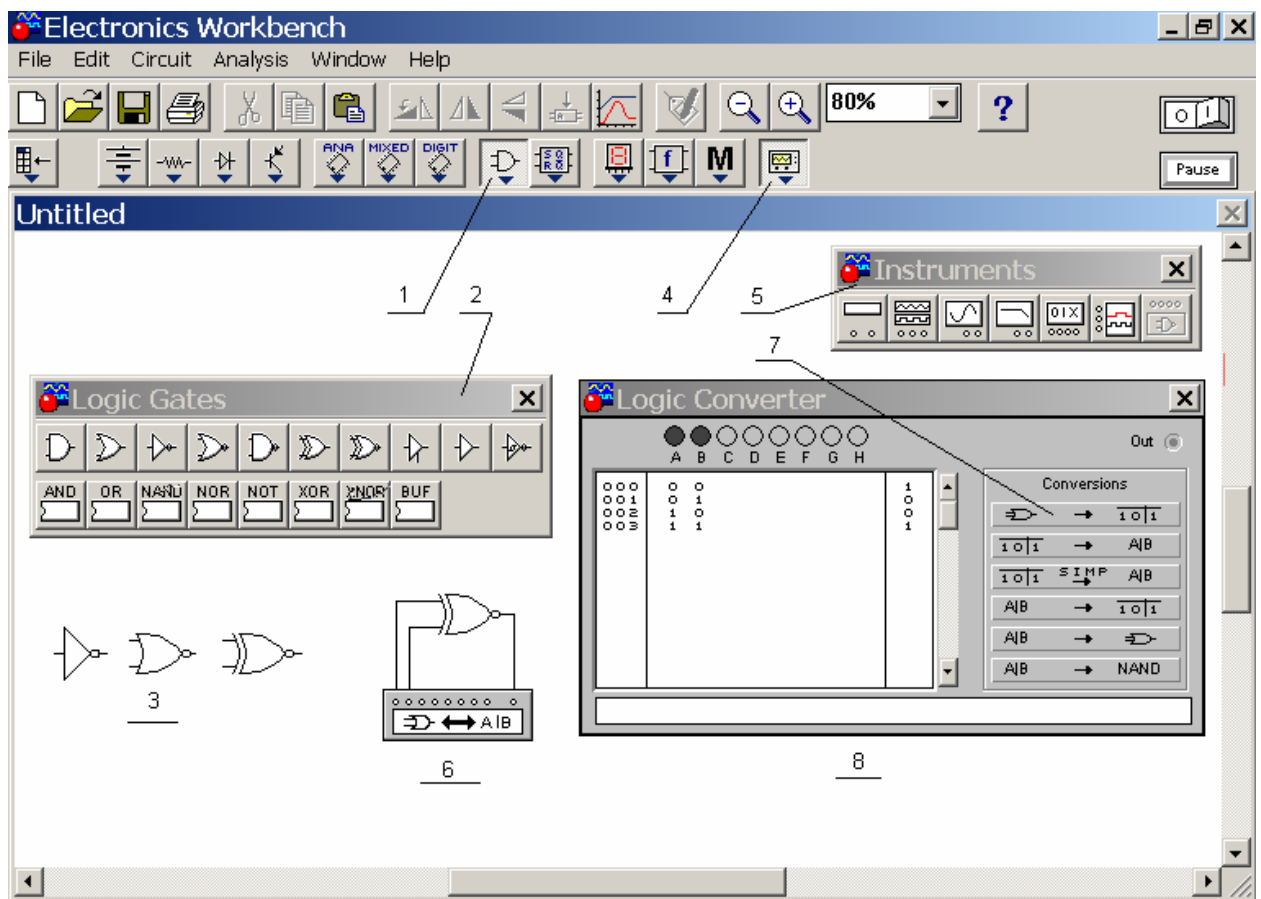


Рис. 36. Выбор компонентов

2. Из панели **Logic Gates** (отмечена цифрой 2), на рабочем поле размещаются графические символы логических элементов NOT (НЕ), NOR (ИЛИ-НЕ), XNOR (исключающее ИЛИ-НЕ) (на рис. 36 отмечено цифрой 3);
3. Нажимается кнопка панели инструментов с именем **Instruments** (отмечено цифрой 4);
4. В панели **Instruments** (отмечено цифрой 5) выбирается прибор **Logic Converter** и на рабочем поле размещается графический символ прибора **Logic Converter**.
5. Собирается схема, показанная на рис. 36 (над цифрой 6). На этой схеме таблица истинности снимается для элемента XNOR. Входы логического элемента подключаются к крайним слева клеммам прибора, выход логического элемента подключается к крайней справа клемме;
6. Двойным щелчком левой клавиши мыши по графическому изображению прибора **Logic Converter** вызывается появление его лицевой панели (над цифрой 8);
7. Нажимается кнопка, отмеченная цифрой 7. На лицевой панели прибора отражается таблица истинности для исследуемого логического элемента;
8. Для получения таблиц истинности других элементов в собранной схеме (см. схему на рис. 36, над цифрой 6) заменяются графические символы элементов из имеющихся в библиотеке **Logic Gates**.

На рис. 37 показана схема с использованием прибора **Logic Converter**, в которой выполняется построение таблицы истинности для схемы из нескольких логических элементов, выполняющих действие определенной математической функции. Вход А прибора соответствует переменной у, вход В переменной z, вход С переменной х.

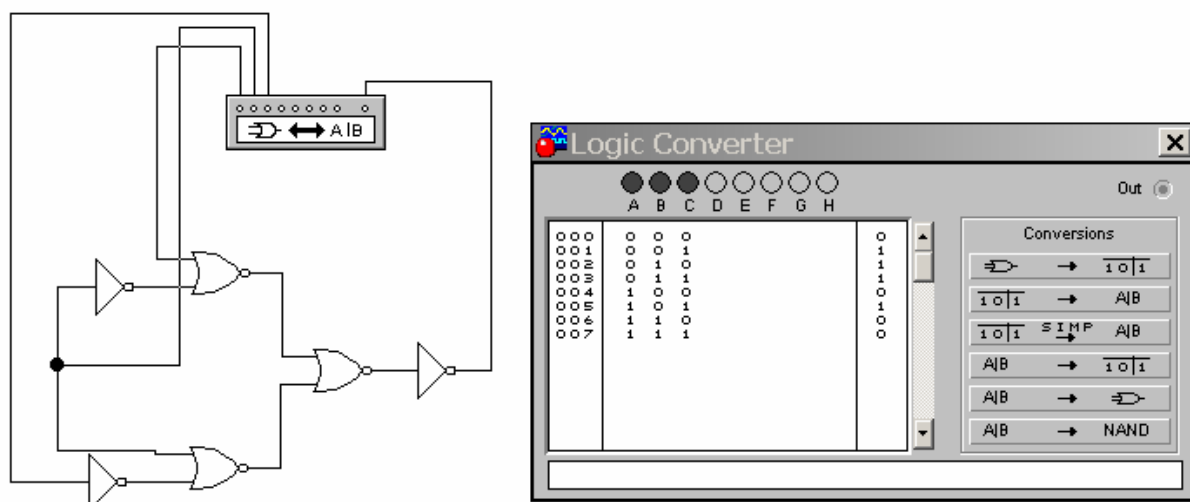


Рис. 37. Схема из логических элементов

Таблица истинности отображается на лицевой панели после нажатия на первую сверху кнопку прибора под заголовком **Conversions**.

Вместо заключения

Описанные в этой главе методы работы с программой **EWB 5.12** позволят вам без особого труда освоить более громоздкую программу **Multisim 2001**.