

# Глава 10

## Компьютер моделирует радиосхемы

---

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, а для начинающих, в том числе и для студентов, они могут представлять значительные трудности в их изучении.

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.

**Программа Micro-Cap (версии 6 и 7)** — разработка фирмы *Spectrum Software* ([www.spectrum-soft.com](http://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, операционная система Microsoft Windows 3.xx или выше. Имеется библиотека моделей 10 тыс. электрорадиоэлементов ведущих фирм Японии, Европы и США.

Программа позволяет выполнять следующие действия:

- ♦ создавать принципиальную электрическую схему устройства и редактировать ее;
- ♦ проводить расчет статического режима по постоянному току;

- ♦ рассчитывать частотные характеристики и переходные процессы;
- ♦ проводить оценку уровня внутреннего шума и предельной чувствительности;
- ♦ проводить 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.

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

- ♦ вводить принципиальные схемы;
- ♦ моделировать схему до создания управляющих файлов для программаторов;
- ♦ разрабатывать печатные платы и управляющие программы для сверлильных станков и выводить данные на графопостроитель.

**Программа Aplac 7,0** — пакет с типичным набором возможностей, перечисленных выше. Описание пакета программ и возможности его приобретения имеются в Internet на сайте [www.aplac.hut.fi/aplac](http://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.

**Программа System View 1,9** — программа фирмы *Elanix* ([www.elanix.com](http://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.

**Программа Electronics Workbench (EWB)** — разработка фирмы *Interactive Image Technologie* ([www.interactiv.com](http://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 с помощью щелчка мыши на обычном переключателе. Программа существует в нескольких вариантах, последние из которых имеют название Multisim (например, Multisim620pro, Multisim2001). Для начинающих пользователей большой интерес может представлять вариант программы, предназначенный для студентов, который распространяется свободно. Эту версию программы можно скачать с указанного выше сайта.

**Программа CircuitMaker 6,0** фирмы *MicroCode Engineering* ([www.micro-code.com](http://www.micro-code.com)). Программа содержит обширную библиотеку моделей промышленных

изделий электронных компонентов с возможностью оперативного просмотра их основных характеристик (например, для 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 имеет коммерческую и студенческую версии. Студенческая версия практически не отличается от профессиональной, скачать ее можно с указанного выше сайта.

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

В предыдущей главе было 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) вышла в 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 преимуществом 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 предназначена для работы в операционных системах Microsoft Windows 3.xx/95/98 и занимает около 5 Мбайт дисковой памяти, EWB 5.0 — в системах Microsoft 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. Последняя версия программы — Multisim 2001 (EWB 6.20) — практически является расширенной версией программ EWB 5.12, но, по-моему, она стала менее удобной в обращении.

Далее в этой главе приводится описание программы EWB 5.12 и параллельно, где необходимо, дается информация о программе Multisim 2001. Это позволит читателю изучить работу с программой EWB 5.12 и без труда приступить к работе 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. 10.1 показано рабочее окно программы EWB 5.12, а на рис. 10.2 — рабочее окно программы Multisim 2001.

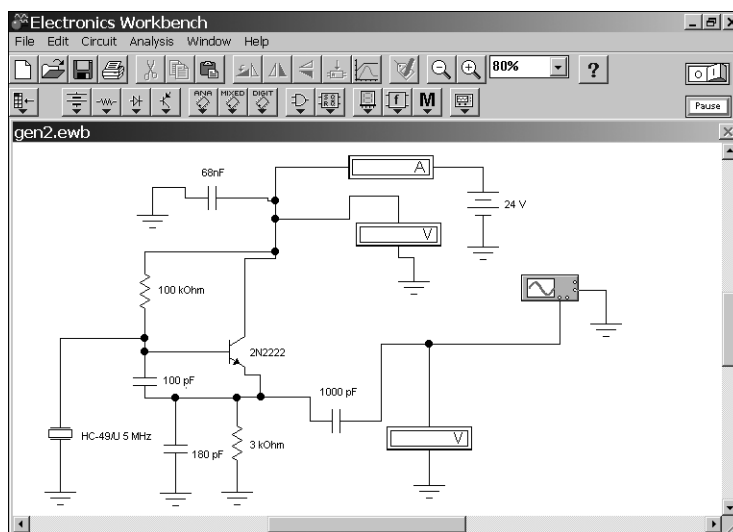


Рис. 10.1. Окно программы EWB 5.12

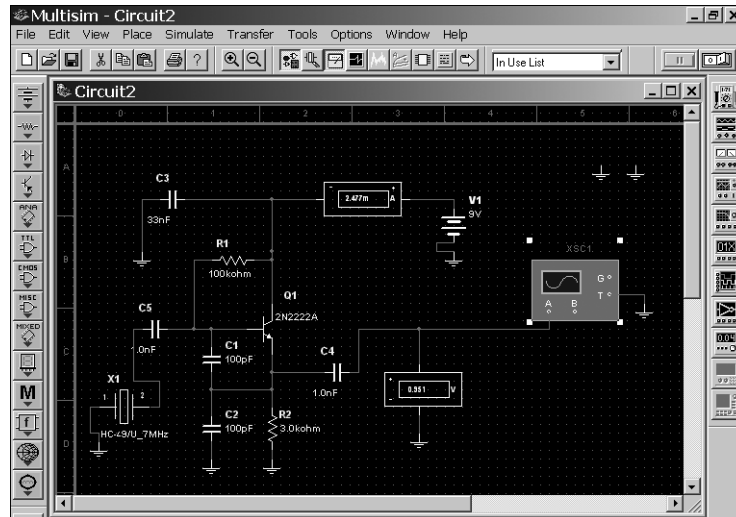


Рис. 10.2. Окно программы Multisim 2001

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

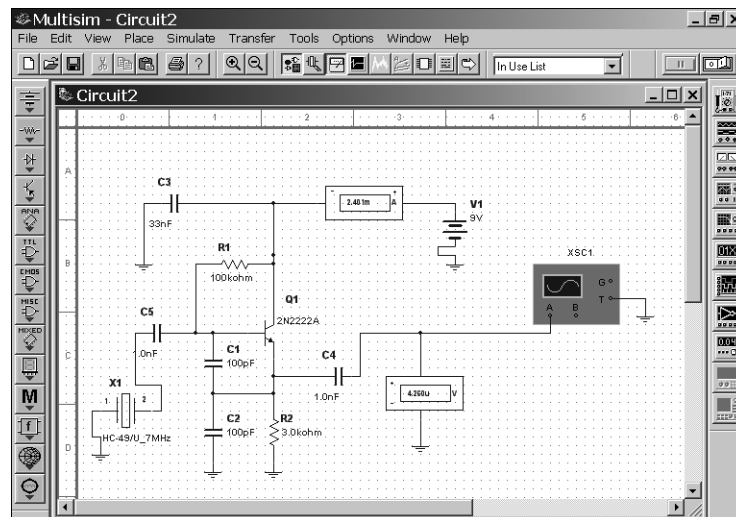


Рис. 10.3. Окно Multisim 2001 с измененными цветами

Окно программы EWB 5.12 содержит строку меню, которая располагается, как обычно в Windows-приложениях, в самой верхней части окна, под ней располагается панель управляющих кнопок, а ниже находятся панели 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 строку меню, под ней располагается панель управляющих кнопок, у правого края окна располагается панель контрольно-измерительных приборов, а у левого края — панель компонентов.

Сразу надо 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 многофункциональным интерфейсом и красочностью. И та и другая программы позволяют подключить к созданной схеме (к созданному проекту) отдельное небольшое окно с описанием схемы (от англ. *description*), но, к сожалению, только на английском языке.

При необходимости, с помощью двойного щелчка мыши на изображении прибора, можно изменить режим работы каждого из измерительных приборов для наблюдения за результатами.

Следует упомянуть также о наличии всплывающих подсказок всех кнопок, компонентов и инструментов, указывающих на их назначение.

Строка меню программы EWB 5.12 содержит следующие пункты: **File** (Файл), **Edit** (Правка), **Circuit** (Схема), **Analysis** (Анализ), **Window** (Окно), **Help** (Справка). Рассмотрим подробнее каждое из меню.

## Меню File

Меню **File** (Файл) предназначено для загрузки и записи файлов, получения твердой копии выбранных для печати составных частей схемы, а также для импорта/экспорта файлов в форматы других систем моделирования и программ разработки печатных плат.

1. Первые четыре команды этого меню: **New** (Новый) — соответствует комбинация клавиш <Ctrl+N>, **Open** (Открыть) — соответствует комбинация клавиш <Ctrl+O>, **Save** (Сохранить) — соответствует комбинация клавиш <Ctrl+S>, **Save As** (Сохранить как) — стандартные для Windows-приложений команды работы с файлами и поэтому пояснений не требуют. Эти команды дублируются кнопками со стандартным изображением. Для хранения аналого-цифровых схем в программе EWB версии 5.0 и выше используют файлы с расширением **EWB**.
2. Команда **Revert to Saved** (Вернуться к последнему сохраненному варианту) предназначена для стирания всех изменений, внесенных в текущем сеансе редактирования, и восстановление схемы в первоначальном виде.
3. Команда **Import** (Импорт) позволяет вставить схему из внешнего файла.
4. Команда **Export** (Экспорт) позволяет сохранить схему в файле одного из поддерживаемых программой форматов: **CIR** или **PLC** для программы EWB Layout.
5. Команда **Print** (Печать), которой соответствует комбинация клавиш <Ctrl+P>, предназначена для вывода выбранных данных на принтер: **Schematic** (Схематически) — вывод схемы, переключатель выбран по умолчанию; **Description** (Описание) — вывод описания схемы; **Part list** (Список частей) — перечень выводимых на принтер документов; **Label list** (Список обозначений) — вывод

списка обозначений элементов схемы; **Model list** (Список моделей элементов) — вывод списка имеющихся в схеме компонентов; **Subcir** (Подсхема) — вывод частей схемы, являющихся законченными функциональными узлами, обозначаемых прямоугольниками с названием внутри; **Analysis options** (Параметры анализа) — перемена режимов моделирования; **Instruments** (Приборы) — вывод списка приборов. В окне печати можно изменить параметры печати с помощью кнопки **Setup** (Установка), а затем отправить материал на принтер с помощью кнопки **Print** (Печать). В программе EWB версии 5.0 и выше предусмотрена также возможность изменения масштаба выводимых на принтер данных в пределах от 20 до 500%.

6. Команда **Print Setup** (Настройка принтера) открывает окно для изменения параметров принтера.
7. Команда **Exit** (Выход), которой соответствует комбинация клавиш <ALT+F4>, предназначена для выхода из программы.
8. Команда **Install** (Установка) предназначена для установки дополнительных программ с гибких дисков.
9. Команда **Export to PCB** (Экспорт в PCB) позволяет сохранять списки соединений схемы в формате программы OrCAD и других программ разработки печатных плат.
10. Команда **Import from SPICE** (Импорт из SPICE) для импорта текстовых файлов описания схемы и заданий на моделирование в формате программы SPICE (из файла с расширением **CIR**) и автоматическое построение схемы по ее текстовому описанию.
11. Команда **Export to SPICE** (Экспорт в SPICE) позволяет сохранить текстовое описание схемы и задание на моделирование в формате программы SPICE.

## Меню Edit

Меню **Edit** (Правка) содержит команды редактирования схем и копирования их из рабочего окна программы.

1. Команда **Cut** (Вырезать) — соответствует комбинация клавиш <Ctrl+X> — позволяет вырезать выделенные части схемы с сохранением их в буфере обмена операционной системы Microsoft Windows. Выделение одного компонента производится щелчком мыши на его изображении. Для выделения части схемы или нескольких компонентов необходимо окружить эти элементы с помощью прямоугольного маркирующего контура: установите указатель мыши в начальном углу контура, нажмите левую кнопку мыши и, не отпуская ее, переместите указатель мыши в другой угол контура, находящийся по диагонали. Выделенные компоненты окрасятся в красный цвет.
2. Команда **Copy** (Копировать) — соответствует комбинация клавиш <Ctrl+C> — предназначена для копирования выделенной части схемы в буфер обмена Windows.
3. Команда **Paste** (Вставить) — соответствует комбинация клавиш <Ctrl+V> — предназначена для вставки содержимого буфера обмена в рабочее поле програм-

мы. Поскольку в EWB нет возможности помещать импортируемое изображение схемы или ее фрагмента в точно указанное место, то непосредственно после вставки, когда изображение еще выделено красным цветом и может оказаться наложенным на создаваемую схему, его можно переместить в нужное место клавишами управления курсором (со стрелками) или с помощью мыши. Таким же образом перемещаются и предварительно выделенные фрагменты схемы.

4. Команда **Delete** (Удалить) — соответствует клавиша <Del> — позволяет удалить выделенную часть схемы.
5. Команда **Select All** (Выделить все) — соответствует комбинация клавиш <Ctrl+A> — для выделения всей схемы.
6. Команда **Copy as Bitmap** (Копировать как растровое изображение) копирует изображение схемы в буфер обмена Window в формате растровой графики BMP.
7. Команда **Show Clipboard** (Показать буфер обмена) — отображает содержимое буфера обмена Window.

## Меню Circuit

Меню **Circuit** (Схема) используется при подготовке схем, а также для установки параметров моделирования.

1. Команда **Rotate** (Поворот) поворачивает выделенный компонент на 90°.
2. Команда **Flip Horizontal** (Перевернуть горизонтально) создает зеркальное изображение выделенного компонента относительно горизонтальной оси.
3. Команда **Flip Vertical** (Перевернуть вертикально) создает зеркальное изображение выделенного компонента относительно вертикальной оси.
4. Команда **Component Properties** (Свойства компонента) открывает окно редактирования для выделенного компонента, в котором можно производить редактирование основных свойств.
5. Команда **Create Subcircuit** (Создать подсхему) отображает выделенный компонент в отдельном окне, для его дальнейшего использования.
6. Команда **Zoom In** (Увеличить масштаб) — соответствует комбинация клавиш <Ctrl+два раза клавиша плюс> — увеличивает масштаб изображения.
7. Команда **Zoom Out** (Уменьшить масштаб) — соответствует комбинация клавиш <Ctrl+клавиша плюс> — уменьшает масштаб изображения.
8. Команда **Schematic Options** (Свойства схемы) изменяет все основные свойства изображения: **Grid** (Сетка); **Show/Hide** (Показывать/скрыть) — показывать/скрыть элемент изображения; **Fonts** (Шрифт) — выбор шрифта, кроме русского; **Printing** (Печатаемое) — изменить размер печатного изображения, в процентах.

## Меню Analysis

Меню **Analysis** (Анализ) используется при запуске на выполнение находящейся в рабочем окне программы схемы (в процессе моделирования).

1. Команда **Activate** (Активировать) — соответствует комбинация клавиш <Ctrl+G> — запускает режим моделирования. Этой команде соответствует кнопка, расположенная в правом верхнем углу окна программы.
2. Команда **Pause** (Пауза) — соответствует клавиша <F9> — остановка процесса моделирования. Этой команде соответствует кнопка, расположенная в правом верхнем углу окна программы.
3. Команда **Stop** (Остановить) — соответствует комбинация клавиш <Ctrl+T> — остановка процесса моделирования. Этой команде соответствует кнопка, расположенная в правом верхнем углу окна программы.
4. Команда **Analysis Options** (Свойства анализа) — соответствует комбинация клавиш <Ctrl+Y> — открывает окно редактирования всех основных свойств. Изменять любое из этих свойств не следует до полного освоения программы.
5. Команда **DC Operating Point** (Точки измерения постоянного напряжения) открывает окно с осциллограммой (графическим результатом моделирования) и данными анализа работы схемы (измерений постоянного напряжения).
6. Команда **AC Frequency** (Переменная частота) открывает на экране окно для редактирования нижнего и верхнего предела примененных при моделировании частот.
7. Команда **Transient** (Временные) открывает на экран окно редактирования временных пределов для моделирования.
8. Команда **Fourier** (Преобразование Фурье) открывает окно для редактирования длительности шагов при моделировании.
9. Команда **Monte Carlo** открывает окно для специального метода моделирования, называемого Monte Carlo.
10. Команда **Display Graphs** (Отобразить график) открывает специальное окно, в котором результат моделирования схемы представлен в виде графической зависимости (графика).

## Меню Window

Меню **Window** (Окно) находится подменю **Arrange** (Упорядочить), которое содержит две команды. Команда **Description** (Описание), которой соответствует комбинация клавиш <Ctrl+D>, отображает в нижней части окна программы специальное окно, которое служит для описания схемы.

## Меню программы Multisim 2001

Меню программы Multisim 2001 содержит следующие пункты: **File** (Файл), **Edit** (Правка), **View** (Вид), **Place** (Расположение), **Simulate** (Моделирование), **Transfer** (Перенос), **Tools** (Инструменты), **Options (параметры)**, **Window** (Окно) и **Help** (Справка).

В задачи этой книги не входит подробное описание работы программы Multisim 2001, т.к. этому вопросу можно посвятить целую книгу. Поэтому здесь приведены только основные отличия этой программы от программы EWB 5.12.

- Программа Multisim 2001 работает не только с отдельными схемами, но и с проектами устройств. Для этого в меню **File** есть соответствующие команды.
- С помощью команд меню **Transfer** можно преобразовать файлы отдельных схем и проектов программы Multisim 2001 в форматы других программ, например, в формат программы OrCAD.
- С помощью команд меню **Tools** программа Multisim 2001 может задействовать в работе другие вспомогательные программы.
- Команды меню **Options** позволяют изменять цвет фона и компонентов, выполнять рисунки компонентов как в американском, так и в немецком стандартах. Все эти изменения могут быть установлены для вывода по умолчанию. На рис. 10.4 показано рабочее окно программы, в котором схема генератора выполнена по стандартам DIN (немецким). Сравните рис. 10.4 с рис. 10.1, рис. 10.2 и рис. 10.3.

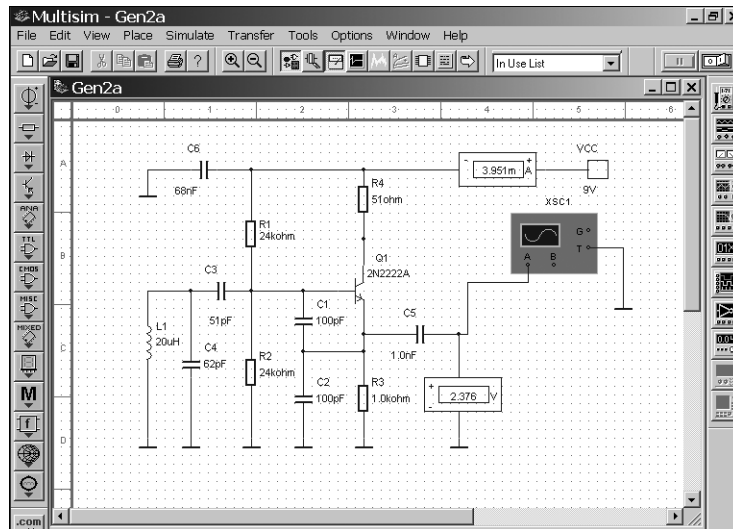


Рис. 10.4. Измененное рабочее окно программы Multisim 2001

- Программа Multisim 2001 позволяет изменять текстовые обозначения вместе с изменением графического изображения компонентов: изменять расположение названий компонентов и их номиналы.
- В программе добавлены некоторые измерительные приборы.

## Технология создания схем

После установки программы EWB 5.12 (или аналогичной программы), необходимо просмотреть все имеющиеся в составе этой программы примеры схем и проектов. Делается это через главное меню программы выбором команд **File**⇒**Open** (Файл⇒Открыть). В результате на экране открывается окно **Open Circuit File** (Открыть файл со схемой) для выбора файла (рис. 10.5), в котором следует из директории EWB512 выбрать папку **CIRCUITS**.

На рис. 10.6 показано окно программы с открытым проектом 2M-OSCIL.EWB.

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

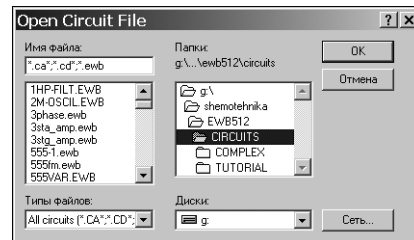


Рис. 10.5. Окно выбора файла

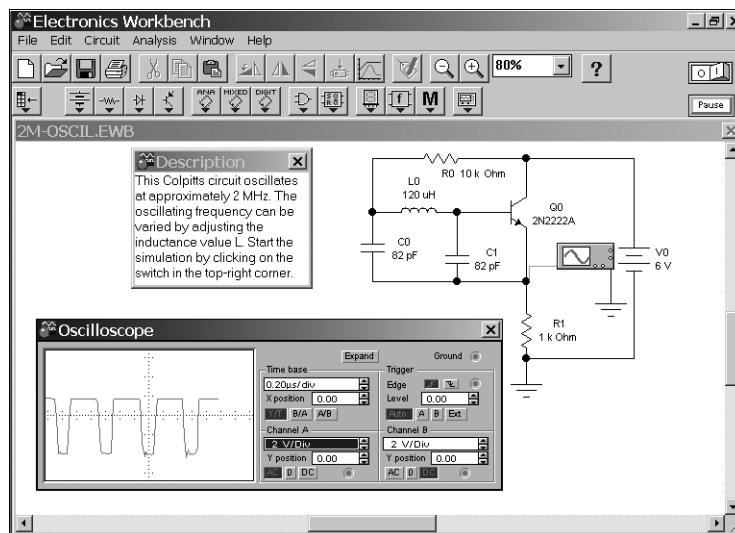


Рис. 10.6. Проект в окне программы EWB 5.12

Прежде чем в программе EWB 5.12 начать процесс создания 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 расположения на рабочем поле программы EWB 5.12 (или аналогичной) компонентов из библиотек программы в соответствии с подготовленным эскизом. Разделы библиотеки программы EWB 5.12 поочередно могут быть открыты с помощью соответствующих кнопок с изображением компонент. На рис. 10.7 пронумерованы все 9 кнопок, которые открывают доступ к библиотекам компонентов, расположенным на этом же рисунке ниже. При установке указателя мыши на кнопку на экране появляется всплывающая подсказка с названием соответствующей библиотеки компонентов.

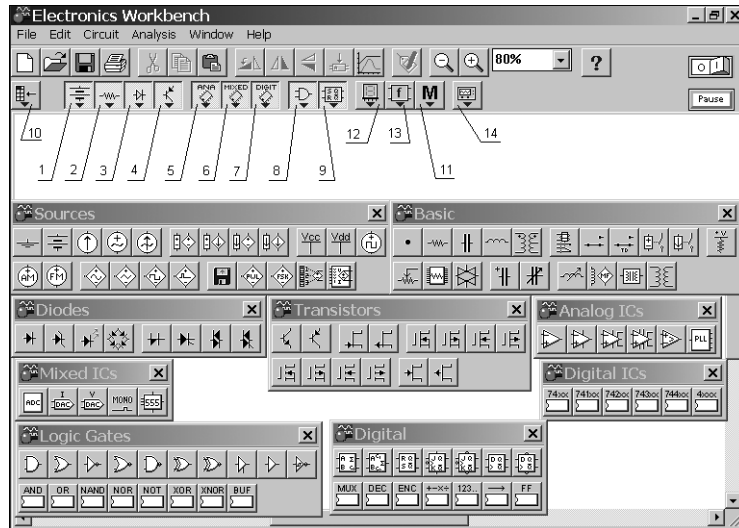


Рис. 10.7. Библиотеки компонентов

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. Фиксация символа компонента на заданном месте окна выполняется с помощью щелчка мышью на некотором расстоянии от значка компонента.

На этом этапе необходимо предусмотреть место для расположения контрольных точек и изображений контрольно-измерительных приборов.

Чтобы установить для данного компонента необходимую величину значения, нужно дважды щелкнуть мышью на значке этого компонента. Результат этого действия показан на рис. 10.8. В результате открывается окно редактирования, в котором следует установить необходимую величину и щелкнуть на кнопке **ОК**.

В программе Multisim 2001 двойной щелчок мышью на изображении компонента приводит к открытию окна, показанное на рис. 10.9, в котором показаны основные параметры и значения этого компонента.

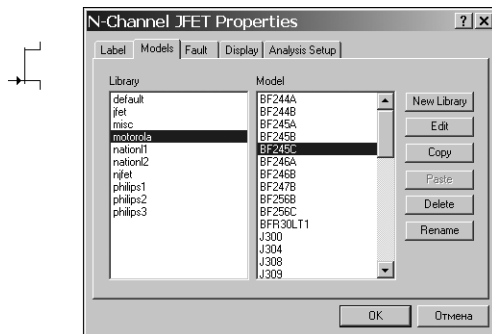


Рис. 10.8. Окно редактирования номинала полевого транзистора

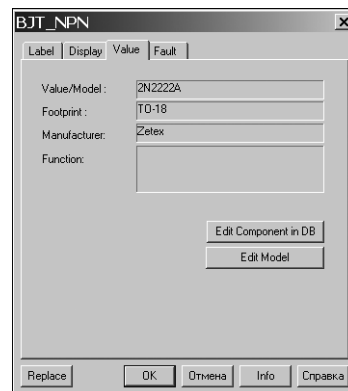


Рис. 10.9. Окно с информацией

Если необходимо внести какое-то изменение, то следует щелкнуть мышью на кнопке, расположенной в левом нижнем углу окна. Тогда появится окно выбора нового значения для заданного компонента, показанное на рис. 10.10.

В раскрывающемся диалоговом окне устанавливаются требуемые параметры (сопротивление резистора, тип транзистора и т.д.) и выбор подтверждается с помощью кнопки **ОК** 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.

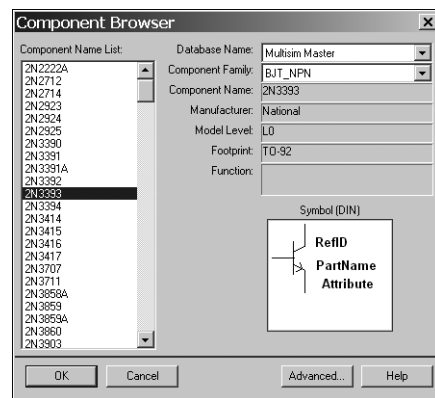


Рис. 10.10. Окно редактирования данных транзистора

### 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 необходимо установить указатель мыши на выводе компонента, и после появления на экране прямоугольника синего цвета (или окружности с перекрестием) нажать левую кнопку мыши и, не отпуская кнопки мыши, перетащить мышью появившийся на экране проводник к выводу другого компонента так, чтобы на нем появился такой же прямоугольник (или окружность с перекрестием). Для завершения создания соединения нужно отпустить кнопку мыши. В программе Multisim 2001 после отпускания кнопки следует тут же выполнить щелчок мышью.

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 на свободном месте 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, указатель надо подвести к одному из выводов компонентов или точке соединения компонентов и после появления прямоугольника нажать левую кнопку мыши и, не отпуская ее, перетащить проводник на свободное место рабочего поля, после чего кнопку мыши нужно отпустить. Чтобы убрать соединительную линию, необходимо установить на ней указатель и щелкнуть мышью. Линия при этом либо изменит свой цвет, либо станет более толстой, либо на концах линии появятся небольшие квадратики — все это будет свидетельствовать о том, что данная линия выбрана. После этого можно нажать клавишу <Delete> и щелкнуть на кнопке **Да** в окне подтверждения удаления.

Точно таким же методом удаляется ненужный компонент.

Второй метод удаления или изменение положения компонента — установить указатель мыши на изображении компонента и нажать правую кнопку мыши. В появившемся окне следует выбрать переключатель для выполнения соответствующего ему действия (удалить, повернуть или зеркально отобразить) и щелкнуть мышью на кнопке **ОК**.

Следует отметить, что место прокладки линий соединительных проводников выбирается автоматически, при этом препятствующие компоненты и другие проводники обгибаются 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 мышью на 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, подведите к нему указатель мыши, нажмите левую кнопку мыши и, после появления в вертикальной или горизонтальной плоскости двойной стрелки, выполните перемещение сегмента мышью.

## 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 указатель на эту линию и дважды щелкнуть мышью. При этом появится диалоговое окно, в котором следует выбрать нужный цвет и щелкнуть мышью на кнопке **ОК**. 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:

- ♦ с помощью команды **File⇒Save As** (Файл⇒Сохранить как) записать в файл создаваемую схему, указав его имя в диалоговом окне (расширение имени файла указывать не обязательно, программа сделает это автоматически);
- ♦ с помощью команды **File⇒Open** (Файл⇒Открыть) загрузить в рабочее поле импортируемую схему стандартным образом для операционной системы Microsoft Windows;
- ♦ с помощью команды **Edit⇒Select All** (Правка⇒Выделить все) выделить схему, если импортируется схема полностью, или выделить ее нужную часть;
- ♦ с помощью команды **Edit⇒Copy** (Правка⇒Копировать) скопировать выделенную схему в буфер обмена;
- ♦ с помощью команды **File⇒Open** загрузить создаваемую схему в рабочее окно программы;
- ♦ с помощью команды **Edit⇒Paste** (Правка⇒Вставить) вставить содержимое буфера обмена в рабочее поле, после вставки импортируемая схема будет выделена (и отмечена красным цветом) и может оказаться наложенной на создаваемую схему;
- ♦ с помощью клавиш управления курсором или мыши переместите 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 открывается с помощью команды **Windows⇒Description**), в котором указывается ее назначение, после проведения моделирования указываются его результаты. К сожалению, программа EWB 5.15 позволяет вводить описание только на английском языке. Кроме того, в EWB 5.15 не предусмотрены средства для редактирования графических изображений компонентов, а также введения новых шрифтов.

Перейдем теперь к краткому обзору библиотечных компонентов программы EWB 5.15. 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 программе EWB 5.12 самый крайний справа раздел называется **Favorites** (избранные). Заполнение раздела моделями компонентов или подсхем осуществляется программой автоматически одновременно с загрузкой схемного файла и очищается после окончания работы с ним. На рис. 10.7 эта группа обозначена номером 10.

## Группа Sources — различные компоненты-источники

Группа **Sources** (Источники) показана на рис. 10.7 под номером 1 и содержит компоненты, которые используются как входящие сигналы или как источники питания. Все входящие в эту группу компоненты расположены на рис. 10.11.

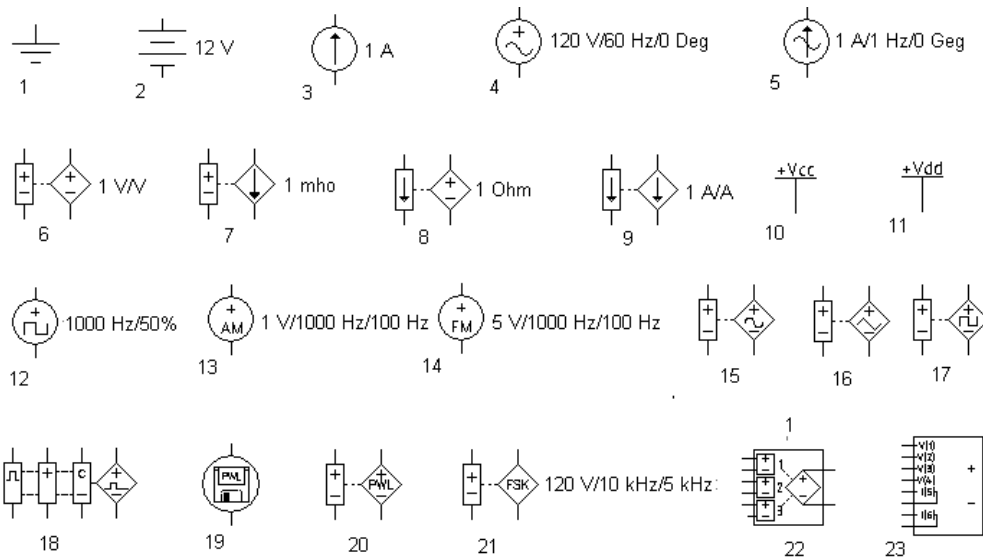


Рис. 10.11. Компоненты группы **Sources**

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.

На рис. 10.11 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 — пассивные базовые компоненты

На рис. 10.7 эта группа находится под номером 2. Компоненты этой группы показаны на рис. 10.12.

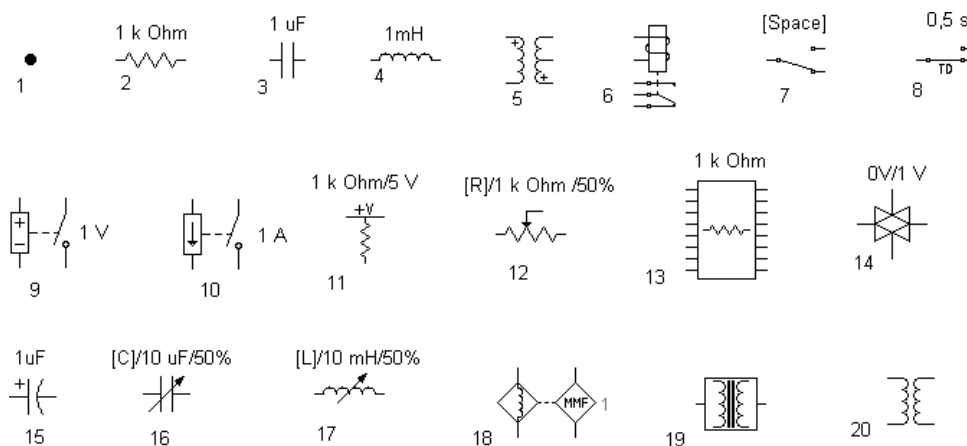


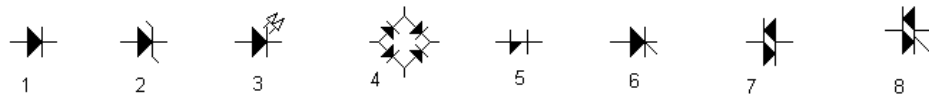
Рис. 10.12. Компоненты группы Basic

- 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 на 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 <Пробел>).
- 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 которого задаются с помощью диалогового окна, в котором параметр **Key** (Клавиша) определяет символ клавиши клавиатуры (по умолчанию <R>), нажатием которой сопротивление уменьшится на заданную величину в % (параметр **Increment** (Увеличить), подвижный контакт движается влево) или увеличивается на такую же величину нажатием комбинации клавиш <Shift+R> (подвижный контакт движается 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

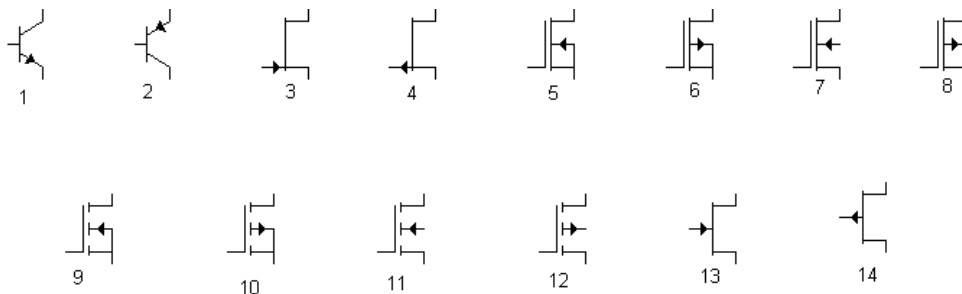
На рис. 10.7 эта группа обозначена номером 3. Изображения компонентов из этой группы показаны на рис. 10.13.

Рис. 10.13. 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

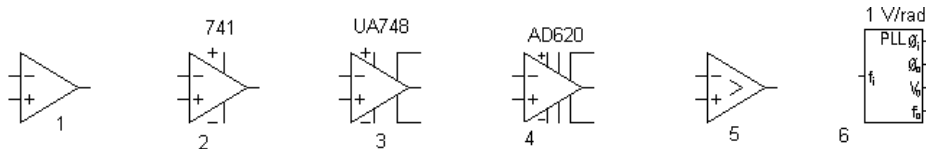
На рис. 10.7 эта группа обозначена номером 4. Изображения компонентов из этой группы показаны на рис. 10.14.

Рис. 10.14. 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 канальные 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 канальные 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

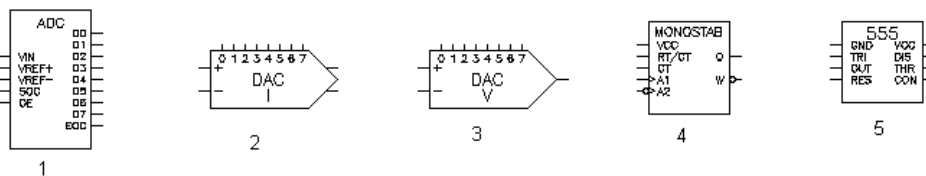
На рис. 10.7 эта группа обозначена номером 5. Изображения компонентов из этой группы показаны на рис. 10.15.

Рис. 10.15. 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. 10.7 эта группа обозначена номером 6. Изображения компонентов из этой группы показаны на рис. 10.16.

Рис. 10.16. 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  $T_{plh}$ , Propagation Delay Time, High-to-Low Level Output  $T_{phl}$ , c);

- ♦ пороговое напряжение (Threshold Voltage  $V_{th}$ , B).

## Группа Digital ICs — цифровые микросхемы

На рис. 10.7 эта группа обозначена номером 7. Изображения компонентов из этой группы показаны на рис. 10.17.

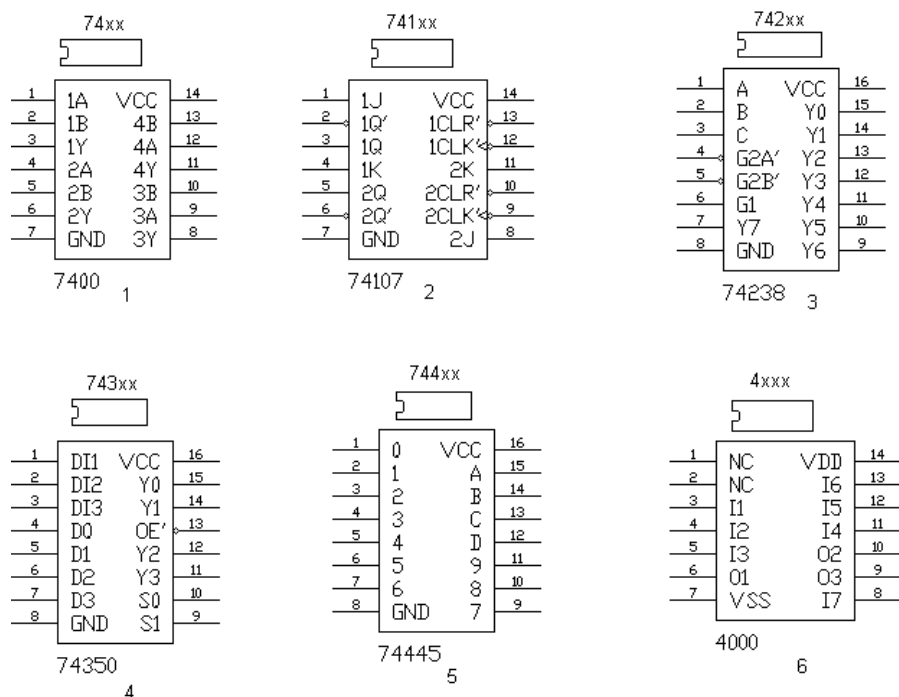


Рис. 10.17. Компоненты из группы Digital ICs

- 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. 10.7 эта группа обозначена номером 8. Изображения компонентов из этой группы показаны на рис. 10.18 и рис. 10.19.

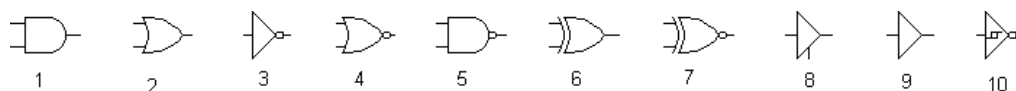


Рис. 10.18. Компоненты из группы Logic Gates

- 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 шаблонов, которые служат для вывода на экран схематических изображений микросхем типа 4000. Соответствующие схематические изображения цифровых микросхем типа 4000 показаны на рис. 10.19.

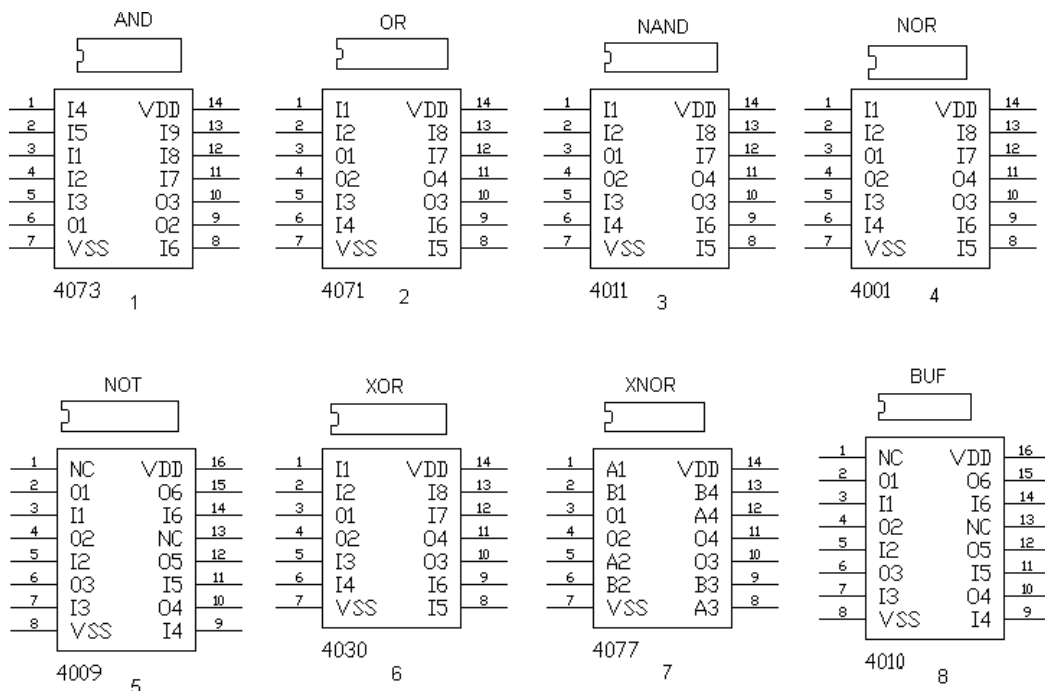


Рис. 10.19. Микросхемы типа 4000

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

## Группа Digital — цифровые микросхемы

На рис. 10.7 эта группа обозначена номером 9. Изображения компонентов из этой группы показаны на рис. 10.20.

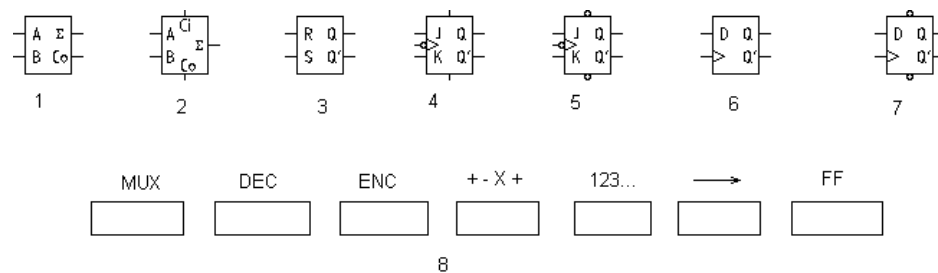


Рис. 10.20. Компоненты из группы **Digital**

- 1 — арифметический полусумматор (тип). A, B — ввод слагаемых,  $\Sigma$  — выход результата суммы,  $Co$  — выход переноса.
- 2 — полный арифметический сумматор (тип). A, B — ввод слагаемых,  $\Sigma$  — выход результата суммы,  $Co$  — выход переноса,  $Co$  — 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. 10.7 эта группа обозначена номером 11. Изображения компонентов из этой группы показаны на рис. 10.21.

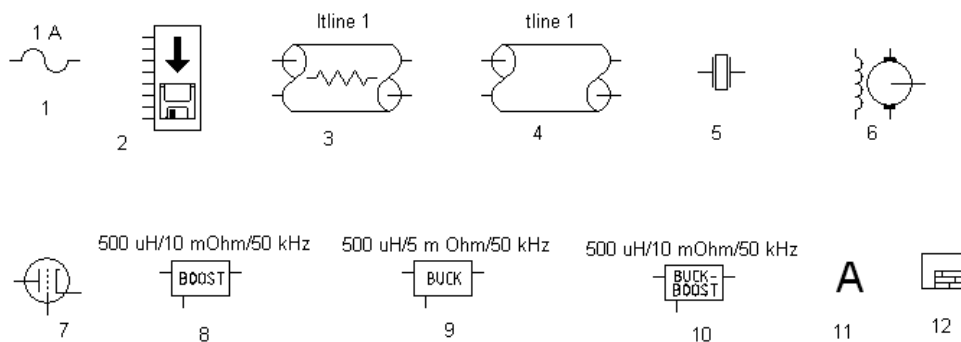


Рис. 10.21. Компоненты из группы **Miscellaneous**

- 1 — предохранитель (ток срабатывания).
- 2 — компонент **Write Data** (Запись данных) — 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 length 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

Изображения компонентов из этой группы показаны на рис. 10.22. Слева, в верхнем углу, располагается панель индикаторов, которая появляется после нажатия на кнопку под номером 12 на рис. 10.7. Далее располагаются изображения индикаторных приборов. Изображение каждого из приборов имеет на рисунке свой номер.

- 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).

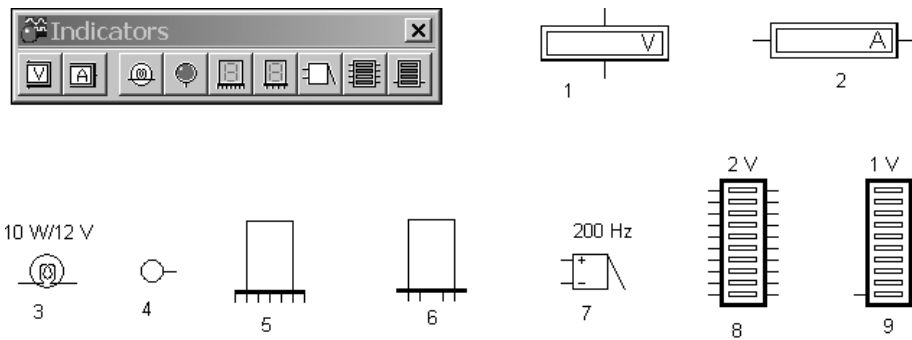


Рис. 10.22. Компоненты из группы **Indicators**

- 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

Изображения компонентов из этой группы показаны на рис. 10.23. Слева сверху располагается панель с изображениями устройств, которая появляется после нажатия на кнопку под номером 13 на рис. 10.7. Далее на рис. 10.23 располагаются изображения вычислительных устройств, которые обозначены на рисунке следующими номерами.

- 1 — дифференциатор напряжения (напряжение/напряжение).
- 2 — интегратор напряжения (напряжение/напряжение).
- 3 — масштабирующее звено (напряжение/напряжение).
- 4 — формирователь передаточных функций — Transfer Function Block.
- 5 — аналоговый множитель (коэффициент передачи).
- 6 — аналоговый делитель (коэффициент передачи).

- 7 — сумматор трех напряжений (величины напряжений).
- 8 — неуправляемый ограничитель напряжения (напряжение).

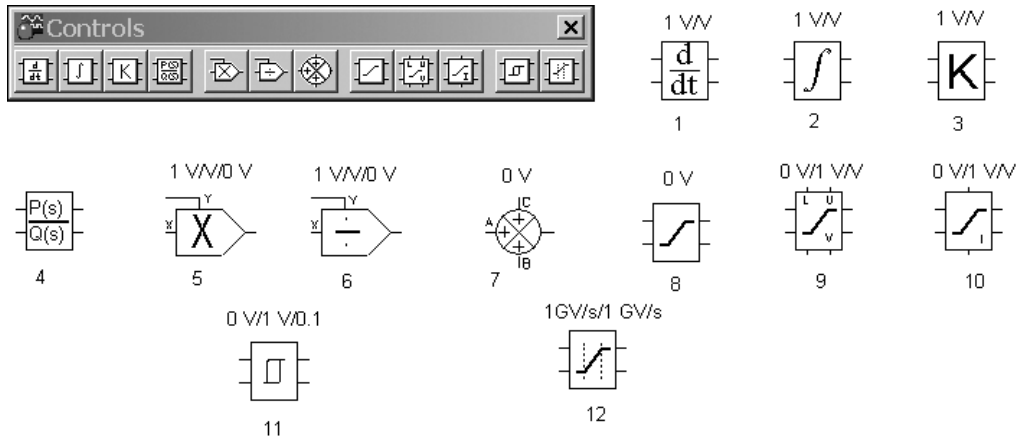


Рис. 10.23. Компоненты из группы Controls

- 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

Изображение компонентов из этой группы показаны на рис. 10.24. Слева, в верхнем углу, располагается панель индикаторов, которая появляется после нажатия на кнопку под номером 14 на рис. 10.7. Изображения измерительных приборов на рис. 10.24 обозначены номерами.

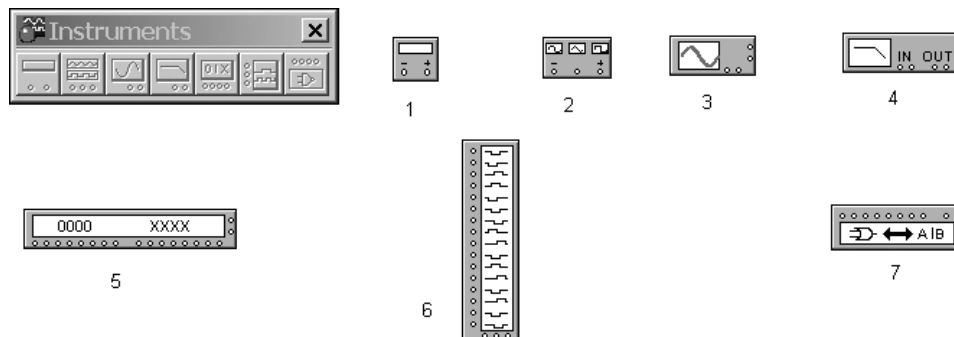


Рис. 10.24. Компоненты из группы Instruments

## Мультиметр (Multimeter)

Мультиметр (Multimeter) обозначен на рис. 10.24 номером 1. Он предназначен для измерения напряжения, тока, сопротивления и величины отношения в децибелах. Рабочее окно измерительного инструмента показано на рис. 10.25.

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** (Установки) — установка параметров мультиметра. После нажатия на эту кнопку открывается диалоговое окно, в котором выводятся следующие данные:
- **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:  $K[\text{дБ}] = 20 \times \log(V_2/V_1)$ , где  $V_2$  — напряжение в контролируемой точке.



Рис. 10.25. Мультиметр

## Функциональный генератор (Function Generator)

Многофункциональный генератор (Function Generator) обозначен на рис. 10.24 номером 2. Он предназначен для генерирования сигналов различной формы, различной частоты и амплитуды. Рабочее окно инструмента показано на рис. 10.26.

Управление генератором осуществляется с помощью следующих элементов управления.

- Кнопками выбора формы выходного сигнала: синусоидальной (выбрана) треугольной и прямоугольной.
- Поле ввода для установки частоты выходного сигнала.
- Поле ввода для установки коэффициента заполнения в процентах. Для импульсных сигналов это отношение длительности импульса к периоду повторения (величина, обратная скважности), для треугольных сигналов — соотношение между длительностями переднего и заднего фронта.
- Поле ввода для установки амплитуды выходного сигнала.
- Поле ввода для установки смещения (постоянной составляющей) выходного сигнала.

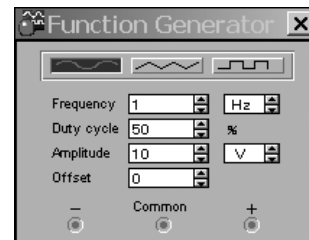


Рис. 10.26. Многофункциональный генератор

В нижней части окна генератора располагаются выходные зажимы, служащие для выдачи в схему сигнала от генератора. Если необходимо выдать сигнал поло-

жительный, то зажим отрицательного сигнала заземляется. При заземлении клеммы COM (Общий) на клеммах  $\leftrightarrow$  и  $\langle + \rangle$  получаем парафазный сигнал.

## Осциллограф (Oscilloscope)

Многофункциональный осциллограф (Oscilloscope) обозначен на рис. 10.24 номером 3. Рабочее окно инструмента показано на рис. 10.27.

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

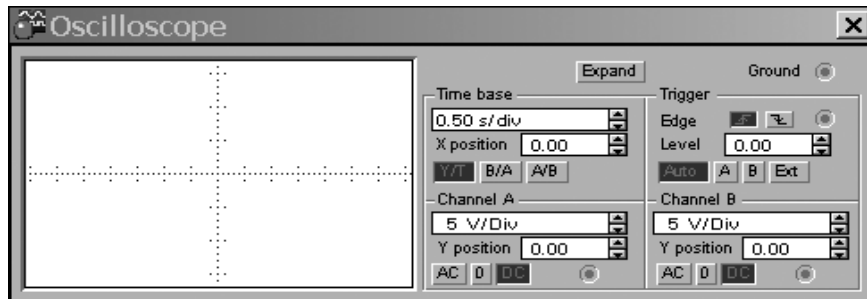


Рис. 10.27. Осциллограф

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 группе параметров **Time base** (Основное время) располагаются кнопки управления режимами развертки.

В группе параметров **Y/T** (обычный режим, включен по умолчанию) реализуются следующие режимы развертки: по вертикали — напряжение сигнала; по горизонтали — время; в режиме **B/A**: по вертикали — сигнал канала A, по горизонтали — сигнал канала B.

В режиме развертки **Y/T** длительность развертки (Time base) может быть задана в диапазоне от 0,1 нс/дел ( $\text{ns}/\text{div}$ ) до 1с/дел ( $\text{s}/\text{div}$ ) возможностью установки смещения в тех же единицах по горизонтали, т.е. по оси X (X position).

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 A или B), от канала A, от канала B или от внешнего источника (**Ext**), подключаемого к зажиму в блоке

управления **Trigger**. Названные режимы запуска развертки выбираются кнопками **Auto**, **A**, **B** и **Ext**.

Заземление осциллографа осуществляется с помощью клеммы **Ground** (Земля) в правом верхнем углу прибора.

Если нажать кнопку **Expand** (Расширить), расположенную в верхней части рабочего окна, то появляется возможность работать с окном увеличенного размера, изображенном на рис. 10.28. При этом появляется возможность прокрутки изображения по горизонтали и его сканирования с помощью вертикальных визирных линий (синего и красного цвета), которые с помощью треугольных ушек (они обозначены также цифрами 1 и 2) мышью могут быть установлены в любое место экрана. При этом в информационных полях, расположенных под экраном, выводятся результаты измерения напряжения, временных интервалов и их приращений (между визирными линиями). Изображение можно инвертировать нажатием кнопки **Reverse** (Инверсия) и записать данные в файл нажатием кнопки **Save** (Сохранить). Возврат к исходному состоянию осциллографа — нажатием кнопки **Reduce** (Понижение).

### Измеритель АЧХ и ФЧХ (Bode)

Измеритель АЧХ и ФЧХ (Bode) обозначен на рис. 10.24 номером 4. Схематическое изображение и лицевая панель измерителя АЧХ-ФЧХ показана на рис. 10.29.

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** нажата по умолчанию) или линейной (кнопка **Lin**) шкале по осям  $Y$  (кнопка **Vertical**) и  $X$  (кнопка **Horizontal**).

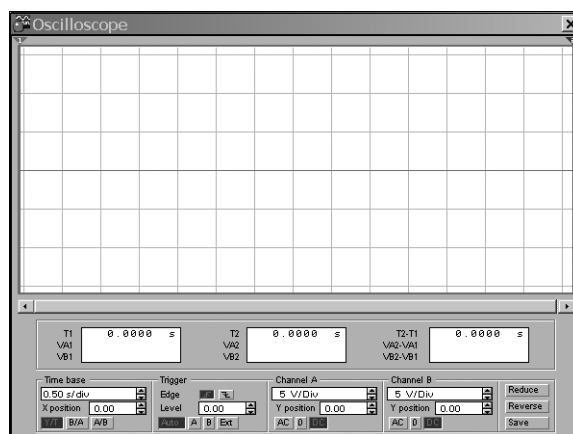


Рис. 10.28. Осциллограф с увеличенным рабочим окном

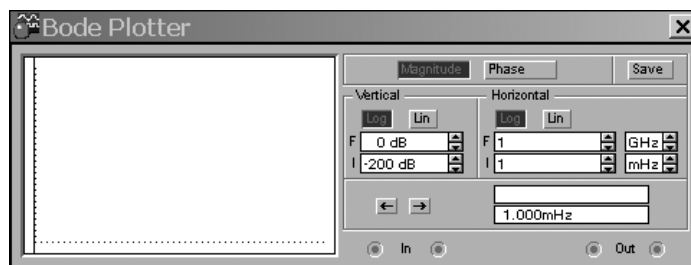


Рис. 10.29. Измеритель АЧХ и ФЧХ

Настройка измерителя заключается в выборе пределов измерения коэффициента передачи и вариации частоты с помощью кнопок полей **F** и **I** определяющих макси-

мальное и минимальное значения соответственно. Значение частоты и соответствующее ей значение коэффициента передачи или фазы индуцируется в полях 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)

Генератор слова (Word Generator) обозначен на рис. 10.24 номером 5. Лицевая панель генератора слова показана на рис. 10.30.

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 поле **Edit** (Правка) группы параметров **Address** (Адрес) помещена цифра 0003, поскольку курсор находится в третьей ячейке, верхняя ячейка — нулевая. Всего таких ячеек и, следовательно, комбинаций — 2048. В процессе работы генератора в группе параметров **Address** индицируется номер текущей ячейки — поле **Current**, ячейки инициализации или начала работы — поле **Initial** и конечной ячейки — поле **Final**. Кодовые комбинации, выводимые на 16 выходов (в нижней части генератора) могут быть представлены в текстовом коде — поле **ASCII** и двоичном коде — **Binary**.

Интересной особенностью генератора является внешний запуск (нажата кнопка **External**) по готовности данных (клемма **Data ready**). Сигнал с этого выхода сопровождается 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 группе параметров **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 следующих возможностей:

- **Clear buffer** — стереть содержимое всех ячеек (содержимое буфера экрана);
- **Open** — загрузить кодовые комбинации (из файла с расширением **DP**);

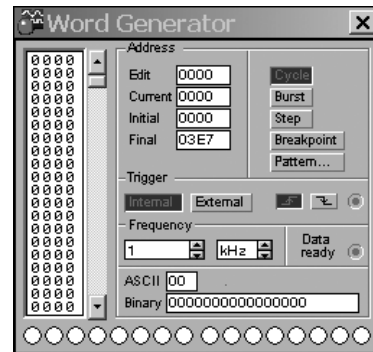


Рис. 10.30. Генератор слова

- **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 (см. на рис. 3.11 нижние ячейки);
- **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 нажатой кнопке **Step**, циклическом (при нажатой кнопке **Cycle**) и с выбранным словом до конца (при нажатой кнопке **Burst**) при заданной частоте посылок (нажатие кнопок в группе параметров **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)

Логический анализатор (Logic Analyzer) обозначен на рис. 10.24 номером 6. Внешний вид логического анализатора показан на рис. 10.31.

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

Длительность развертки устанавливается в окне **Clock**, с помощью кнопки **Set** открывается диалоговое окно, в котором выполняется установка времени. Здесь также можно подключить внешний источник **External**, например, генератор слова.

В группе параметров **Trigger**

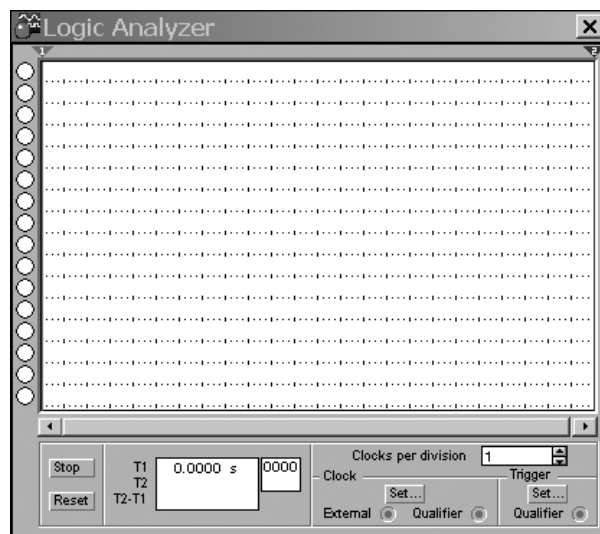


Рис. 10.31. Логический анализатор

расположена кнопка еще одна кнопка **Set**, с помощью которой открывается диалоговое окно для установки параметров триггера.

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)

Логический преобразователь анализатор (Logic Converter) обозначен на рис. 10.24 номером 7. Схематическое изображение и внешний вид логического преобразователя показан на рис. 10.32.

На лицевой панели схематического изображения (1) преобразователя показаны клеммы-индикаторы входов A, B,... N и одного выхода OUT, которые используются при подключении прибора в схему.

В рабочем окне прибора (2) также вверху показаны клеммы-индикаторы входов A, B,... N и одного выхода OUT, ниже располагается экран для отображения таблицы истинности исследуемой схемы, экран-строка для отображения ее булевого выражения (в нижней части). В правой части панели расположены кнопки управления процессом преобразования — группа параметров **Conversions**.

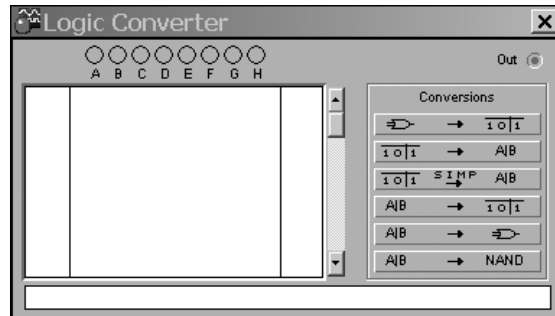


Рис. 10.32. Логический преобразователь

Возможные варианты использования преобразователя:

1. Логический анализ  $n$ -входного устройства с одним выходом (входы исследуемого устройства подключаются к клеммам **A–H**, а выход — к клемме **OUT**). В этом случае, используя кнопки управления, расположенные ниже кнопки **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 на входных клеммах A, B,... N, начиная с клеммы A, активизируем 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 установите указатель мыши на первую строку в столбце OUT, щелкните мышью и после появления курсора введите с клавиатуры 1. Дальнейшие перемещения с целью редактирования остальных строк столбца OUT удобнее производить с помощью клавиш управления курсором. При этом данные в столбцах A, B, C и D редактирования не требуют, поскольку в этих столбцах уже имеются все возможные комбинации.
3. Синтез логического устройства по булевому выражению.
  - 3.1. Булево выражение заносится в экран-строку, предварительно активизируемое мышью. Используются символы A,...,H, при инверсии — A\..H\.
  - 3.2. Нажав 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 ее рабочем окне собираем из компонентов электрическую принципиальную схему простого усилителя звуковых частот на операционном усилителе 741 (К140УД7). На рис. 10.33 показано рабочее окно программы с изображенной схемой усилителя и подключенными измерительными приборами — функциональным генератором, осциллографом и мультиметром.

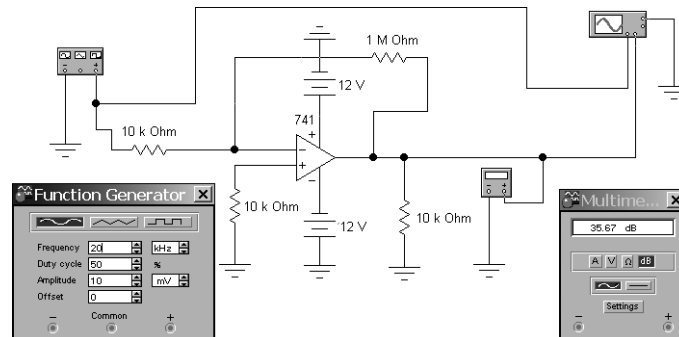


Рис. 10.33. Схема усилителя на ОУ

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 с напряжением  $V_1 = 10$  мВ. Поскольку нам будет необходимо изме-

рить усиление в децибелах, то в подключенном мультиметре к выходу схемы, необходимо установить напряжение источника сигнала, которое будет далее 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  $V_2 = 1,4060$  V. Следовательно, коэффициент передачи усилителя  $K = V_2/V_1 = 140,6$ . Переведем мультиметр в режим dB, тогда получим значение коэффициента усиления в децибелах  $K[\text{дБ}] = 20 \log 140,6 = 42,96$  dB.

Предположим далее, что частота входного сигнала увеличена до 20 кГц и получено напряжение на выходе усилителя  $V_2 = 607,4$  mV, т.е. коэффициент передачи в данном случае составляет  $K = 607,4/0,1 = 60,74$ . В режиме dB мультиметр измерит  $K[\text{дБ}] = 20 \log 60,74 = 35,67$  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 (К140УД7) с подключенными измерительными приборами показана на рис. 10.34.

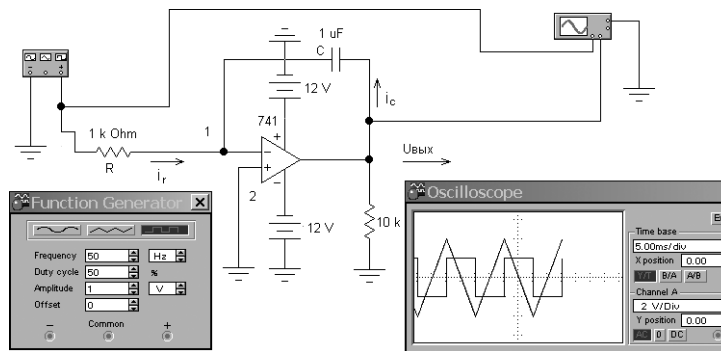


Рис. 10.34. Схема интегратора на ОУ

Пусть на вход операционного усилителя от функционального генератора подается сигнал с прямоугольной формой импульса. В интервале времени  $t_1...t_2$  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  $U_{\text{вых}}$  соотношением:

$$i_C = C \times dU_{\text{вых}}/dt.$$

Выходное напряжение в интервале  $t_1...t_2$  будет изменяться по линейному закону и будет представлять интеграл от входного напряжения.

В виде математической формулы это будет выглядеть следующим образом:

$$U_{\text{вых}} = U(t_1) + 1/C \times \int i_C dt.$$

Моделирование интегратора на ОУ выполнено при помощи системы EWB 5.12. Схема, показанная на рис. 10.34 реализована при помощи графического интерфейса этой системы.

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

С помощью двойного щелчка мышью на изображении генератора можно раскрыть интерфейсную панель прибора. Форма сигнала выбирается с помощью соответствующей кнопки в верхней части панели прибора. С помощью указателей, расположенных справа от соответствующих полей, устанавливается частота, скважность и амплитуда сигнала. Смещение (Offset) принимается равным 0. Операционный усилитель помещается на рабочем поле с помощью кнопки **Analog ICs** панели инструментов.

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 мыши на рабочее поле, символ осциллографа помещается в рабочее поле. С помощью двойного щелчка мышью на изображении осциллографа можно раскрыть интерфейсную панель прибора.

Раскрывшийся интерфейс осциллографа позволяет установить время развертки (Time base), которое принимается равным  $5 \text{ ms/div}$ ; напряжение развертки для канала А, устанавливает  $2 \text{ V/div}$ . Результаты моделирования показаны на рис. 10.34.

## 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. 10.35.

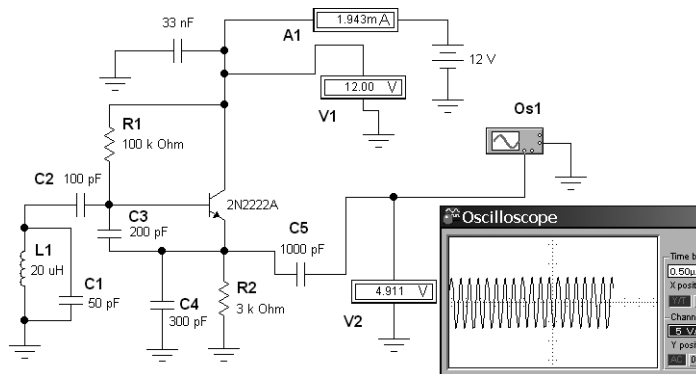


Рис. 10.35. Схема генератора ВЧ колебаний

Кроме радиоэлементов схемы здесь также находятся измерительные приборы: А1 — 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 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 табл. 10.1, в которую необходимо записывать основные данные.

**Таблица 10.1.** 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. 10.36.

1. В меню системы EWB 5.12 выбираем значок с именем **Logic Gates**, отмеченный на рис. 10.36 цифрой 1.

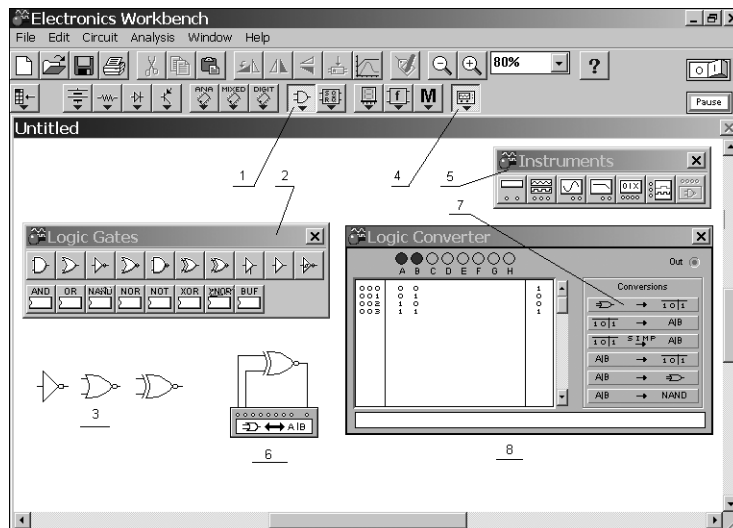


Рис. 10.36. Выбор компонентов

2. Из панели **Logic Gates** (которая отмечена цифрой 2), на рабочем поле размещаются графические символы логических элементов NOT (НЕ), NOR (ИЛИ-НЕ), XNOR (исключающее ИЛИ-НЕ) (на рис. 10.36 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. 10.36 (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 мыши на изображении прибора **Logic Converter** открывается его лицевая панель (над цифрой 8).
7. Щелчком мыши на кнопке панели прибора, отмеченная цифрой 7, отображается таблица истинности для исследуемого логического элемента.

8. Для получения таблиц истинности других элементов в собранной схеме (см. схему на рис. 10.36, над цифрой 6) заменяются графические символы элементов из имеющихся в библиотеке **Logic Gates**.

На рис. 10.37 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.

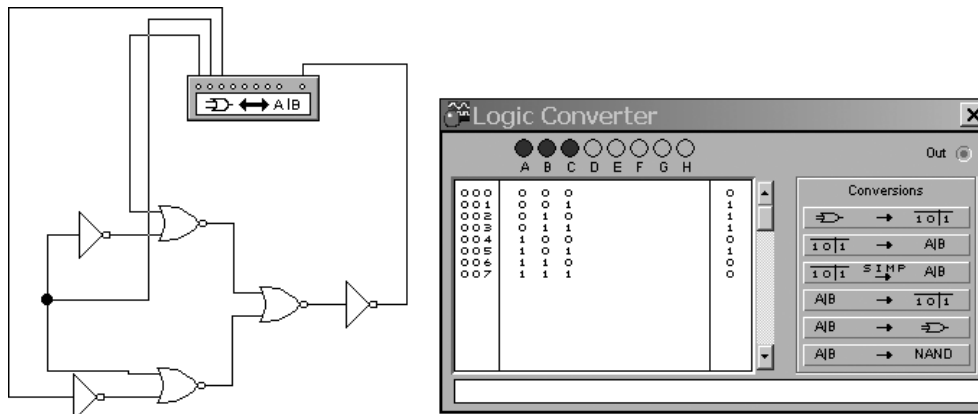


Рис. 10.37. Схема из логических элементов

Таблица истинности отображается на лицевой панели с помощью кнопки **Conversions**.

## Вместо заключения

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