

**Серия**  
**Системы проектирования**

**S**  
**«СОЛОН»**

Карлашук В. И.

# Электронная лаборатория на **IBM PC**

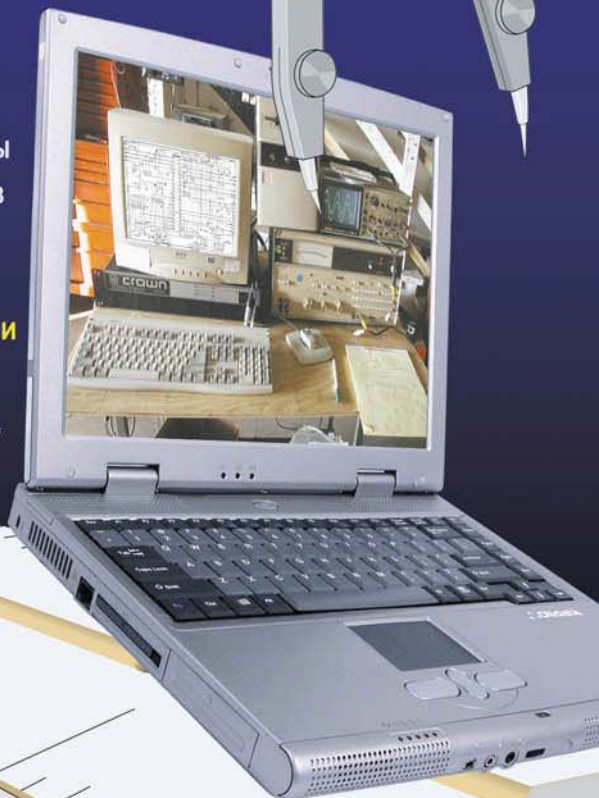
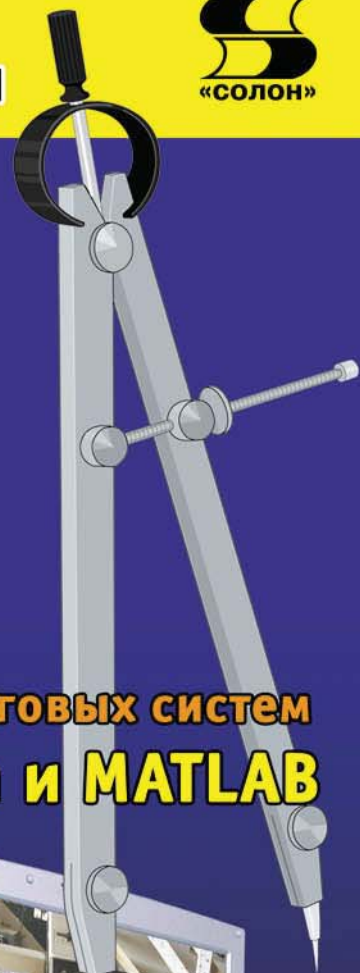
**Моделирование элементов аналоговых систем  
на Electronics Workbench и MATLAB**

Издание 6-е,  
переработанное и дополненное

- \* Работа с новыми версиями программы
- \* Подробное описание схемных файлов и моделей
- \* Все об элементной базе
- \* Практикум по основам электротехники

**Том 1**

**ПОШАГОВОЕ  
ОБУЧЕНИЕ**



УДК 621.38  
ББК 32.844  
К21

**В. И. Карлашук**

К21 Электронная лаборатория на IBM PC. Том 1. Моделирование элементов аналоговых систем. 6-е изд., перераб и доп. — М.: СОЛОН-ПРЕСС, 2010. — 672 с.: ил. — (Серия «Системы проектирования»)

ISBN 5-98003-288-6

Книга посвящена применению программы Electronics Workbench фирмы Interactive Image Technologies (Канада) для схемотехнического моделирования аналоговых и цифровых радиоэлектронных устройств различного назначения, представленных большим количеством практических схем, что делает книгу своеобразным «живым» справочным пособием. Она может быть использована в технических учебных заведениях при проведении лабораторных работ по основам электротехники, электроники, вычислительной техники и автоматики. Книга может быть полезной для радиолюбителей, инженеров-разработчиков и студентов вузов.

В этом издании книги учтены критические замечания и пожелания читателей и преподавателей ряда московских вузов, а также исправлены ошибки и неточности, выявленные в результате ее использования в качестве учебного пособия в Российском университете дружбы народов (РУДН) по курсам «Технические средства систем управления», «Электромеханические системы», «Теоретические основы электротехники» и «Электротехника и электроника». Кроме того, издание дополнено материалами по испытаниям новых схем как в среде EWB 4.1, 5.xx, так и в среде Multisim (EWB 6.xx и 7.0), а также результатами применения программного комплекса MATLAB+Simulink для задач лабораторного практикума, решение которых средствами EWB затруднительно или невозможно.

Схемные файлы программ EWB и MATLAB, включая и использованные в книге (см. Приложение 1), находятся в архиве PICS-1.zip на сайте [www.solon-press.ru](http://www.solon-press.ru). Необходимость в таких файлах объясняется тем, что они содержат все необходимые настройки, обеспечивающие успешное функционирование описанных в книге моделей.

**Указанный архив имеется также на компакт-диске, прилагаемом ко второму тому книги.**

Распространение ООО «АЛЬЯНС-КНИГА КТК»  
(495) 258-91-94 [www.abook.ru](http://www.abook.ru)

Сайт издательства «СОЛОН-ПРЕСС» [www.solon-press.ru](http://www.solon-press.ru)  
E-mail: [solon-avtor@coba.ru](mailto:solon-avtor@coba.ru)

### КНИГА — ПОЧТОЙ

Книги издательства «СОЛОН-ПРЕСС» можно заказать наложенным платежом (оплата при получении) по фиксированной цене. Заказ оформляется одним из двух способов:

1. Послать открытку или письмо по адресу: 123242, Москва, а/я 20.
2. Оформить заказ можно на сайте [www.solon-press.ru](http://www.solon-press.ru) в разделе «Книга — почтой».

**Бесплатно** высылается каталог издательства по почте.

При оформлении заказа следует правильно и полностью указать адрес, по которому должны быть высланы книги, а также фамилию, имя и отчество получателя. Желательно дополнительно указать свой телефон и адрес электронной почты.

Через Интернет Вы можете в любое время получить свежий каталог издательства «СОЛОН-ПРЕСС», считав его с адреса [www.solon-press.ru/kat.doc](http://www.solon-press.ru/kat.doc)

**Интернет-магазин** размещен на сайте [www.solon-press.ru](http://www.solon-press.ru).

# Часть I

## Система моделирования Electronics Workbench

---

---

История создания программы Electronics Workbench (EWB) начинается с 1989 года. Ранние версии программы (до EWB 4.0) состояли из двух независимых частей. С помощью одной половины программы можно было моделировать аналоговые устройства, с помощью другой — цифровые. Такое «раздвоенное» состояние создавало определенные неудобства, особенно при моделировании смешанных аналого-цифровых устройств. В 1995 году в версии 4.0 эти части были объединены, а в версии 4.1 был введен, наряду с 16-, и 32-разрядный режим обработки информации, что существенно повышало быстродействие и совместимость со всеми последующими Windows/NT системами при минимальных требованиях к аппаратной части ПК (Windows 3.1 и выше, 4 Мбайт ОЗУ, около 4 Мбайт дискового пространства под программу и 10—20 Мбайт под временные файлы). При поразительно простом пользовательском интерфейсе и минимуме настроек (чаще всего они и не требуются) EWB 4.1 тем не менее позволяет решать большинство задач лабораторного практикума по всем дисциплинам электрорадиотехнического профиля и автоматики в средних и высших учебных заведениях. Поэтому, несмотря на прекращение продаж EWB 4.1, компания-разработчик не предоставляет возможности ее свободного распространения.

В течение 1996—97 годов были выпущены версии 5.0, 5.12 и 5.12 Pro с расширенными возможностями анализа примерно в объеме программы Micro-Cap [3] с переработанной и существенно расширенной библиотекой компонентов, особенно в EWB 5.12 Pro. Кроме того, в EWB 5.12 была предусмотрена возможность непосредственного выхода в программу EWB Layout разработки печатных плат, описанную в предыдущих изданиях книги. Дополнительные средства анализа цепей (разд. 1.6) в EWB 5.xx выполнены в типичном для всей программы ключе — минимум усилий со стороны пользователя. Наряду с повышением требований к системным средствам (Windows 95 и выше, 8 Мбайт ОЗУ, около 15 Мбайт дискового пространства под программу и 10—20 Мбайт под временные файлы), семейство EWB 5.xx, по сравнению с EWB 4.1, отличается более сложной настройкой (к счастью, она не часто требуется), меньшим быстродействием и некоторым ухудшением пользовательского интерфейса в части копирования элементов экрана.

Для семейства EWB 6.xx (одна из первых представительниц — EWB 6.02 — рассматривалась в предыдущих изданиях книги) требуется уже около 120 МБ дискового пространства в среде Windows 9x/NT, ПК класса не ниже Pentium 133 МГц и объемом ОЗУ не менее 16 МБ. Аналогичные требования предъявляются и программой EWB 7.0, выпущенной в 2003 году. По замыслу разработчиков, эти программы должны выполнять функции так называемой системы сквозного проекти-

рования, т. е. включающей все этапы от создания электрической схемы устройства до разработки его печатной платы с передачей соответствующей документации в производство. Здесь мы ограничимся только рассмотрением блока моделирования (MultiSim), полагая, что представление о двух других блоках (размещение компонентов на печатной плате и ее трассировка — Ultiboard, Ultiroute) можно получить, ознакомившись с материалами гл. 17 предыдущих изданий книги. Несмотря на наличие дополнительных средств анализа (см. разд. 1.8 и 3.9), EWB 6.xx и 7.0 ближе к профессиональным программам и как средство обучения заметно уступают предыдущим версиям по простоте пользовательского интерфейса, настройкам и быстродействию. Эти недостатки обсуждаются по ходу изложения материала и в обобщенном виде представлены в Заключение.

Программы EWB обладают преемственностью снизу вверх, т. е. все схемы, созданные в версиях 3.0 и 4.x, могут быть промоделированы в версиях 5.xx и 6.xx. Кроме того, EWB позволяет также моделировать устройства, для которых задание на моделирование подготовлено в текстовом формате SPICE, чем обеспечивается совместимость с программами Micro-Cap и PSpice [1].

# Глава 1. Структура окон и система меню

Окно программы EWB 4.1 (рис. 1.1) содержит поле меню, линейку контрольно-измерительных приборов и линейку библиотек компонентов, одна из которых в развернутом виде показана в левой части окна. Каталог выбранной библиотеки располагается в вертикальном окне справа или слева от рабочего поля (устанавливается в любое место перетаскиванием стандартным способом — за шапку заголовка). В рабочем поле программы располагается моделируемая схема с подключенными к ней иконками контрольно-измерительных приборов и краткое описание схемы (description), к сожалению, только на английском языке. При необходимости каждый из приборов может быть развернут для установки режимов его работы и наблюдения результатов. Линейки прокрутки используются только для перемещения схемы.

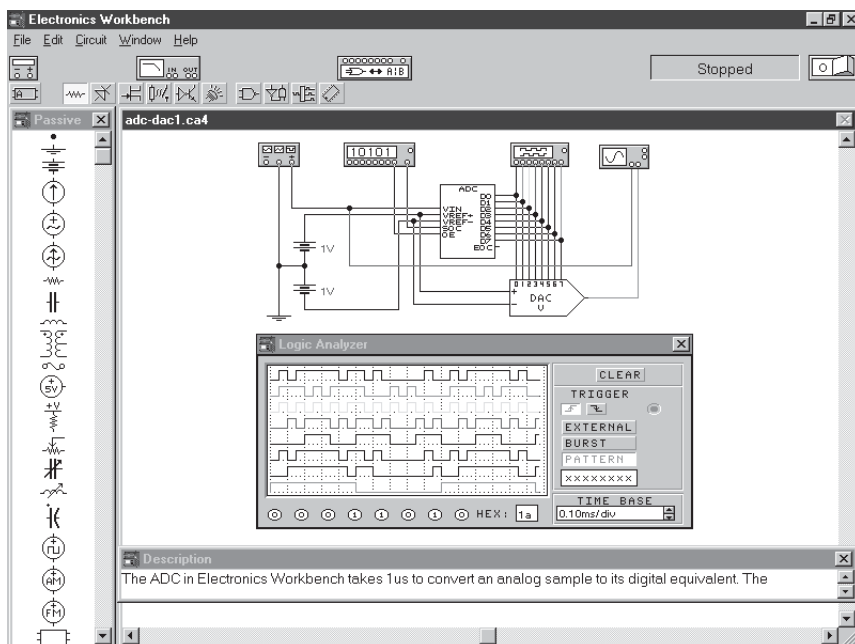


Рис. 1.1. Окно программы EWB 4.1

Окно программы EWB 5.0 (рис. 1.2) отличается дополнительным меню Analysis, наличием линейки инструментов и более компактным представлением библиотек в развернутом виде; линейка контрольно-измерительных приборов расположена в одном поле с библиотеками компонентов; все mnemonic кнопки снабжены подсвечиваемыми подсказками об их назначении.

Окно программы EWB 6.20 (рис. 1.3) отличается расширенным полем меню и вертикальным расположением линеек библиотек (слева) и приборов (справа), которые дополнены ваттметром (внизу слева), измерителем нелинейных искажений (внизу справа), а также недоступных в версии 6.20 анализаторами спектра и четырехполюсников (они доступны в версиях 6.02 и 6.11). Существенным отличием

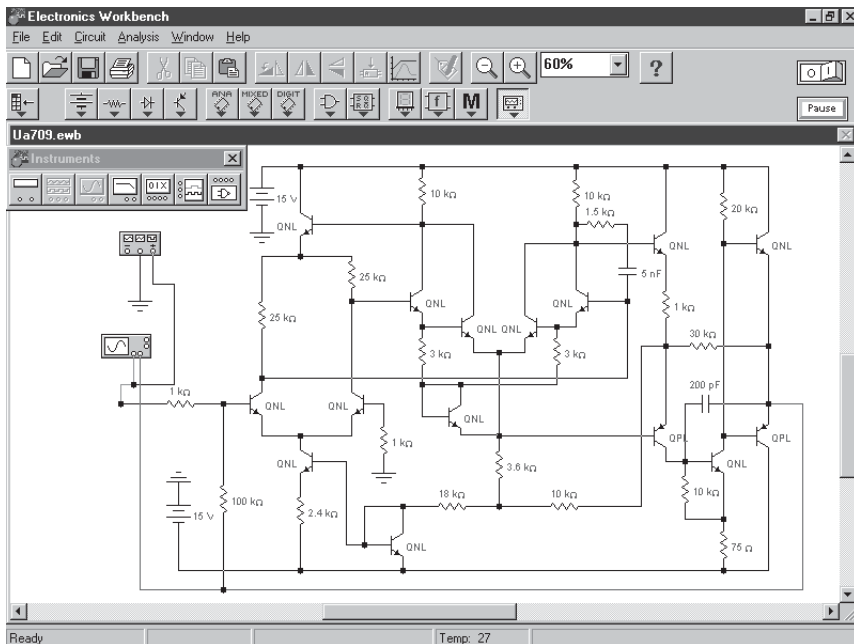


Рис. 1.2. Окно программы EWB 5.0

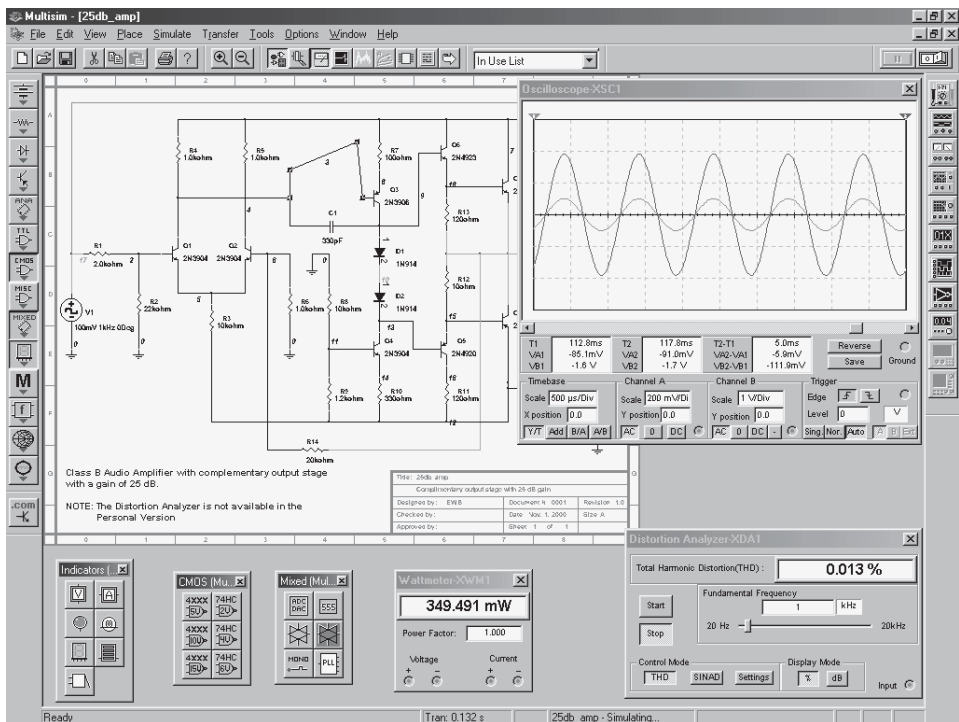





Рис. 1.3. Окно программы EWB 6.2.0 (Multisim 2001)

EWB 6.20 от всех предшествующих версий является возможность одновременной работы с несколькими схемами, располагаемыми в отдельных окнах.

Рабочее окно EWB 7.0 (рис. 1.4) отличается размещением линейки библиотек  в начале третьего горизонтального поля и более широким представлением команд меню мнемоническими кнопками, включая и новинку — стандартные кнопки графического редактора , которые можно использовать для дополнительного оформления документации, включая текст, рисование линий и фигур, а также просмотрщик графических файлов в форматах .BMP и .DIB, вызываемый последней кнопкой. Набор необходимых кнопок можно менять командой Options/Customize (как в известных всем программных продуктах Microsoft). К новинкам относится также возможность «листания» открытых файлов, имена которых располагаются в нижней части окна, и отсутствие привычного включателя моделирования, который заменен кнопкой . Кроме того, командой View/Show ruler bars могут быть включены/выключены дублирующие направляющие для ориентации (деления 1, 2, 3... и A, B, C... вокруг чертежа со схемой на рис. 1.4) в случае, когда чертеж не умещается на экране монитора. Линейка контрольно-измерительных приборов по-прежнему располагается в правой части окна и заметно расширена (см. разд. 3.9).

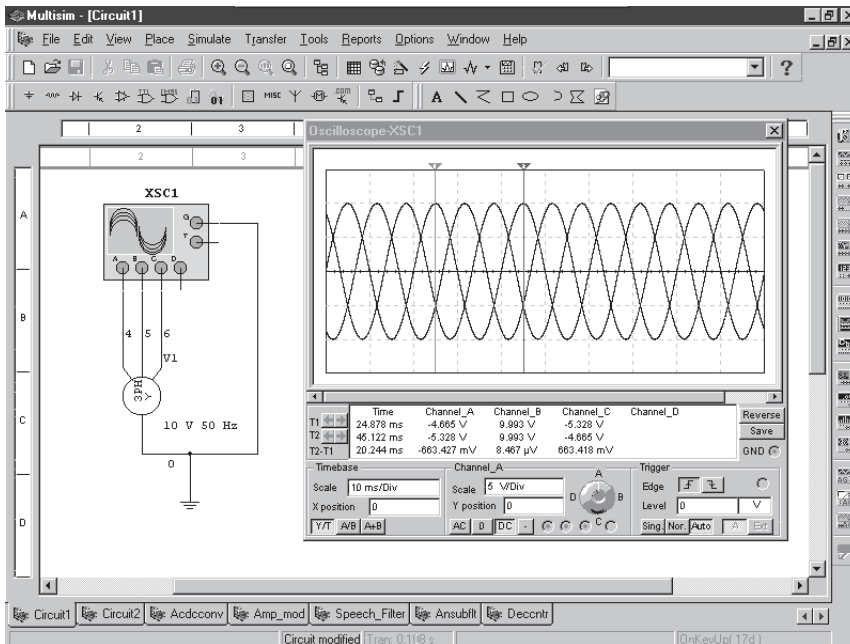


Рис. 1.4. Рабочее окно EWB 7.0 (Multisim 2003)

Дальнейшее изложение материала будем вести параллельно по программам всех версий, причем сначала будет рассматриваться версия 4.1, как более простая и доступная по системным требованиям, а затем в плане отличительных признаков и дополнительных возможностей — версии 5.xx, 6.xx и 7.0. Команды меню EWB 4.1 рассмотрим в порядке их следования на рис. 1.1.

## 1.1. Меню File

Меню File предназначено 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 в версиях 5.xx и старше имеются кнопки (иконки) со стандартным изображением (см. рис. 1.2, 1.3 и 1.4). Схемные файлы программы EWB имеют следующие расширения: .ca3 и .cd3 — аналоговые и цифровые схемы для EWB 3.0, .ca4 — аналого-цифровые схемы для EWB 4.x, .ewb — аналого-цифровые схемы для EWB 5.xx, .msm — для EWB 6.xx и .ms7 — для EWB 7.0.
2. **Revert to Saved** — стирание всех изменений, внесенных в текущем сеансе редактирования, и восстановление схемы в первоначальном виде.
3. **Print** (Ctrl + P) — выбор данных для вывода на принтер:
  - Schematic — схемы (опция включена по умолчанию);
  - Description — описания к схеме;
  - Part list — перечня выводимых на принтер документов;
  - Label list — списка обозначений элементов схемы;
  - Model list — списка имеющихся в схеме компонентов;
  - Subcircuits — подсхем (частей схемы, являющихся законченными функциональными узлами и обозначаемых прямоугольниками с названием внутри — см. ниже);
  - Analysis options — перечня режимов моделирования;
  - Instruments — списка приборов (см. гл. 3).

В этом же подменю можно выбрать опции печати (кнопка **Setup**) и отправить материал на принтер (кнопка **Print**). В EWB 5.xx предусмотрена также возможность изменения масштаба выводимых на принтер данных в пределах от 20 до 500%.

4. **Print Setup** — настройка печати.
5. **Exit** (Alt + F4) — выход из программы.
6. **Install** — установка дополнительных программ с гибких дисков.
7. **Import from SPICE** — импорт текстовых файлов описания схемы и задания на моделирование в формате SPICE (с расширением .cir) и автоматическое построение схемы по ее текстовому описанию (см. разд. 1.7).
8. **Export to SPICE** — составление текстового описания схемы и задания на моделирование в формате SPICE.
9. **Export to PCB** — составление списков соединений схемы в формате OrCAD и других программ разработки печатных плат. Одноименное меню программы EWB 5.12 отличается от рассмотренного тем, что в подменю **Import/Export** предусмотрена возможность обмена данными с программой разработки печатных плат EWB Layout.

В EWB 6.xx и 7.0 меню **File** содержит дополнительные команды, связанные с созданием проектов и возможностью одновременной работы с несколькими проектами и входящими в них схемными файлами (в том числе с длинными именами): пункты Close, Close Project — закрыть текущий схемный файл (с расширением .msm для EWB 6.xx и .ms7 для EWB 7.0) или проект (файлы с расширением .msp и .mp7); Recent Files, Recent Projects — списки открытых файлов и проектов, которые дублируются в меню Window. С помощью рассматриваемого меню можно загрузить схемные файлы из всех предыдущих версий EWB.



## 1.2. Меню Edit

Меню Edit позволяет выполнять команды редактирования схем и копирования 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 (значке) компонента. Для выделения части схемы или нескольких компонентов необходимо поставить курсор мыши в левый угол воображаемого 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, и затем отпустить кнопку. Выделенные компоненты окрашиваются в красный цвет (в EWB 6.xx и 7,0 они обозначаются прямоугольными манипуляторами).
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 ухватившись мышью за один из отмеченных компонентов. Таким же образом перемещаются и предварительно выделенные фрагменты уже имеющейся на рабочем поле схемы.
4. **Delete (Del)** — стирание выделенной части схемы.
5. **Select All (Ctrl + A)** — выделение всей схемы.
6. **Copybits (Ctrl + I)** — команда превращает курсор мыши в крестик, которым по правилу прямоугольника можно выделить нужную часть экрана, после отпущения левой кнопки мыши выделенная часть копируется в буфер обмена, после чего его содержимое может быть импортировано в любое приложение Windows. Копирование всего экрана производится нажатием клавиши Print Screen; копирование активной в данный момент части экрана, например, диалогового окна — комбинацией Alt + Print Screen. Перечисленные команды очень удобны при подготовке отчетов по моделированию, например, при оформлении лабораторных работ. В EWB 5.xx эта команда называется **Copy as Bitmap** и, к сожалению, не имеет клавиатурного дублирования, что в некоторых случаях затрудняет копирование элементов экрана (например, контекстных меню). В EWB 6.xx и 7.0 эта команда вообще отсутствует и для копирования элементов экрана приходится использовать специальные программы.
7. **Show Clipboard** — показать содержимое буфера обмена.

Меню Edit EWB 6.xx от версии к версии менялось и в EWB 6.20, кроме п. 1—5, содержит команды:

**Undo (Ctrl + Z)** — отмена внесенных изменений;

**Flip Horizontal (Alt + X)**, **Flip Vertical (Alt + Y)** — команды изменения положения компонента по горизонтали и вертикали;

**90 Clockwise (Ctrl + R)**, **90 CounterCW (Shift + Ctrl + R)** — вращение по часовой и против часовой стрелки;

**Component Properties (Ctrl + M)** — вызова окна параметров выделенного компонента; выполняется также двойным щелчком по значку компонента.


Кроме перечисленных, меню Edit EWB 7.0 содержит команды:

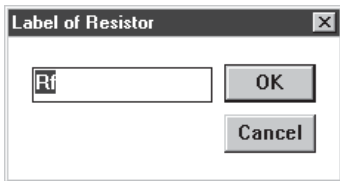
**Delete Multi-Page** — вызов окна для выбора страницы, подлежащей удалению из многостраничного схемного файла;

**Paste Special** — вызов окна для вставки предварительно скопированного только компонента (Components Only), включая и соединительные проводники (Include Connectivity (Nets) — это опция выбрана по умолчанию) или полную копию (с идентификаторами, ссылками и др.) (Exact Copy (Reference IDs and Net names are duplicated)); последнюю опцию выбирать не рекомендуется, поскольку это может привести к ошибкам моделирования из-за путаницы в идентификаторах нод.

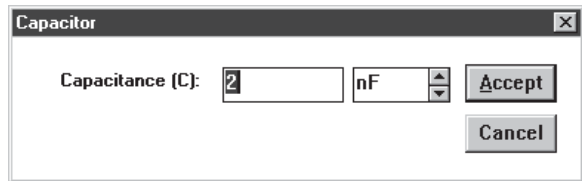
### 1.3. Меню Circuit

Меню Circuit используется при подготовке схем.

1. **Activate** (Ctrl + G) — запуск моделирования.
2. **Stop** (Ctrl + T) — остановка моделирования. Эта и предыдущая команды могут быть выполнены также нажатием кнопки , расположенной в правом верхнем углу экрана.
3. **Pause** (F9) — прерывание моделирования.
4. **Label** (Ctrl + L) — ввод позиционного обозначения выделенного компонента (например, R1 — для резистора, C5 — для конденсатора и т. д.) в диалоговом окне на рис. 1.5, а. При необходимости сдвига обозначения вправо можно слева ввести необходимое число пробелов (но не более 14 символов в строке).



а



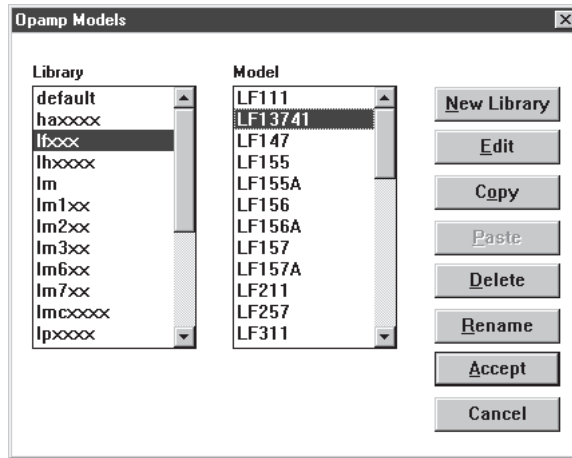
б

Рис. 1.5. Окна ввода позиционного обозначения резистора (а) и выбора номинального значения параметра компонента (б)

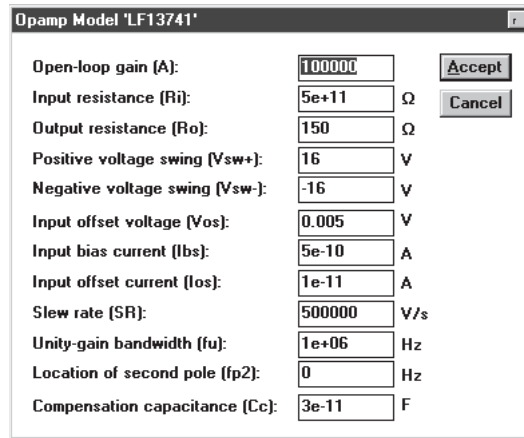
5. **Value** (Ctrl + U) — изменение номинального значения параметра компонента в диалоговом окне (пример на рис. 1.5, б); команда выполняется также двойным щелчком по компоненту. Номинальное значение параметра вводится с клавиатуры, после чего нажатием курсором мыши на кнопки вверх-вниз выбирается множитель, кратный 1000. Например, для конденсатора задается его емкость в пикофарадах (пФ), нанофарадах (нФ), микрофарадах (мкФ) или миллифарадах (мФ).
6. **Model** (Ctrl + M) — выбор модели компонента (полупроводникового прибора, операционного усилителя, трансформатора и др.); команда выполняется также двойным щелчком по компоненту. В меню команды (рис. 1.6, а) выбирается:

Library — перечень библиотек, в которых находятся компоненты выбранного типа;

Model — перечень моделей компонентов выбранной библиотеки;



а



б

Рис. 1.6. Окна выбора модели (а) и редактирования ее параметров (б)

New Library — создание новой библиотеки; после внесения ее имени в вызываемом диалоговом окне и нажатия клавиши **Ассерт** (принять) это имя появится в колонке Library.

Edit — после нажатия этой кнопки вызывается диалоговое окно с параметрами выбранной модели, показанное для операционного усилителя на рис. 1.6, б (параметры его модели подробно рассматриваются в гл. 4). При необходимости редактирования параметров целесообразно по команде New Library создать отдельную библиотеку (чтобы не портить параметры библиотечного компонента), куда переносится редактируемый компонент с помощью команд:

Copy — копирование отмеченного в колонке Model компонента в буфер обмена;

Paste — вставка скопированной в буфер обмена модели компонента в выбранную в колонке Library библиотеку (в том числе и вновь созданную) с последующим редактированием ее параметров без изменения характеристик компонента основной библиотеки;

Rename — переименование отмеченной модели компонента.

Работа с меню, как и во всех других подобных случаях, заканчивается нажатием кнопок **Accept** или **Cancel** — с сохранением или без сохранения введенных изменений.

При создании библиотеки моделей отечественных компонентов целесообразно действовать в следующей последовательности:

- создать библиотеку, например, под именем `rus_lib`;
- скопировать в эту библиотеку модель компонента, наиболее близкого по параметрам к отечественному компоненту;
- переименовать скопированную модель, присвоив ей, например, имя K140UD5 (латинская транскрипция K140УД5);
- при необходимости отредактировать значения параметров переименованной модели, используя данные каталогов отечественных микросхем или литературных источников [4 — 11].

7. **Zoom (Ctrl + Z)** — раскрытие (развертывание) выделенной подсхемы или контрольно-измерительного прибора, команда выполняется также двойным щелчком мыши по иконке компонента или прибора.
8. **Rotate (Ctrl + R)** — вращение выделенного компонента; большинство компонентов поворачиваются по часовой стрелке (в EWB 5.xx — против) на  $90^\circ$  при каждом выполнении команды, для измерительных приборов (амперметр, вольтметр и др.) меняются местами клеммы подключения; команда используется при подготовке схем. В готовой схеме пользоваться командой нецелесообразно, поскольку это чаще всего приводит к путанице — в таких случаях компонент нужно сначала отключить, а затем вращать.
9. **Fault (Ctrl + F)** — имитация неисправности выделенного компонента путем введения: Leakage — сопротивления утечки; Short — короткого замыкания; Open — обрыва; None — неисправность отсутствует (включено по умолчанию).
10. **Subcircuit (Ctrl + B)** — преобразование предварительно выделенной части схемы в подсхему. Выделяемая часть схемы должна быть расположена таким образом, чтобы в выделенную область не попали не относящиеся к ней проводники и компоненты. В результате выполнения команды вызывается диалоговое окно (рис. 1.7, а), в строке Name которого вводится имя подсхемы, после чего возможны следующие варианты:

Copy from Circuit — подсхема копируется с указанным названием в библиотеку Custom без внесения изменений в исходную схему;

Move from Circuit — выделенная часть вырезается из общей схемы и в виде подсхемы с присвоенным ей именем копируется в библиотеку пользователя (Custom);

Replace in Circuit — выделенная часть заменяется в исходной схеме подсхемой с присвоенным ей именем с одновременным копированием в библиотеку Custom.

Для просмотра или редактирования подсхемы нужно дважды щелкнуть мышью по ее значку. Редактирование подсхемы производится по общим правилам редактирования схем. При создании дополнительного вывода необходимо из соответствующей точки подсхемы курсором мыши протянуть проводник к краю ее окна до появления не закрашенной прямоугольной контактной площадки, после чего отпустить левую кнопку мыши. Для удаления вывода необходимо курсором мыши ухватиться за его прямоугольную площадку и вынести ее за пределы окна.

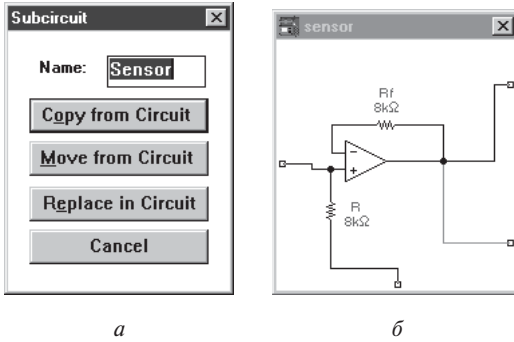


Рис. 1.7. Создание подсхемы

В качестве примера на рис. 1.7, б приведена подсхема sensor неинвертирующего усилителя на ОУ, используемого в фильтре на рис. 1.14. Здесь уместно отметить, что введение в подсхему «земли» нецелесообразно, поскольку при большом количестве таких подсхем замедляется процесс моделирования. Поэтому в схеме на рис. 1.7, б для резистора R предусмотрен отдельный вывод, который в схеме фильтра на рис. 1.14 заземляется.

**11. Wire Color** — изменение цвета предварительно выделенного проводника (выделенный проводник утолщается). Более простой способ выполнения команды — двойной щелчок мышью на проводнике, после чего в меню (рис. 1.8, а) выбирается один из шести предлагаемых цветов. Необходимость расцветки особенно важна для проводников, соединяющих контрольные точки (узлы) схемы с осциллографом или логическим анализатором — в этом случае *цвет проводника определяет цвет осциллограммы*.

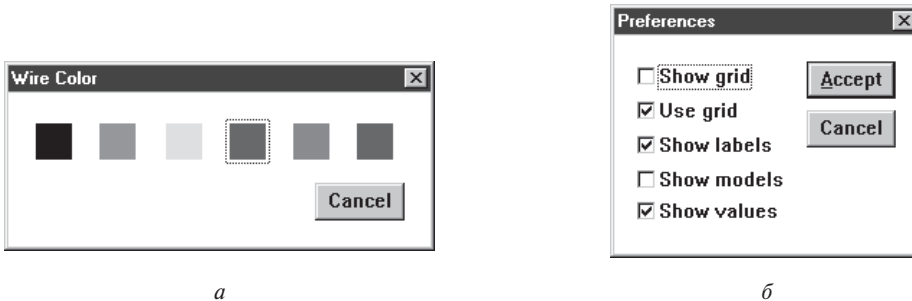


Рис. 1.8. Выбор цвета проводника и элементов оформления схемы

**12. Preferences (Ctrl + E)** — выбор элементов оформления схемы в соответствии с меню на рис. 1.8, б, в котором опции имеют следующее назначение:

Show grid — показывать сетку для удобства рисования схемы (по умолчанию эта опция выключена, остальные включены); опция активна только при включенной опции Use grid — использовать сетку;

Show labels — показывать позиционные обозначения компонентов, например, C1, C2 для конденсаторов;

Show models — показывать наименование моделей компонентов, например, типов транзисторов;

Show values — показывать номиналы компонентов, например, сопротивления резисторов.

Следует отметить, что в программе EWB 3.0 в рассмотренной команде можно было использовать пароль. Например, вывод на экран номинальных значений компонентов или их типов возможен только при знании пароля. А это позволяло, в свою очередь, преднамеренно вводить скрытые таким образом неисправности

компонентов и обрабатывать учащимися навыки их поиска. В EWB 6.20 эта возможность появилась вновь (команда Options/Circuit Restrictions); в EWB 7.0 она отсутствует.

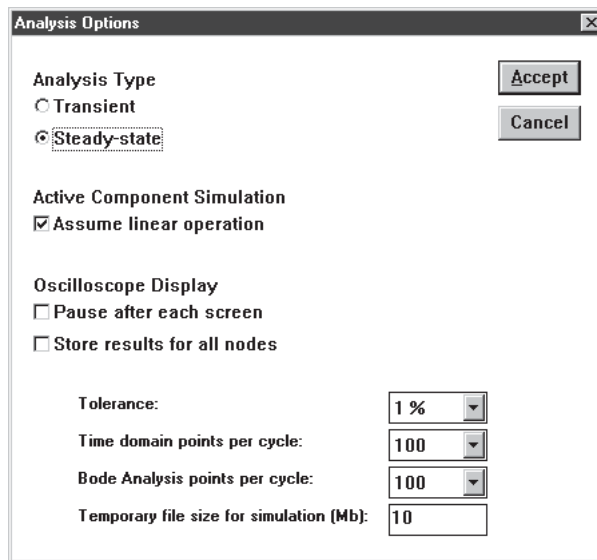


Рис. 1.9. Окно выбора режимов моделирования

**13. Analysis Options (Ctrl + Y)** — выбор режимов моделирования в диалоговом окне на рис. 1.9 с установкой следующих опций:

Transient — расчет переходных процессов;

Steady-state — расчет стационарного режима схемы;

Assume linear operation — при расчете принять линеаризованную модель активных компонентов (Active Component Simulation);

Pause after each screen — пауза (автоматический останов моделирования) после заполнения экрана осциллографа (Oscilloscope Display);

Store results for all nodes — сохранение (запоминание) результатов моделирования для всех контрольных точек (узлов) схемы;



Tolerance — задание допустимой погрешности моделирования (по умолчанию 1%); чем меньше погрешность моделирования, тем больше затраты времени на моделирование;

Time domain points per cycle — выбор количества отсчетов отображаемого на экране осциллографа сигнала (по умолчанию — 100 точек на период, может быть увеличено в 100 раз). С увеличением количества отсчетов форма сигнала рассчитывается более точно при одновременном замедлении процесса моделирования; в некоторых случаях заниженное (установленное по умолчанию) значение параметра может привести к существенным искажениям результатов моделирования;

Bode Analysis points per cycle — выбор количества расчетных точек для отображения результатов моделирования на экране измерителя амплитудно-частотных и фазочастотных характеристик; увеличение количества точек позволяет уменьшить погрешность от дискретности установки визирной линейки по оси X (оси частот);

Temporary file size for simulation [Mb] — размер временного файла для хранения результатов моделирования (по умолчанию 10 Мбайт).

Меню **Circuit** EWB 5.xx заметно отличается от рассмотренного. Отличия заключаются в следующем.

1. Исключены команды по пп. 1, 2 и 3, они перенесены в меню Analysis и могут выполняться также нажатием кнопок , .

2. Введены дополнительные команды управления расположением графического изображения компонентов: Flip Horizontal — зеркальное отображение компонента по горизонтали и Flip Vertical — то же, но по вертикали. Команды Rotate, Flip Horizontal и Flip Vertical могут быть выполнены также нажатием

кнопок , , .

Введенные дополнения очень полезны, поскольку существенно расширяют возможности оформления схем. Например, в версиях 3.0 и 4.1 не удавалось соответствующим образом расположить на

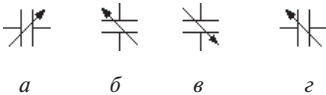



Рис. 1.10. Результаты применения команд Rotate и Flip

схеме транзисторы, конденсаторы переменной емкости и другие компоненты в соответствии со стандартами. В качестве примера на рис. 1.10 приведены результаты применения указанных команд для преобразования графического изображения конденсатора переменной

емкости: на рис. 1.10, *a* — изображение конденсатора в исходном состоянии, на рис. 1.10, *б* — после применения команды Rotate (поворот на 90° против часовой стрелки), на рис. 1.10, *в* — после применения команды Flip Horizontal (зеркальное отображение по горизонтали) и на рис. 1.10, *г* — после применения команды Flip Vertical (зеркальное отображение по вертикали).

3. Команды по пп. 4, 5 и 6 объединены в команду Component Properties (свойства компонента). Команда выполняется также после двойного щелчка по ком-

поненту или нажатия кнопки . При выполнении команды открывается диалоговое окно (рис. 1.11) из нескольких закладок. Содержание закладки Label соответствует команде по п. 4 за исключением строки Reference ID, в ней указывается позиционное обозначение компонента, используемое в дальнейшем при выполнении команд меню Analysis. При выборе закладки Value задаются номинальное сопротивление компонента (резистора), значение линейного (TC1) и квадратичного (TC2) температурных коэффициентов сопротивления. С учетом этих параметров действительное сопротивление резистора  $R_d$  определяется выражением [1]:

$$R_d = R[1 + TC1(T - T_n) + TC2(T - T_n)^2],$$

где  $R$  — номинальное сопротивление резистора;  $T_n = 27^\circ\text{C}$  — номинальное значение температуры;  $T$  — текущее значение температуры резистора.

При выборе закладки Fault (рис. 1.11) приводятся условия моделирования по п. 9 и набор выводов компонента с опцией на каждый вывод, что позволяет выборочно имитировать ту или иную неисправность. Например, если требуется имитировать нарушение контакта вывода 1 резистора, то в этом случае включаются опции 1 и Open (открыто — обрыв). Введение таких дефектов в схему позволяет отрабатывать учащимися навыки поиска и локализации неисправностей.

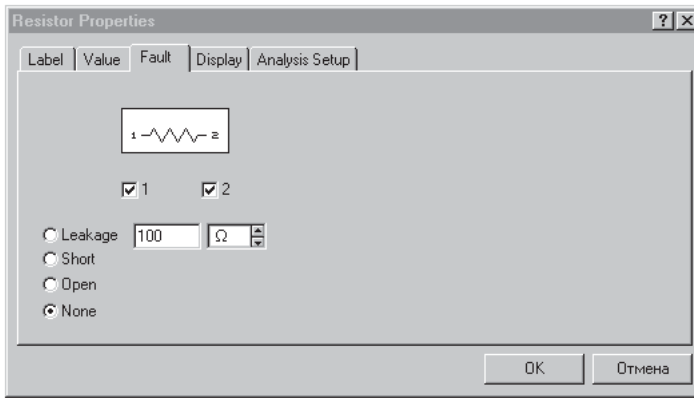


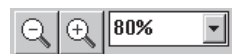
Рис. 1.11. Диалоговое окно команды Component Properties

При выборе закладки Display задается характер вывода на экран обозначений компонента; при выборе опции Use Schematic Options global setting используются установки, принятые для всей схемы, в противном случае используется индивидуальная настройка вывода на экран позиционного обозначения и номинального значения для каждого компонента.

Диалоговое окно при выборе закладки Analysis Setup позволяет установить температуру для каждого компонента индивидуально или использовать ее номинальное значение, принятое для всей схемы (Use global temperature).

Для активных компонентов меню команды Component Properties содержит подменю Models для выбора типа библиотечного компонента, редактирования его параметров, создания новой библиотеки и выполнения других команд по п. 6 (см. рис. 1.5).

4. Введены дополнительные команды масштабирования схемы: увеличения Zoom In и уменьшения Zoom Out с указанием масштаба в диапазоне 50—200%. Эти команды могут быть выполнены также с помощью мнемониче-



ских средств со стандартным обозначением

5. Вместо команды Preferences (п. 12) введена команда Schematic Options, диалоговое окно которой (рис. 1.12) состоит из ряда закладок. Закладки Grid и Show/Hide, по сравнению с EWB 4.1, содержат следующие дополнительные опции:

Show Nodes — показывать нумерацию нод — всех точек соединения компонентов;

Autohide part bins — по умолчанию не показывать состав библиотеки компонентов, используемой в данной схеме;

Keep parts bin positions — сохранять положение используемой библиотеки компонентов на экране при оформлении схемы; обычно выбор новой библиотеки

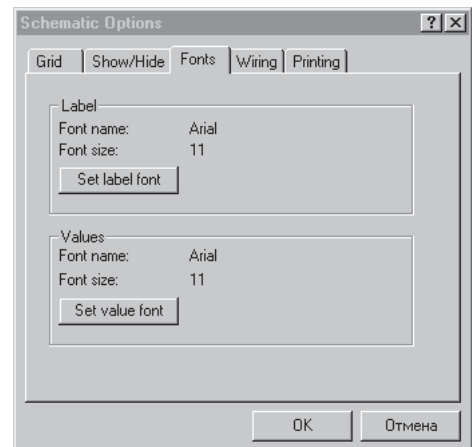


Рис. 1.12. Окно команды Schematic Options



# Оглавление

Введение .....	3
<b>Часть I</b>	
<b>Система моделирования Electronics Workbench .....</b>	<b>8</b>
<b>Глава 1. Структура окон и система меню .....</b>	<b>10</b>
1.1. Меню File .....	13
1.2. Меню Edit .....	14
1.3. Меню Circuit .....	15
1.4. Меню Window .....	22
1.5. Меню Help .....	22
1.6. Меню Analysis программы EWB 5.xx .....	23
1.7. Обмен данными с программой PSpice .....	46
1.8. Меню программ EWB 6.xx и 7.0 .....	49
Контрольные вопросы и задания .....	56
<b>Глава 2. Создание схем и библиотеки компонентов .....</b>	<b>58</b>
2.1. Технология подготовки схем .....	58
2.2. Группа Custom — вспомогательные компоненты .....	61
2.3. Группа Passive — пассивные компоненты .....	62
2.4. Группа Active — активные компоненты .....	63
2.5. Группа FET — полевые транзисторы .....	64
2.6. Группа Control — коммутационные устройства и управляемые источники .....	64
2.7. Группа Hybrid — гибридные компоненты .....	65
2.8. Группа Indic — индикаторные приборы .....	66
2.9. Группа Gates — логические элементы .....	66
2.10. Группа Comb'I — комбинированные цифровые компоненты .....	67
2.11. Группа Seg'I — триггеры .....	67
2.12. Группа IC — цифровые микросхемы .....	67
2.13. Библиотека компонентов EWB 5.xx .....	67
2.14. Библиотека компонентов EWB 6.xx и 7.0 .....	73
2.15. Создание моделей компонентов в среде EWB 6.xx и 7.0 .....	77
Контрольные вопросы и задания .....	83
<b>Глава 3. Контрольно-измерительные приборы .....</b>	<b>85</b>
3.1. Мультиметр (Multimeter) .....	85
3.2. Функциональный генератор (Function Generator) .....	86
3.3. Осциллограф (Oscilloscope) .....	87
3.4. Измеритель АЧХ и ФЧХ (Bode Plotter) .....	89
3.5. Генератор слова (Word Generator) .....	89

---

3.6. Логический анализатор (Logic Analyzer) .....	90
3.7. Логический преобразователь (Logic Converter).....	91
3.8. Приборы программы EWB 5.xx.....	92
3.9. Приборы и новые средства анализа в программах EWB 6.xx и 7.0 .....	94
Контрольные вопросы и задания .....	104
<b>Глава 4. Элементная база.....</b>	<b>106</b>
4.1. Источники тока .....	106
Контрольные вопросы и задания .....	109
4.2. Индикаторные приборы.....	109
Контрольные вопросы и задания .....	112
4.3. Коммутационные устройства.....	112
Контрольные вопросы и задания .....	116
4.4. Конденсаторы .....	116
Контрольные вопросы и задания .....	124
4.5. Резисторы .....	125
Контрольные вопросы и задания .....	129
4.6. Индуктивные элементы .....	130
Контрольные вопросы и задания .....	132
4.7. Полупроводниковые диоды .....	133
Контрольные вопросы и задания .....	143
4.8. Биполярные транзисторы .....	144
Контрольные вопросы и задания .....	152
4.9. Полевые транзисторы.....	153
Контрольные вопросы и задания .....	158
4.10. Операционные усилители .....	159
Контрольные вопросы и задания .....	166
4.11. Цифровые микросхемы .....	166
Контрольные вопросы и задания .....	176
4.12. Оптоэлектронные приборы.....	176
Контрольные вопросы и задания .....	179
<b>Часть II</b>	
<b>Моделирование аналоговых устройств .....</b>	<b>180</b>
<b>Глава 5. Цепи постоянного тока .....</b>	<b>180</b>
5.1. Закон Ома.....	184
Контрольные вопросы и задания .....	186
5.2. Законы Кирхгофа .....	186
Контрольные вопросы и задания .....	188
5.3. Методы контурных токов и узловых потенциалов .....	189
Контрольные вопросы и задания .....	191

5.4. Принцип наложения .....	191
Контрольные вопросы и задания .....	193
5.5. Метод эквивалентного генератора .....	193
Контрольные вопросы и задания .....	195
5.6. Моделирование механических сил и моментов .....	195
5.7. Законы Ома и Кирхгофа для магнитных цепей .....	196
Контрольные вопросы и задания .....	202
5.8. Моделирование траектории движения электрона .....	203
Контрольные вопросы и задания .....	205
5.9. Энергетические соотношения в цепи постоянного тока .....	205
Контрольные вопросы и задания .....	206
5.10. Моделирование цепей постоянного тока в среде MATLAB .....	207
Контрольные задания .....	209
<b>Глава 6. Цепи переменного тока .....</b>	<b>210</b>
Контрольные вопросы и задания к введению .....	216
6.1. Операции с гармоническими колебаниями .....	216
Контрольные вопросы и задания .....	221
6.2. Законы Ома и Кирхгофа .....	222
Контрольные вопросы и задания .....	224
6.3. Индуктивность и емкость в цепи переменного тока .....	224
Контрольные вопросы и задания .....	226
6.4. Резонансные цепи .....	226
Контрольные вопросы и задания .....	230
6.5. Измерение частоты, фазы и мощности .....	230
Контрольные вопросы и задания .....	234
6.6. Многофазные цепи .....	235
Контрольные вопросы и задания .....	245
6.7. Цепи с несинусоидальными токами .....	246
Контрольные вопросы и задания .....	249
6.8. Цепи с распределенными параметрами .....	249
Контрольные вопросы и задания .....	256
6.9. Переходные процессы .....	256
Контрольные вопросы и задания .....	262
6.10. Цепи с взаимной индуктивностью .....	263
Контрольные вопросы и задания .....	268
6.11. Моделирование цепей переменного тока в среде MATLAB .....	269
6.11.1. Источники сигналов .....	269
6.11.2. Регистрирующие приборы .....	273
6.11.3. Исследование RLC-цепей .....	274
Контрольные задания .....	277

---

6.11.4. Измерение мощности и фазы .....	277
6.11.5. Трехфазные цепи .....	278
Контрольные вопросы и задания .....	280
6.11.6. Анализ несинусоидальных сигналов .....	280
Контрольные задания.....	281
6.11.7. Цепи с распределенными параметрами .....	282
Контрольные задания.....	283
6.11.8. Переходные процессы	
Контрольные задания .....	285
<b>Глава 7. Транзисторные усилительные схемы .....</b>	<b>286</b>
7.1. Базовые усилительные каскады.....	286
Контрольные вопросы и задания .....	293
7.2. Дифференциальный усилитель и его элементы.....	294
Контрольные вопросы и задания .....	301
7.3. Каскодная схема .....	301
Контрольные вопросы и задания .....	302
7.4. Выходные каскады.....	303
Контрольные вопросы и задания .....	306
7.5. Многокаскадные усилители.....	306
Контрольные вопросы и задания .....	309
7.6. Усилители со следящей связью .....	309
Контрольные вопросы и задания .....	310
<b>Глава 8. Устройства на транзисторах и диодах.....</b>	<b>311</b>
8.1. Генераторы гармонических колебаний.....	311
Контрольные вопросы и задания .....	316
8.2. Транзисторные ключи .....	317
Контрольные вопросы и задания .....	324
8.3. Ограничители и фиксаторы уровня .....	325
Контрольные вопросы и задания .....	330
8.4. Преобразователи формы сигналов .....	330
Контрольные вопросы и задания .....	335
8.5. Генераторы пилообразного напряжения .....	335
Контрольные вопросы и задания .....	338
8.6. Селекторы импульсов.....	338
Контрольные вопросы и задания .....	340
8.7. Генератор с кварцевым резонатором .....	340
Контрольные вопросы и задания .....	343
8.8. Мультивибратор .....	343
Контрольные вопросы и задания .....	344
8.9. Триггер Шмитта.....	345
Контрольные вопросы и задания .....	346

8.10. Функциональные преобразователи .....	347
Контрольные вопросы и задания .....	350
8.11. Токковый ключ на дифференциальном усилителе .....	351
Контрольные вопросы и задания .....	352
<b>Глава 9. Электромеханические устройства .....</b>	<b>353</b>
9.1. Методы моделирования .....	353
9.1.1. Моделирование по дифференциальному уравнению .....	354
Контрольные вопросы и задания .....	356
9.1.2. Метод электромеханических аналогий .....	356
Контрольные вопросы и задания .....	358
9.2. Электрические машины постоянного тока .....	358
9.2.1. Статические характеристики .....	358
Контрольные вопросы и задания .....	361
9.2.2. Динамические характеристики .....	362
Контрольные вопросы и задания .....	367
9.2.3. Схемы включения двигателей постоянного тока .....	367
Контрольные вопросы и задания .....	373
9.2.4. Управление двигателями постоянного тока .....	373
Контрольные вопросы и задания .....	376
9.3. Электрические машины переменного тока .....	377
Контрольные вопросы и задания .....	389
9.4. Модели двигателей переменного тока в программе MATLAB .....	390
9.4.1. Модель синхронного двигателя .....	390
Контрольные вопросы и задания .....	394
9.4.2. Модель асинхронной машины .....	394
Контрольные вопросы и задания .....	397
9.5. Электромагнитный привод .....	398
9.5.1. Электромагниты .....	398
Контрольные вопросы и задания .....	406
9.5.2. Электромагнитные реле .....	406
Контрольные вопросы и задания .....	412
9.6. Электромеханические измерительные преобразователи .....	412
Контрольные вопросы и задания .....	420
<b>Глава 10. Устройства на операционных усилителях .....</b>	<b>421</b>
10.1. Масштабирующие преобразователи .....	421
Контрольные вопросы и задания .....	424
10.2. Корректоры нелинейности и функциональные преобразователи .....	425
Контрольные вопросы и задания .....	429
10.3. Дифференциальные и мостовые усилители .....	429
Контрольные вопросы и задания .....	433

---

10.4. Аналоговые вычислительные устройства.....	433
Контрольные вопросы и задания.....	438
10.5. Активные фильтры.....	439
Контрольные вопросы и задания.....	447
10.6. Логарифмические усилители.....	447
Контрольные вопросы и задания.....	450
10.7. Компараторы и триггеры Шмитта.....	450
Контрольные вопросы и задания.....	454
10.8. Прецизионные выпрямители.....	454
Контрольные вопросы и задания.....	455
10.9. Фазочувствительные выпрямители.....	456
Контрольные вопросы и задания.....	457
10.10. Устройства выборки и хранения.....	457
Контрольные вопросы и задания.....	459
10.11. Усилители мощности.....	459
Контрольные вопросы и задания.....	460
10.12. Преобразователи напряжение-ток.....	460
Контрольные вопросы и задания.....	463
10.13. Амплитудные ограничители.....	463
Контрольные вопросы и задания.....	464
10.14. RC-генераторы.....	464
Контрольные задания.....	466
10.15. Усилители на ОУ с однополярным питанием.....	467
Контрольные вопросы и задания.....	469
10.16. Усилители типа МДМ.....	469
Контрольные вопросы и задания.....	472
10.17. Аналоговые ключи.....	472
Контрольные вопросы и задания.....	473
10.18. Релаксационные генераторы.....	473
Контрольные вопросы и задания.....	477
10.19. Преобразователи электрических величин.....	478
Контрольные вопросы и задания.....	481
10.20. Селекторы импульсов по длительности.....	481
Контрольные вопросы и задания.....	482
10.21. Усилитель с автоматической коррекцией нуля.....	482
Контрольные вопросы и задания.....	483
10.22. Усилители с управляемым коэффициентом передачи.....	484
Контрольные вопросы и задания.....	486
<b>Глава 11. Устройства автоматики.....</b>	<b>487</b>
11.1. Универсальные функциональные преобразователи.....	487

Контрольные вопросы и задания .....	491
11.2. Специализированные функциональные преобразователи .....	491
Контрольные вопросы и задания .....	497
11.3. Примеры использования моделей с нелинейными характеристиками .....	497
Контрольные вопросы и задания .....	503
11.4. Элементы автоматики в программе EWB 5.xx .....	504
Контрольные вопросы и задания .....	511
11.5. Структурное моделирование .....	513
Контрольные вопросы и задания .....	517
11.6. Элементы моделей цифровых САУ .....	518
Контрольные вопросы и задания .....	523
11.7. Моделирование управляющих и возмущающих воздействий .....	523
Контрольные вопросы и задания .....	525
11.8. П-, ПИ- и ПИД-регуляторы .....	528
Контрольные вопросы и задания .....	532
11.9. Оптимизация параметров ПИ- и ПИД-регуляторов в среде MATLAB+Simulink .....	533
Контрольные вопросы и задания .....	540
11.10. Синтез корректирующих устройств в среде MATLAB .....	541
Контрольные вопросы и задания .....	547
<b>Глава 12. Источники электропитания .....</b>	<b>548</b>
12.1. Выпрямители и сглаживающие фильтры .....	550
Контрольные вопросы и задания .....	556
12.2. Параметрические стабилизаторы .....	556
Контрольные вопросы и задания .....	561
12.3. Компенсационные стабилизаторы .....	562
Контрольные вопросы и задания .....	565
12.4. Импульсные стабилизаторы .....	565
Контрольные вопросы и задания .....	570
12.5. Транзисторные преобразователи .....	571
12.6. Элементы импульсных стабилизаторов в программе EWB 5.xx .....	573
Контрольные вопросы и задания .....	575
12.7. Тиристорные источники питания с фазовым управлением .....	576
Контрольные вопросы и задания .....	578
12.8. Специальные схемы стабилизации напряжения .....	578
Контрольные вопросы и задания .....	582
<b>Глава 13. Измерительные преобразователи .....</b>	<b>583</b>
13.1. Типы и характеристики преобразователей .....	585
Контрольные вопросы и задания .....	588
13.2. Резистивные преобразователи .....	588

---

Контрольные вопросы и задания .....	592
13.3. Емкостные преобразователи .....	593
Контрольные вопросы и задания .....	596
13.4. Электромагнитные преобразователи .....	596
Контрольные вопросы и задания .....	599
13.5. Пьезоэлектрические преобразователи.....	600
Контрольные вопросы и задания .....	603
13.6. Термометрические преобразователи .....	603
Контрольные вопросы и задания .....	606
13.7. О некоторых источниках погрешностей преобразователей .....	607
Контрольные вопросы и задания .....	610
13.8. Электрометрические преобразователи .....	611
Контрольные вопросы и задания .....	613
<b>Приложения</b>	
<b>Приложение 1. Каталог схемных файлов .....</b>	<b>614</b>
П1.1. EWB 3.0 .....	614
П1.2. EWB 4.x.....	615
П1.3. EWB 5.xx.....	618
П1.4. EWB 6.xx.....	621
П1.5. Схемы, используемые в книге.....	622
<b>Приложение 2. Краткие сведения по комплексу MATLAB+Simulink.....</b>	<b>630</b>
П2.1. Рабочее окно MATLAB .....	630
П2.2. Рабочее окно Simulink.....	631
П2.3. Окно модели .....	634
П2.4. Создание модели из библиотечных компонентов .....	641
П2.5. Программа Nonlinear Control Design .....	643
П2.6. Программа Control System .....	644
П2.7. Программа Power System.....	645
П2.8. Программа Digital Signal Processing.....	646
П2.9. Программа Fixed-Point .....	647
<b>Приложение 3. Программа Multisim 9 .....</b>	<b>648</b>
<b>Список литературы .....</b>	<b>655</b>



## Оглавление

### Том. 2. Моделирование элементов телекоммуникационных и цифровых систем

Предисловие .....	3
<b>Часть III</b>	
<b>СИСТЕМА МОДЕЛИРОВАНИЯ VISSIM</b>	
<b>Глава 14. Структура окна и система меню .....</b>	<b>5</b>
14.1. Меню File .....	5
14.2. Меню Edit .....	7
14.3. Меню Simulate .....	13
14.4. Меню Blocks, Comm и Wireless .....	17
14.5. Меню Tools .....	17
14.6. Меню View .....	18
14.7. Меню Analyze .....	19
14.8. Меню Window и Help .....	20
14.9. Технология подготовки схем моделей .....	20
<b>Глава 15. Блоки контроля и управления .....</b>	<b>24</b>
15.1. Многофункциональный графопостроитель (Plot) .....	24
15.1.1. Настройки графопостроителя .....	24
15.1.2. Двухканальный осциллограф .....	29
15.1.3. Коррелогограф .....	29
15.1.4. Анализатор ошибочных битов .....	31
15.1.5. Анализатор ошибочных символов .....	33
15.2. Построитель гистограмм (Histogram) .....	34
15.3. Стрелочно-шкальный прибор (Meter) .....	35
15.4. Графопостроитель-самописец (StripChart) .....	36
15.5. Алфавитно-цифровой регистратор (Display) .....	36
15.6. Кнопка управления (Button) и останов моделирования (Stop) .....	37
15.7. Регулятор (Slider) и индикатор ошибки (Error) .....	39
15.8. Световой индикатор (Light) .....	39
15.9. Средства анимации .....	40
15.9.1. Анимация линии (LineDraw) .....	40
15.9.2. Блок анимации Animation .....	42
<b>Глава 16. Библиотека компонентов .....</b>	<b>43</b>
16.1. Источники измерительных сигналов .....	43
16.2. Группа оформления и преобразования величин .....	46
16.3. Арифметические функции и операции .....	48
16.4. Математические и логические операции .....	51

16.5. Каналы связи (Comm/Channels) .....	52
16.6. Операции с комплексными числами (Comm/Complex Math).....	54
16.7. Демодуляторы (Comm/Demodulators).....	56
16.8. Цифровые устройства (Comm/Digital) .....	58
16.9. Кодеры/Декодеры (Comm/(Encode/Decode)) .....	66
16.10. Измерительные преобразователи (Comm/Estimators) .....	72
16.11. Фильтры (Comm/Filters) .....	80
16.12. Модуляторы типа Complex (Comm/Modulator-Complex).....	83
16.13. Модуляторы типа Real (Comm/Modulator-Real).....	87
16.14. Преобразователи сигналов (Comm/Operators).....	88
16.15. Элементы систем фазовой автоподстройки частоты (Comm/PLL).....	103
16.16. Высокочастотные элементы (Comm/RF) .....	105
16.17. Источники сигналов (Comm/Signal Sources).....	111
16.18. Блоки анимации (Blocks/Animation) .....	118
16.19. Блоки импортирования данных (Blocks/DDE) .....	118
16.20. Интеграторы (Blocks/Integration).....	118
16.21. Линейные блоки (Blocks/Linear system) .....	119
16.22. Интерфейс связи с MATLAB (Blocks/MatLab Interface) .....	120
16.23. Матричные операции (Blocks/Matrix Operations).....	121
16.24. Нелинейные блоки (Blocks/Nonlinear).....	122
16.25. Блоки оптимизации (Blocks/Optimization) .....	124
16.26. Генераторы шума (Blocks/Random Generator).....	125
16.27. Блоки синхронизации (Blocks/Real Time).....	125
16.28. Блоки задержки (Blocks/TimeDelay) .....	126
16.29. Трансцендентные функции (Blocks/Transcendental).....	126
16.30. Интерфейс связи с Mathcad (Blocks/embed) .....	127
16.31. Другие компоненты меню Blocks .....	127
16.32. Блоки согласования (Comm/Multirate Support) .....	127
16.33. Турбокодеры (Comm/Turbo Codes) .....	128
16.34. Векторные операторы (Comm/Vector Ops).....	130
16.35. Беспроводные компоненты спецификации 802.11 (802.11/Wireless) .....	133
16.36. Беспроводные компоненты спецификации 802.11a (802.11a/Wireless) ...	136
16.37. Беспроводные компоненты спецификации 802.11b (802.11b/Wireless)...	139
16.38. Беспроводные компоненты ближней связи (Bluetooth/Wireless).....	140
16.39. Универсальные беспроводные компоненты (Generic/Wireless).....	142

## Часть IV

### ЭЛЕМЕНТЫ ТЕОРИИ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Глава 17. Краткие сведения из теории передачи информации .....	143
17.1. Организация телекоммуникационных систем .....	143
17.2. Структурные схемы каналов связи .....	148

17.3. Сигналы и помехи .....	150
17.3.1. Характеристики случайных сигналов .....	151
17.3.2. Характеристики флуктуационной помехи .....	154
17.3.3. Разложение сигналов .....	156
17.3.4. Спектральное представление сигналов .....	158
17.3.5. Геометрическое представление сигналов .....	160
17.3.6. Условия обнаружения сигналов .....	162
17.3.7. Шумоподобные сигналы .....	163
17.4. Элементы теории информации .....	171
17.4.1. Мера количества информации .....	172
17.4.2. Мера неопределенности информации .....	173
17.4.3. Скорость передачи и пропускная способность канала .....	176
17.4.4. Теоремы Шеннона .....	177
17.4.5. Пропускная способность каналов с переменными параметрами .....	180
17.4.6. Эффективность систем передачи информации .....	180
17.5. Кодирование информации .....	184
17.5.1. Дискретизация непрерывных сообщений по времени и уровню .....	184
17.5.2. Кодирование источника информации .....	186
17.5.3. Помехоустойчивое кодирование .....	190
17.5.3.1. Общие принципы помехоустойчивого кодирования .....	190
17.5.3.2. Принципы создания систематических кодов .....	197
17.5.3.3. Простейшие систематические коды .....	198
17.5.3.4. Коды Хэмминга .....	199
17.5.3.5. Циклические коды .....	201
17.5.3.6. Коды с постоянным весом .....	205
17.5.3.7. Непрерывные коды .....	205
17.6. Кодирование в линиях связи .....	208
17.6.1. Униполярные коды .....	209
17.6.2. Простейший биполярный код .....	209
17.6.3. Манчестерский код .....	211
17.6.4. NRZI и другие коды .....	214
17.6.5. Многоуровневые коды .....	216
17.6.6. Кодирование скремблированием .....	217
17.6.7. Кодирование перемежением .....	221

## Часть V

### Моделирование элементов и функциональных узлов

Глава 18. Модуляторы и демодуляторы .....	224
18.1. Амплитудные модуляторы (AM) .....	226
18.2. Частотные модуляторы (FM) .....	229
18.3. Фазовые модуляторы (PM) .....	232
18.4. Тональные модуляторы .....	233
18.5. Многопозиционные модуляторы (QAM/PAM) .....	236

18.6. Модуляторы фазоманипулированных сигналов (BPSK, DQPSK, SQPSK) ...	242
18.7. Широтно-импульсные модуляторы (PPM) .....	247
18.8. I/Q модулятор .....	251
18.9. MSK модулятор .....	252
<b>Глава 19. Каналы передачи информации .....</b>	<b>254</b>
19.1. Типы каналов и линий связи .....	254
19.1.1. Электрические каналы .....	255
19.1.2. Радиоканалы .....	256
19.1.3. Оптические каналы .....	259
19.2. Каналы со случайными параметрами .....	262
19.2.1. Гауссов канал (AWGN) .....	264
19.2.2. Бинарный симметричный канал (BSC) .....	270
19.2.3. Многолучевые каналы (Multipath) .....	272
19.2.4. Райсовский и релейевский каналы (Rice/Rayleigh) .....	278
19.2.5. Каналы мобильной связи (Jaces, Fading) .....	282
19.3. Уплотнение и разделение каналов .....	284
19.3.1. Пространственное и дифференциальное разделение .....	286
19.3.2. Частотное разделение .....	287
19.3.3. Временное разделение .....	288
19.3.4. Фазовое разделение .....	289
19.3.5. Кодовое разделение .....	291
19.3.6. Разделение по уровню. Дифференциальное кодирование .....	297
<b>Глава 20. Устройства фильтрации и синхронизации .....</b>	<b>302</b>
20.1. Фильтры .....	302
20.1.1. Конструирование IIR-фильтров .....	303
20.1.2. Конструирование FIR-фильтров .....	307
20.1.3. Создание IIR-фильтров в VisSim/Comm .....	309
20.1.4. Создание FIR-фильтров в VisSim/Comm .....	311
20.1.5. Адаптивные фильтры (эквалайзеры) .....	313
20.2. Устройства синхронизации .....	317
<b>Глава 21. Кодирование и декодирующие устройства .....</b>	<b>322</b>
21.1. Сверточный кодер .....	322
21.2. Решетчатый (треллис) кодек .....	324
21.3. Кодеки Рида—Соломона .....	327
21.4. Турбокодеки .....	330
<b>Глава 22. Функциональные узлы телекоммуникационных систем .....</b>	<b>334</b>
22.1. Тракт BPSK-AWGN с автоматической подстройкой фазы .....	334
22.2. Тракт QPSK-AWGN .....	338
22.3. Тракт FSK-AWGN .....	340
22.4. Тракт QPSK—Rayleigh—AWGN .....	342
22.5. Тракт AWGN-турбокодек TC_UMTS .....	344

---

22.6. Тракт AWGN-кодек RS(204-186) .....	345
22.7. Тракт BSC-кодек Хемминга .....	347
<b>Глава 23. Устройства беспроводной связи стандарта IEEE 802.11</b> .....	<b>349</b>
23.1. Основные положения стандарта IEEE 802.11 .....	349
23.2. Перемежитель/деперемежитель 802.11a .....	358
23.3. Тракт передачи данных спецификации 802.11a .....	359
23.4. Тракт передачи данных 802.11a с защитным интервалом .....	364
23.5. Тракт передачи данных 802.11b CCK .....	365
23.6. Тракт передачи данных 802.11b DBPSK .....	367
23.7. Измеритель ошибок скремблирования .....	369
23.8. Формирователь CRC-16 .....	370
<b>Глава 24. Устройства беспроводной связи стандарта Bluetooth</b> .....	<b>371</b>
24.1. Основные положения стандарта Bluetooth .....	371
24.2. Тракт передачи данных Bluetooth с модулятором GFSK .....	375
24.3. Блок управления частотой Bluetooth Hop Generator .....	376
24.4. Измеритель спектра Bluetooth сигналов .....	376
<b>Глава 25. Элементы приемопередающих радиоустройств</b> .....	<b>379</b>
25.1. Принципы построения приемопередающих радиоустройств .....	384
25.2. Входные устройства радиоприемных устройств.....	386
25.3. Связанные контуры .....	390
25.4. Преобразователи частоты.....	395
25.5. Модуляторы.....	396
25.6. Детекторы частотно-модулированных сигналов .....	403
25.7. Элементы цифровых радиоприемников .....	406
<b>Глава 26. Цифровые устройства</b> .....	<b>411</b>
26.1. Логические элементы .....	411
26.2. Арифметические сумматоры.....	419
26.3. Логический элемент с тремя состояниями.....	420
26.4. Мультиплексоры и демультимплексоры .....	424
26.5. Шифраторы и дешифраторы .....	426
26.6. Цифровые компараторы.....	429
26.7. Устройство контроля четности.....	430
26.8. Устройство ввода-вывода для IBM PC .....	432
26.9. Триггеры .....	436
26.10. Счетчики .....	440
26.11. Регистры .....	446
26.12. Оперативные запоминающие устройства .....	451
26.13. Постоянные запоминающие устройства.....	458
26.14. Арифметико-логическое устройство .....	461

---

<b>Глава 27. Аналого-цифровые и цифроаналоговые преобразователи</b> .....	464
27.1. ЦАП с весовыми резисторами и токами .....	469
27.2. ЦАП лестничного типа .....	472
27.3. АЦП прямого преобразования .....	473
27.4. Преобразователь на интегральном таймере.....	475
27.5. Библиотечные ЦАП и АЦП.....	478
27.6. Преобразователь на управляемых источниках .....	480
27.7. АЦП уравнивающего типа.....	482
27.8. АЦП параллельного типа .....	484
27.9. АЦП с двойным интегрированием.....	485
27.10. Дельта-кодеки.....	487
27.11. Дельта-кодеки в программе MATLAB .....	491
<b>Приложения</b>	
<b>Приложение 1. Список схемных файлов</b> .....	495
<b>Приложение 2. Список терминов и сокращений</b> .....	499
<b>Приложение 3. Цифровые системы связи</b> .....	561
<b>Приложение 4. Организация ввода/вывода и элементы интерфейса ЭВМ</b> .....	595
<b>Приложение 5. Программа VisSim/Comm 6.0</b> .....	603
<b>Приложение 6. Зарядное устройство для малогабаритных аккумуляторов</b> .....	614
<b>Список литературы</b> .....	621