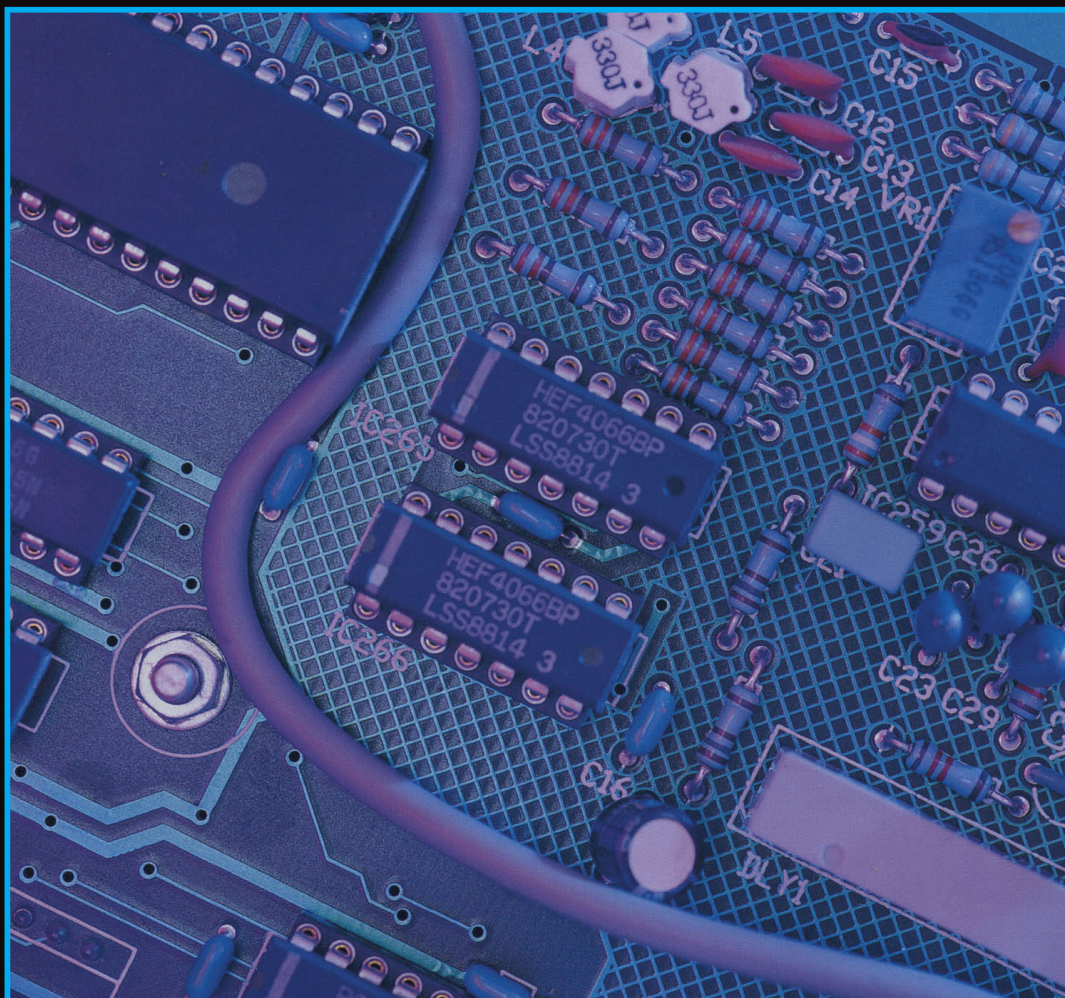


Multisim®

**СОВРЕМЕННАЯ СИСТЕМА КОМПЬЮТЕРНОГО
МОДЕЛИРОВАНИЯ И АНАЛИЗА СХЕМ
ЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ**



Марк Е. Хернитер

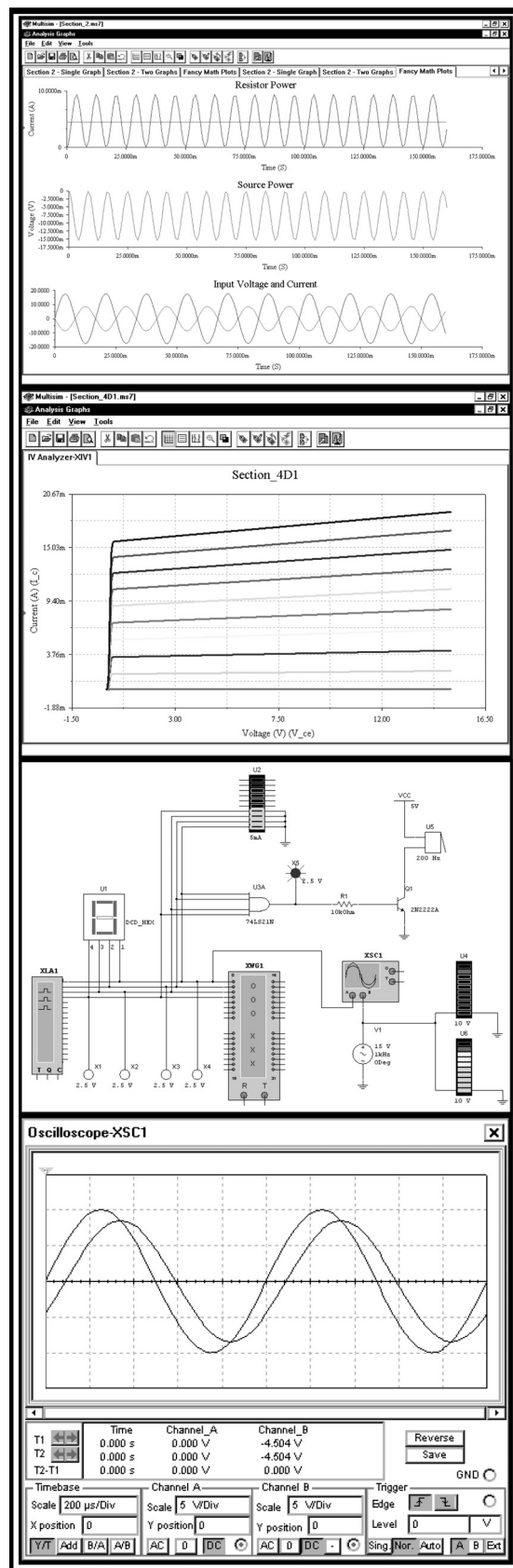
Multisim[®] 7

СОВРЕМЕННАЯ СИСТЕМА КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ И АНАЛИЗА СХЕМ ЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ

Марк Е. Хернитер
(Marc E. Herniter)



Издательский дом «ДМК-пресс»
Москва



УДК 621.396.6
ББК 32.872
X39

Хернитер Марк Е.

X39 Multisim® 7: Современная система компьютерного моделирования и анализа схем электронных устройств. (Пер. с англ.) / Пер. с англ. Осипов А.И. – М.: Издательский дом ДМК-пресс – 488 с.: ил.

ISBN 5-9706-0026-1

Книга представляет собой подробное руководство по моделированию электрических и электронных схем в программе Multisim 7 компании Electronics Workbench. В ней на примерах из области электротехники и электроники демонстрируется методика построения схем и проведения различных типов анализа в программе. При описании методик приводится вид экрана компьютера после проведения каждой элементарной операции, что делает изложение весьма наглядным. Руководство рассчитано на широкий круг читателей — от студентов средних и высших учебных заведений до специалистов, работающих в области электротехники и электроники.

ББК 32.872
УДК 621.396.6

Authorized translation from the English language edition, entitled Schematic Capture with Multisim 7 by Mark E. Herniter, published by Person Prentice Hall. Copyright © by Person Education.

All rights reserved. Printed in the United States of America. This publication is protected by Copyright and permission should be obtained from the publisher prior to any prohibited reproduction, storage in a retrieval system, or transmission in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording, or likewise. For information regarding permission(s), write to: Rights and Permissions Department.

Все права защищены. Никакая часть этой книги не может быть воспроизведена в какой бы то ни было форме и какими бы то ни было средствами без письменного разрешения владельца авторских прав.

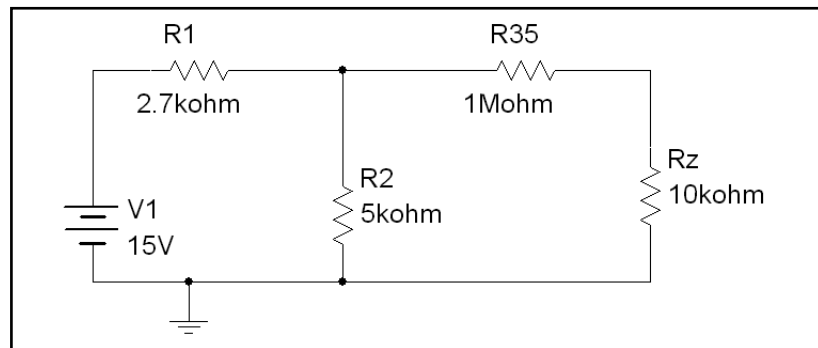
Материал, изложенный в данной книге, многократно проверен. Но, поскольку вероятность наличия технических ошибок все равно существует, издательство не может гарантировать абсолютную точность и правильность приводимых сведений. В связи с этим издательство не несет ответственности за возможный ущерб любого вида, связанный с применением или неприменностью любых материалов данной книги.

ISBN 0-13-118755-4 (анг.)
ISBN 5-9706-0026-1(рус.)

Copyright © by Pearson Education, Inc.
© Перевод на русский язык, Издательский дом «ДМК-пресс»

Введение

Данное руководство предназначено для пользователей, стремящихся научиться работать с программой моделирования электрических схем Multisim 7 от компании Electronics Workbench. Книга представляет собой сборник примеров, которые показывают, как создать схему, выполнить различные анализы, а также разобраться в полученных результатах. Данное издание не является учебником по теории электрических цепей или электронике; в нем сделана попытка научить читателей моделировать множество схем, с которыми им, возможно, придется работать. К примеру, это может быть схема постоянного тока, представленная ниже:



Предполагается, что читатели обладают знаниями, необходимыми для анализа схем. Руководство также рассчитано на пользователей, которые хотят проверить свои решения (или свою интуицию) с помощью программы Multisim. Читатели смогут построить схему на экране (как описано в 1-й главе), а затем выполнить моделирование схемы (согласно разделу 3.1) или воспользоваться функцией DC Sweep (в соответствии с разделом 4.1).

Книга может использоваться студентами в ходе всего курса обучения и в дальнейшей работе. Каждая ее глава посвящена определенному типу анализа схем, а содержащиеся в ней примеры касаются схем, изучаемых в начальных курсах по усилителям высокого уровня и ключевым схемам. Можно без проблем пропустить разделы, которые покажутся слишком сложными. Все главы включают простые и сложные схемы, позволяющие проиллюстрировать различные типы анализа. Не обязательно читать все подряд. Отдельные примеры связаны с определенными темами. Однако начинающим пользователям рекомендуется полностью прочесть 1-ю и 2-ю главы, чтобы научиться создавать и сохранять схемы, а также пользоваться программами Postprocessor и Grapher. В 1-й главе также рассматривается применение осциллографа, и поэтому с ней необходимо ознакомиться в первую очередь. Глава 6 посвящена анализу во временной области.

Такие инструменты Multisim, как Multimeter и Oscilloscope, описаны в соответствующих разделах. Всем пользователям рекомендуется изучить примеры в 3, 4 и 5-й главах, а также те примеры, которые относятся к более ранним темам. Первые примеры в этих главах рассмотрены очень подробно, так как они предназначены для демонстрации возможностей программы.

Примеры, рассмотренные в книге, относятся ко всему курсу теории цепей. Они отражают установившиеся процессы в схемах на постоянном и переменном токе и переходные процессы в цепях с одним конденсатором (или катушкой индуктивности) и ключом. Примеры демонстрируют все эти процессы. После их изучения читатель сможет моделировать похожие задачи. В общих курсах по электронике рассматриваются цепи смещения транзисторов, исследуются коэффициент усиления и амплитудно-частотные характеристики усилителей. В приведенных примерах используются соответствующие типы анализа.

В конце каждого раздела даны упражнения. В них приводятся схема и результаты, полученные во время моделирования. Студентам предлагается решить эти задачи, чтобы сравнить полученные ответы с приведенными в книге. Цель этих упражнений состоит не в изучении электрических схем, а в том, чтобы можно было попрактиковаться в работе с программой. По моему убеждению, программное обеспечение, моделирующее работу электрических схем, должно использоваться только для проверки расчетов. Во время своих лекций я предлагаю студентам задания, которые они должны сначала рассчитать вручную, затем смоделировать в программе Multisim, а потом проверить в лаборатории. Студенты сравнивают результаты эксперимента с расчетами, выполненными вручную, а также с результатами, полученными в программе Multisim. Без расчетов вручную невозможно убедиться, что моделирование Multisim было безошибочным.

Сопроводительное программное обеспечение

На сайте www.dmk-press.ru вы можете найти файлы для всех примеров данной книги. Если у вас возникла какая-либо проблема при моделировании схемы, вы сможете открыть файл с сайта и найти отличие.

Советы и предложения

Автор будет рад любым замечаниям или предложениям, которые могут появиться у читателей во время изучения этой книги. Особенно это относится к читателям-студентам. Пожалуйста, свяжитесь напрямую с автором по любому из приведенных адресов:

- **электронная почта:** Marc.Herniter@ieee.org
- **почта:** Rose-Hulman Institute of Technology, CM1123, 5500 Wabash Avenue, Terre Haute, IN 47803-3999

Благодарности

Я хотел бы поблагодарить своих студентов в Институте технологий Роз-Хульман за то, что они помогли мне в работе над данным руководством. Без их настойчивости и любознательности не возникла бы необходимость в этом руководстве.

Я благодарю Джозефа Кенига из компании Electronics Workbench и Денниса Уильямса из издательства Prentice Hall за их вклад в этот проект. Также я признателен Луису Альвесу (Luis Alves) и Тиену Фаму (Tien Pham) из компании Electronics Workbench за то, что они любезно отвечали на мои многочисленные вопросы. Наконец, я глубоко признателен моим жене и детям, которые больше не позволяют мне просиживать за компьютером двадцать четыре часа в сутки.

Перед тем как приступить

ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- Предполагается, что вы работаете с двух- или трехкнопочной мышью. Слова «**ЛЕВАЯ (ПРАВАЯ)** кнопка» относятся, соответственно, к левой и правой кнопкам мыши. (Слово «щелкнуть» без уточнения какой именно кнопкой мыши относится по умолчанию к левой кнопке. — *От ред.*)
- Весь текст, выделенный **полужирным шрифтом**, относится к пунктам в меню, например: команды **File** и **Run**.
- Весь текст, выделенный прописными буквами, относится к клавишам на клавиатуре. Например: «нажмите клавишу **ENTER**».
- **Если текст выделен другим шрифтом, это значит, что он отображается на экране монитора. Это относится ко всему тексту, кроме команд в меню.**
- Если текст выделен листингом, это значит, что нужно ввести его в программе.
- Слово «выбрать» означает «щелкнуть мышью по ...».
- Стрелка \Rightarrow означает, что действия выполняются последовательно в указанном порядке. (*От ред.*)

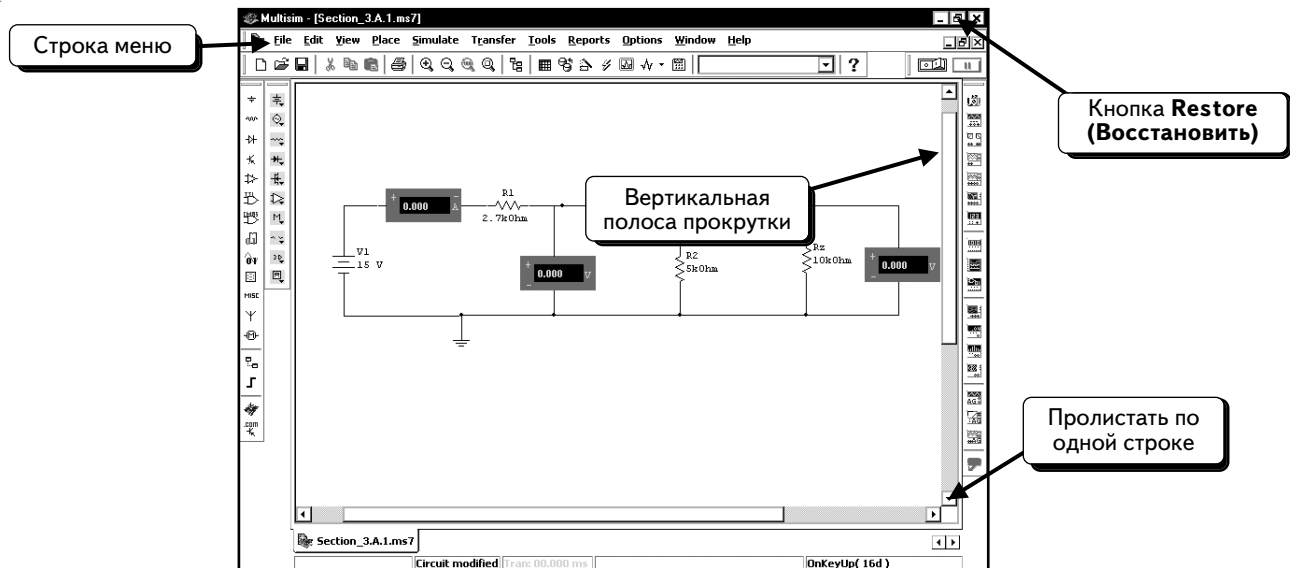
КОМБИНАЦИИ КЛАВИШ



В этой книге приведен ряд комбинаций клавиш, которые представляют собой ссылки на различные команды меню. Их описания будут приведены позднее. Помните о том, что данные комбинации заменяют команды меню:

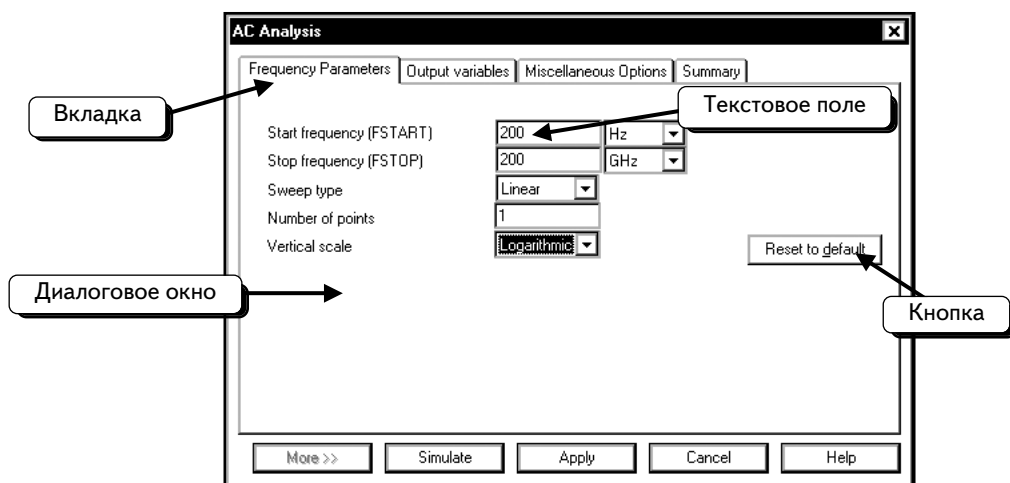
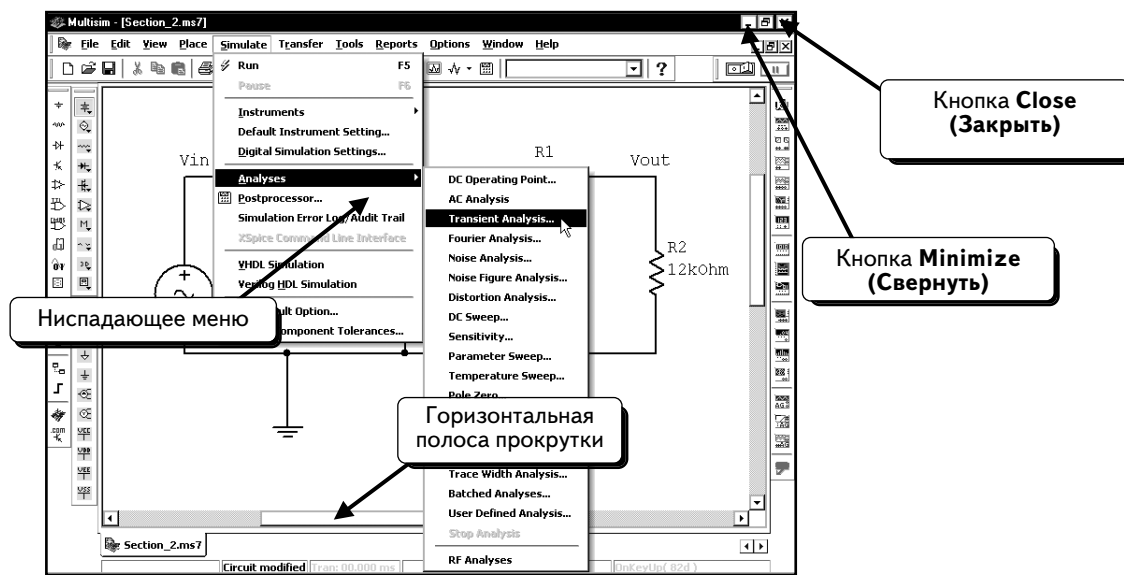
- Для выполнения многих команд применяется клавиша «**CTRL**». Например, комбинация «**CTRL+R**» означает: «удерживая нажатой клавишу «**CTRL**», нажмите клавишу «**R**», комбинация «**CTRL+A**» — «удерживая нажатой клавишу «**CTRL**», нажмите клавишу «**A**». Клавиатуры могут быть разными: на некоторых клавиша «**CTRL**» может обозначаться как «**Control**».
- Комбинация «**ALT+TAB**» в среде Microsoft Windows используется для переключения между активными окнами. Комбинация «**ALT+TAB**» означает: «удерживая нажатой клавишу «**Alt**», нажмите клавишу «**Tab**».

Термины Windows, используемые в книге

В книге использовано большое количество терминов, связанных с работой в среде Windows. Часть терминов приведена ниже:



Примечание: вид кнопки **Restore (Восстановить)** изменяется в зависимости от размеров окна. Если кнопка имеет вид , то она используется для уменьшения размера окна, если же вид , то применяется для развешивания окна на весь экран.



Оглавление

ГЛАВА 1. РЕДАКТИРОВАНИЕ БАЗОВОЙ СХЕМЫ	1
1.1. Запуск программы Multisim	1
1.2. Размещение компонентов	4
1.3. Исправление ошибок	25
1.4. Подключение компонентов	26
1.5. Заземление схемы	28
1.6. Удаление провода при ошибочном подключении	32
1.7. Разметка узлов	32
1.8. Вывод и модификация блока заголовка (штампа)	34
1.9. Трехмерные компоненты	38
1.10. Задачи	42
ГЛАВА 2. ФУНКЦИИ POSTPROCESSOR И GRAPHER	47
2.1. Создание одного графика	50
2.2. Создание двух графиков с кривыми	61
2.3. Создание трех графиков	66
2.4. Сохранение и загрузка страниц	76
2.5. Удаление объектов в программе Postprocessor	80
2.5.1. Удаление кривой из графика	80
2.5.2. Удаление графика со страницы	83
2.5.3. Удаление страницы	86
2.6. Изменение параметров графика в программе Grapher	87
2.6.1. Добавление сетки и легенды	88
2.6.2. Толщина, цвет и ярлык кривой	90
2.6.3. Изменение заголовков и ярлыков осей	95
2.6.4. Добавление второй оси у	98
2.7. Использование курсора	103
2.8. Увеличение и уменьшение масштаба	110
2.9. Сохранение и открытие страниц в программе Grapher	118
2.10. Задачи	121
ГЛАВА 3. ИЗМЕРЕНИЯ НА ПОСТОЯННОМ ТОКЕ	123
3.1. Схемы с резисторами	123
3.1.1. Измерения с использованием индикаторов	123
3.1.2. Измерения с помощью мультиметра	133
3.1.3. Использование ваттметра	140
3.1.4. Анализ DC Operating Point Analysis	143
3.2. Анализ узловых напряжений в цепях с зависимыми источниками	147
3.3. Ток и напряжение диода	150
3.3.1. Изменение температуры, принятой при моделировании	154
3.4. Получение эквивалентных схем по теоремам Тевенина и Нортона	156
3.5. Рабочая точка транзистора	161
3.6. Задачи	171

ГЛАВА 4. ВАРИАЦИИ НА ПОСТОЯННОМ ТОКЕ	176
4.1. Основы анализа на постоянном токе	176
4.2. Вольтамперная характеристика диода	197
4.2.1. Получение вольтамперных характеристик диода с помощью IV-плоттера	201
4.3. Передаточные кривые на постоянном токе	204
4.3.1. Ограничитель на стабилитроне	204
4.3.2. Передаточная кривая для инвертора на транзисторах NMOS	207
4.4. Вложенный анализ DC Sweep. Характеристики биполярного транзистора ВJT	211
4.4.1. Получение вольтамперных характеристик биполярного транзистора ВJT с помощью IV-плоттера	214
4.5. Коэффициент усиления по току для ВJT	218
4.5.1. Зависимость коэффициента усиления H_{FE} от тока эмиттера	218
4.5.2. Зависимость коэффициента усиления H_{FE} от тока I_C при различных значениях V_{CE}	224
4.6. Задачи	229
ГЛАВА 5. АНАЛИЗ МОДУЛЯ И ФАЗЫ ГАРМОНИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ	233
5.1. Измерение модуля и фазы при одной частоте	234
5.1.1. Измерение модуля с помощью приборов	234
5.1.2. Измерение модуля и фазы с помощью функции AC Analysis	240
5.2. Графики Боде	252
5.2.1. Создание графиков Боде с помощью Боде-плоттера	252
5.2.2. Создание графиков Боде с помощью функции AC Analysis	257
5.3. Анализ коэффициента усиления усилителя	264
5.4. Коэффициент усиления операционного усилителя	269
5.5. Вариация параметров. Полоса пропускания ОУ	281
5.6. Мощность переменного тока и коррекция коэффициента мощности	287
5.6.1. Коррекция коэффициента мощности	290
5.7. Измерение полного комплексного сопротивления	292
5.7.1. Измерение активного сопротивления с помощью мультиметра	292
5.7.2. Измерение сопротивления в пассивной схеме с помощью анализа SPICE	294
5.7.3. Измерение сопротивления в активной схеме с помощью анализа SPICE	297
5.8. Задачи	301
ГЛАВА 6. АНАЛИЗ ВО ВРЕМЕННОЙ ОБЛАСТИ	315
6.1. Использование виртуального осциллографа	315
6.1.1. Временная развертка	319
6.1.2. Настройка масштаба напряжения для каналов А и В	321
6.1.3. Настройки синхронизации	326
6.1.4. Использование курсоров	330
6.2. Измерение фазы в емкостной схеме	335
6.3. Измерение фазы в индуктивной схеме	339
6.4. Последовательная резонансная RLC-цепь	344
6.5. Стабилизатор постоянного тока	353
6.5.1. Непрерывный стабилизатор. Моделирование в виртуальной лаборатории	356
6.5.2. Непрерывный стабилизатор напряжения. Моделирование с использованием функции SPICE Transient Analysis	365

6.6. Схема ограничителя на стабилитроне. Исследование с помощью SPICE Transient Analysis	378
6.7. Схема ограничителя на стабилитроне. Моделирование в виртуальной лаборатории	385
6.7.1. Получение передаточных характеристик	389
6.8. Размах напряжения на транзисторе	392
6.8.1. Анализ Фурье в программе Multisim	396
6.9. Интегрирующая схема на виртуальном ОУ	404
6.10. Триггер Шмитта на операционном усилителе	410
6.11. Многовариантный анализ. Скорость переключения инвертора	415
6.12. Вариация по температуре. Непрерывный стабилизатор	422
6.13. Компоненты с предельными параметрами	427
6.14. Задачи	432
ГЛАВА 7. ЦИФРОВОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ	439
7.1. Цифровые индикаторы, генераторы сигнала и инструменты	439
7.1.1. Инструменты Word Generator и Logic Analyzer	440
7.1.2. Цифровой пробник и недешифрирующие столбиковые индикаторы	454
7.1.3. Различные индикаторы сигналов	459
7.2. Схемы, содержащие аналоговые и цифровые модели	464
7.3. Моделирование схем, содержащих только цифровые компоненты	469
7.4. Схема с обнулением при запуске	472
7.5. Цифровое моделирование и задержки на логических элементах в идеальном и реальном режимах	475
7.5.1. Цифровое моделирование в идеальном режиме	475
7.5.2. Цифровое моделирование в реальном режиме	477
7.6. Задачи	480
8. ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ	481

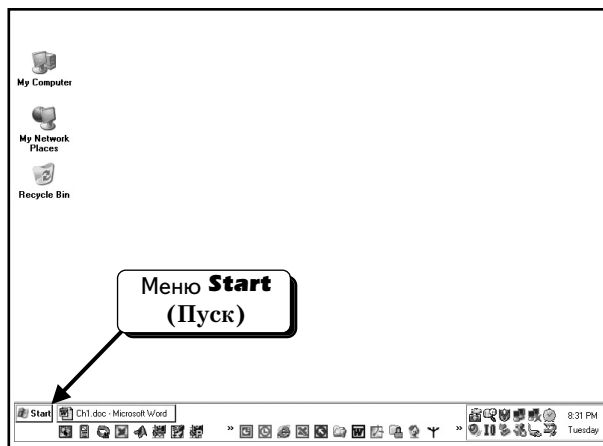
ГЛАВА 1


Редактирование базовой схемы

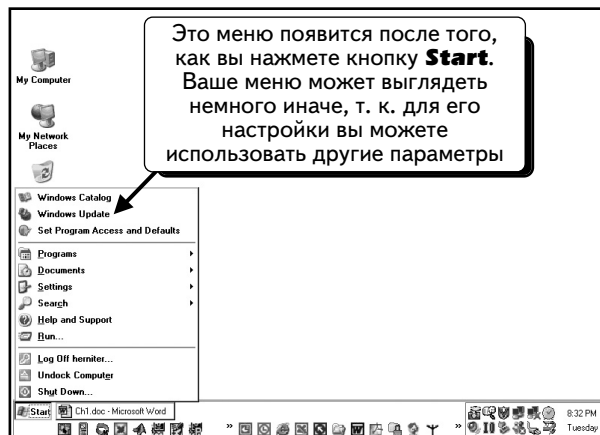
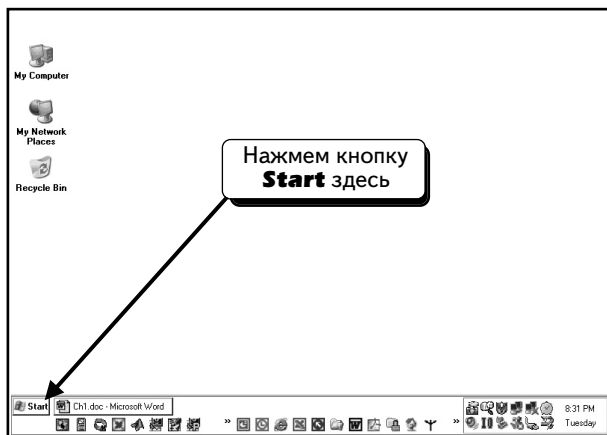
В этой главе рассказано, как нарисовать схему в программе Multisim. Процесс включает в себя выбор и добавление компонентов, соединение их проводниками, заземление схемы и разметку узлов. В главе 2 вы выполните простое моделирование и научитесь создавать графики с помощью функции Postprocessor. Главы 1 и 2 этого руководства являются вводными и содержат информацию, необходимую для создания схем и просмотра результатов. В других главах описано моделирование электрических схем. Рекомендуется прочитать главы 1 и 2 последовательно (некоторые примеры последующих глав связаны с методиками, описанными в главах 1 и 2). Затем можно в произвольном порядке изучать примеры в других главах.

1.1. Запуск программы Multisim

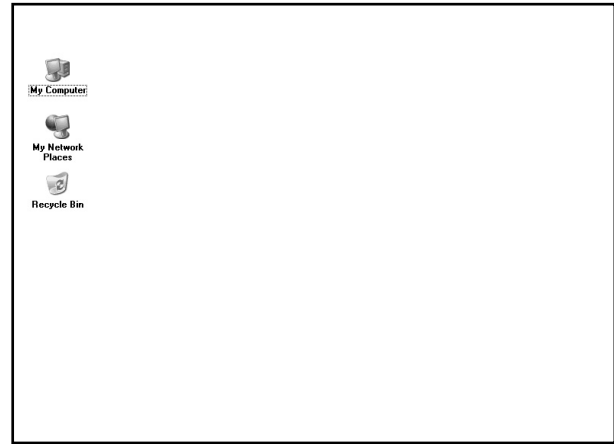
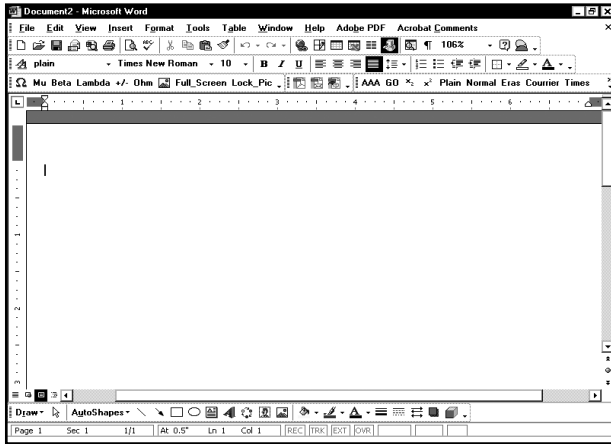
Если программа Multisim правильно установлена на вашем компьютере, ее можно запустить из меню **Start** (**Пуск**) среды Windows. В зависимости от конфигурации рабочего стола и используемой версии Windows меню **Start** может различаться. Примеры данной книги были созданы в среде Windows XP Professional с классической версией меню **Start**. Его кнопка, как правило, отображается в нижней части рабочего стола:



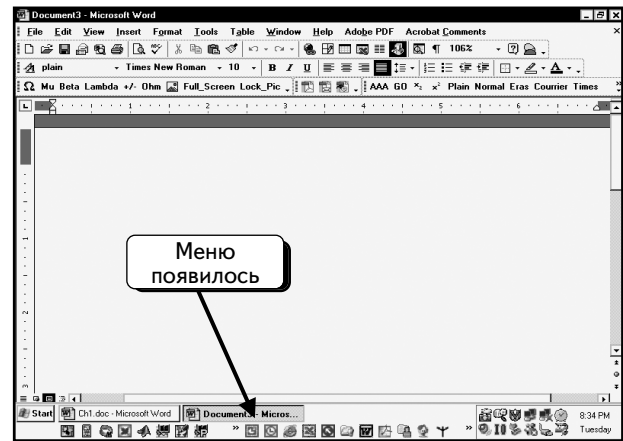
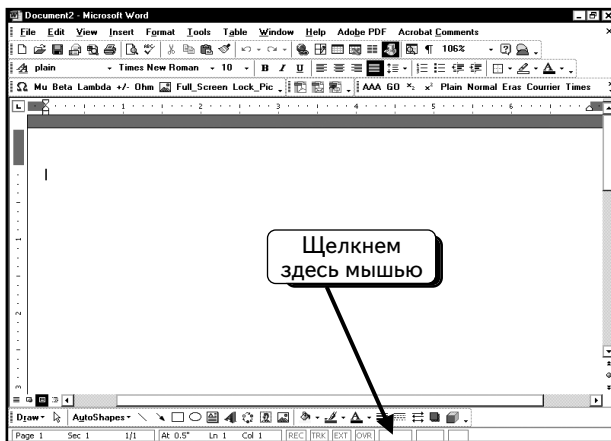
В этом месте можно щелкнуть по кнопке **Start**  и продолжить:




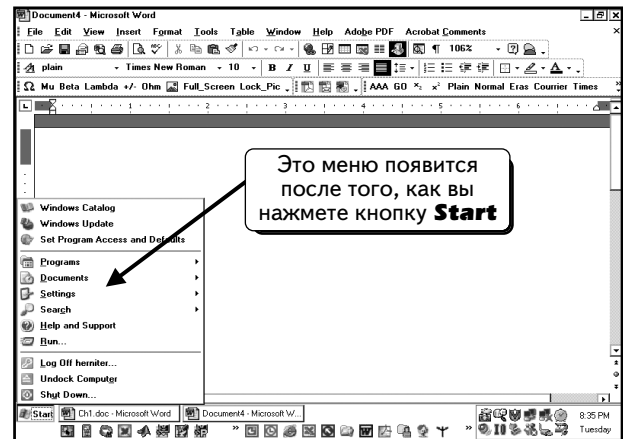
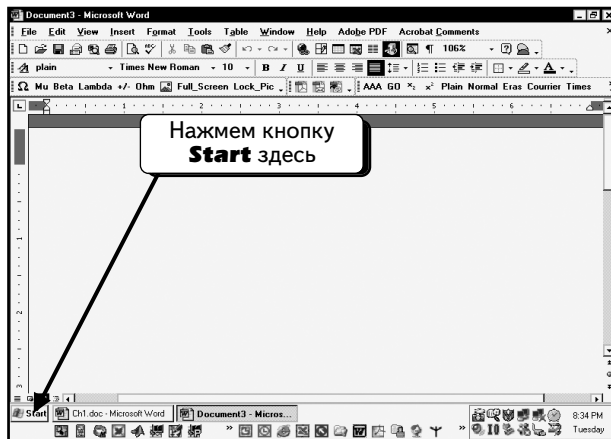
Но если рабочий стол выглядит так, как показано ниже, значит, меню **Start** скрыто:






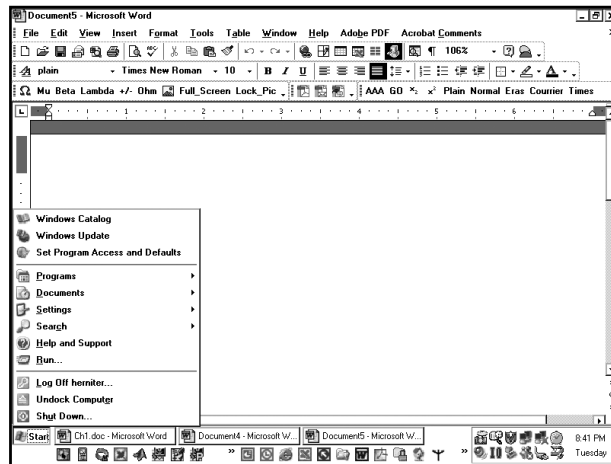
Можно вызвать меню **Start** двумя способами. Переместим курсор мыши в нижнюю часть экрана. После этого появится меню **Start**:



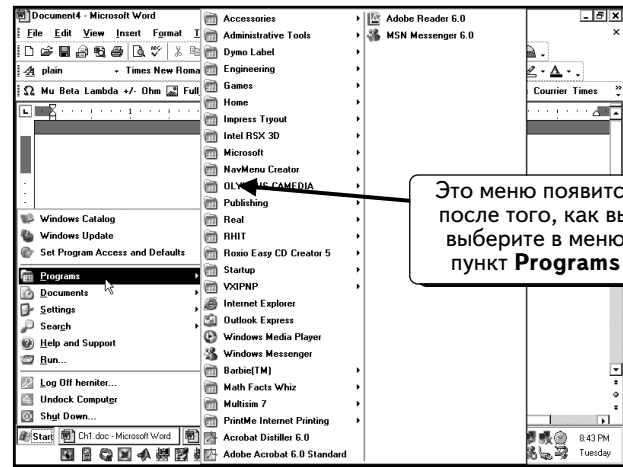
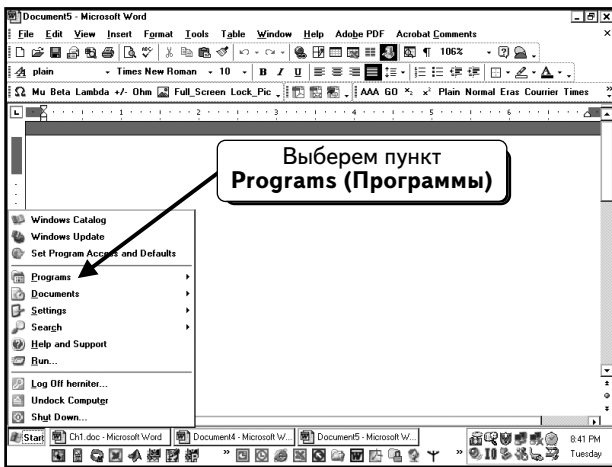
Этот способ работает, если меню **Start** было сконфигурировано таким образом, чтобы отображаться поверх других окон и был выбран режим автоматического скрытия меню. Можно нажать кнопку **Start**  и продолжить:



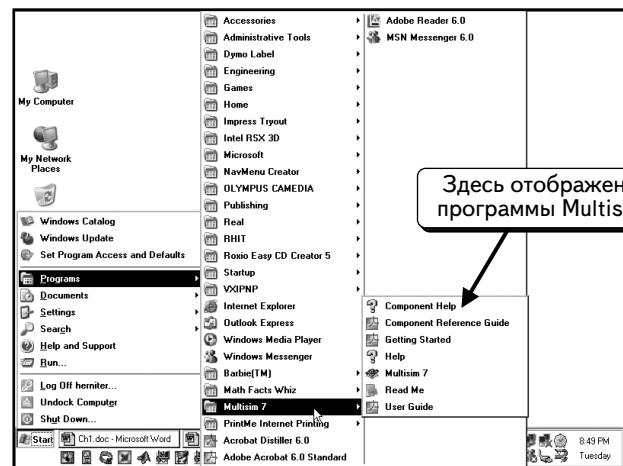
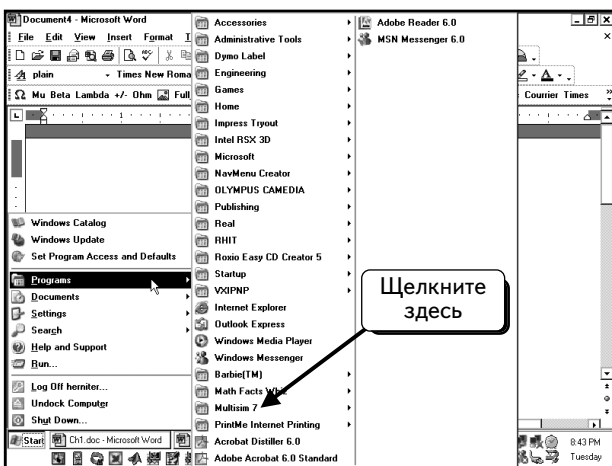
Однако если по-прежнему меню **Start** не видно, то можно выбрать одну из трех опций: во-первых, нажать клавишу **Start**  на клавиатуре; во-вторых, нажать клавиши **CTRL+ESC**. Тогда откроется меню **Start**, и кнопка **Start**  также будет активна; и в-третьих, при работе на устаревшей клавиатуре (где клавиша **Start** отсутствует), можно курсором мыши перетащить меню **Start** из нижней части экрана вверх. В приведенном примере была нажата клавиша **Start** .



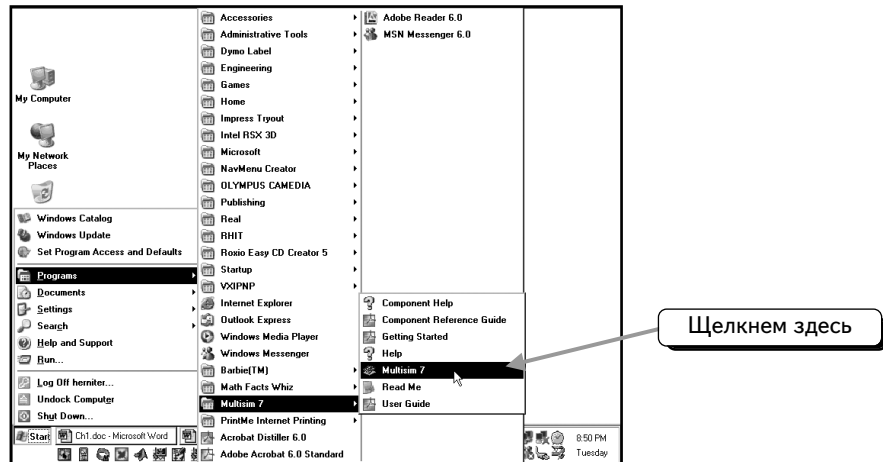
Теперь меню **Start** появилось на экране. Выберем пункт **Programs (Программы)**:



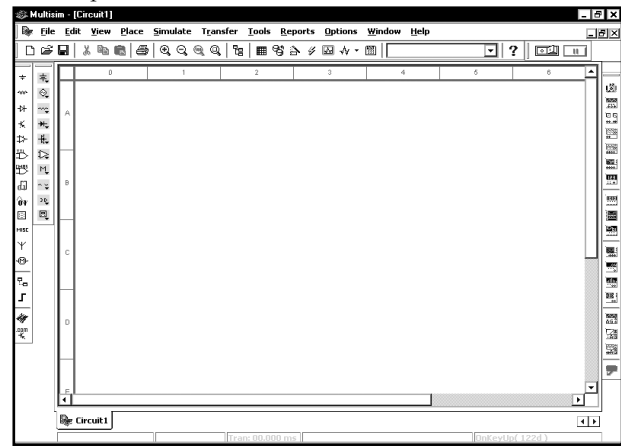
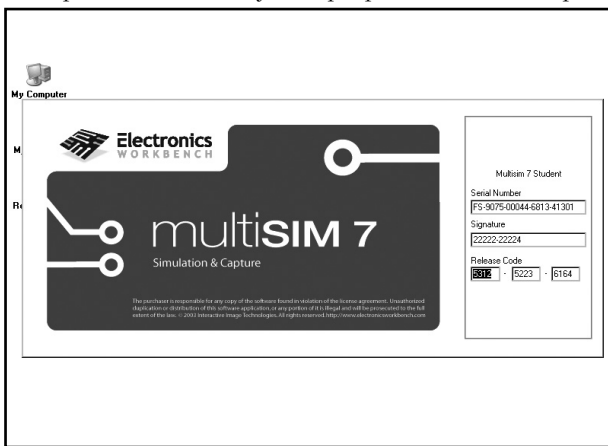
После этого откроются списки программ и групп программ. Программы пакета Multisim находятся в группе **Multisim 7**. Щелкнем **ЛЕВОЙ** кнопкой мыши по пункту **Multisim 7** — будет отображен список программ в группе:



Чтобы запустить программу, щелкнем **ЛЕВОЙ** кнопкой мыши по пункту  **Multisim 7**:

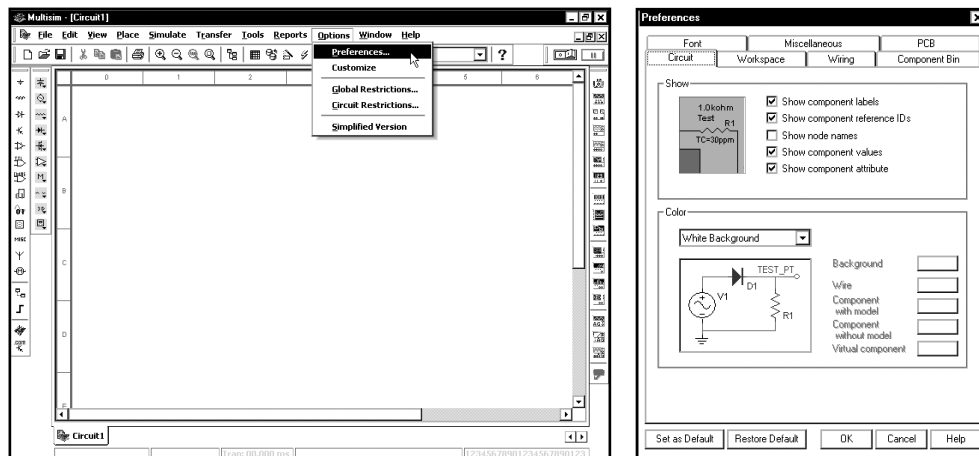


Отобразится окно запуска программы, затем откроется пустой экран для создания схемы:



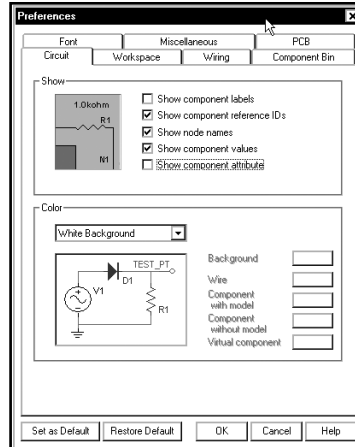
1.2. Размещение компонентов

Перед тем как размещать компоненты, следует проверить настройку одной из опций Multisim, чтобы убедиться, что мы работаем с одинаковыми параметрами системы. Выберем в меню Multisim пункты **Options (Опции)** и **Preferences (Параметры)**:

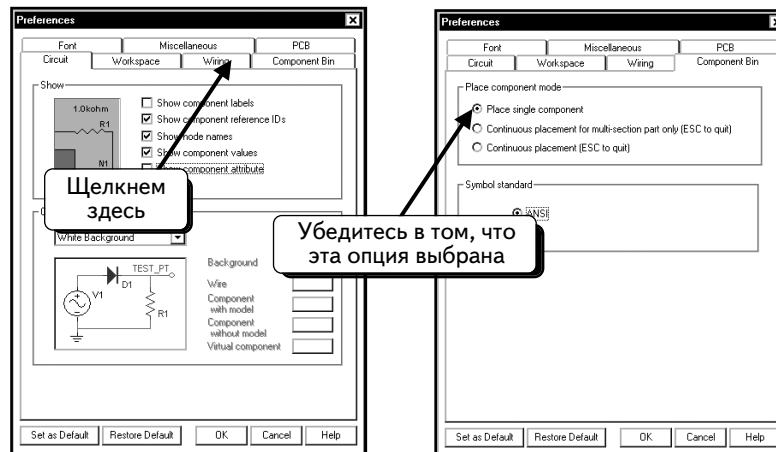


В приведенном диалоговом окне выбрана вкладка **Circuit (Схема)**. Верхняя панель окна позволяет указать, какая информация должна отображаться около каждого компонента схемы. Большая часть информации пока не нужна, поэтому отключим эту опцию. В данный момент необходимо видеть только три названия компонентов, например, R1 или R2 для резистора (а также C1 или C2 для конденсатора), и их значения, к примеру,

1,0 кОм (1.0 kOhm) для резистора. Название компонента — это ID компонента, а его значение называется значением компонента. Будем отображать эти сведения около условных обозначений, а также отобразим названия узлов схемы. Это позволяет упростить работу с функцией Postprocessor. Иногда названия узлов загромождают схему, но они помогают работать с компонентами. Кроме того, будем обозначать определенные узлы схемы как «vin» и «vout» (входное и выходное напряжение). Убедитесь в том, что настройки вашей системы соответствуют настройкам, приведенным ниже:

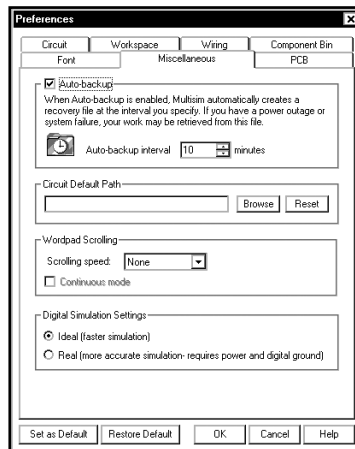


Далее выберем вкладку **Component Bin (Компоненты)**:

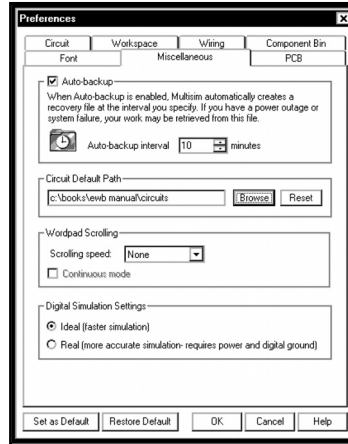


Должна быть выбрана опция **Place Single Component (Поместить один компонент)**, благодаря которой можно помещать компоненты по одному без опасения добавить два одинаковых компонента по ошибке.

И наконец выберем вкладку **Miscellaneous (Разное)**:



С помощью этой вкладки укажем папку для сохранения файлов. Нажмем кнопку **Browse (Найти)** и выберем нужную папку, после чего в диалоговом окне появится путь к ней:

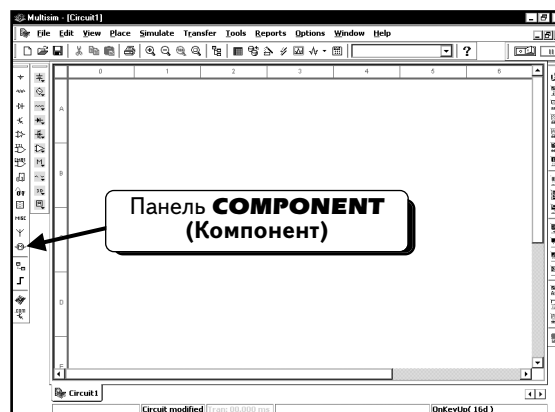


Теперь выполнены все изменения настроек, которые необходимы для воспроизведения примеров, данных в этой книге. При желании можно поэкспериментировать самостоятельно.

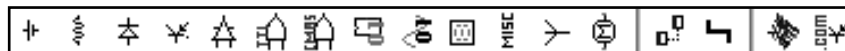
Далее следует сохранить настройки, которые были только что установлены. Если нажать кнопку **Set as Default (Использовать по умолчанию)**, настройки на вкладке **Preferences** будут и в дальнейшем использоваться для всех создаваемых схем. Если же просто нажать кнопку **OK**, изменения будут применены только к текущей схеме, а все следующие схемы будут использовать установленные ранее настройки. Нажмем кнопку **Set as Default**, а затем кнопку **OK**, чтобы вернуться к окну для создания схемы.

Теперь создадим схему сами. Сначала понадобится независимый источник переменного напряжения. В программе Multisim можно использовать два типа источников. Один называется источником питания АС и позволяет указывать действующие значения, другой — источником напряжения АС и требует указания амплитуды (максимального мгновенного значения напряжения). За исключением этого небольшого отличия, источники питания полностью повторяют друг друга. При взгляде на схему вы не сможете их различить. Поэтому некоторые рисунки в этой книге могут быть поняты неправильно. При работе с программой можно решить эту проблему: при двойном щелчке по источнику питания он будет идентифицирован. Далее будет рассказано о том, как добавить в схему каждый из этих источников питания.

Существуют три способа выбора компонентов: с помощью, во-первых, панелей инструментов и вкладки Component Bin, во-вторых, панелей инструментов и диалогового окна **COMPONENT (Компонент)** и, в-третьих, меню Multisim и диалогового окна Component. Оба независимых источника питания переменного тока добавляются в схему с использованием панелей инструментов и вкладки Component Bin, поэтому сначала расскажем об этой методике. Слева в окне видны две панели инструментов. Крайняя слева панель, **COMPONENT**, предоставляет доступ ко

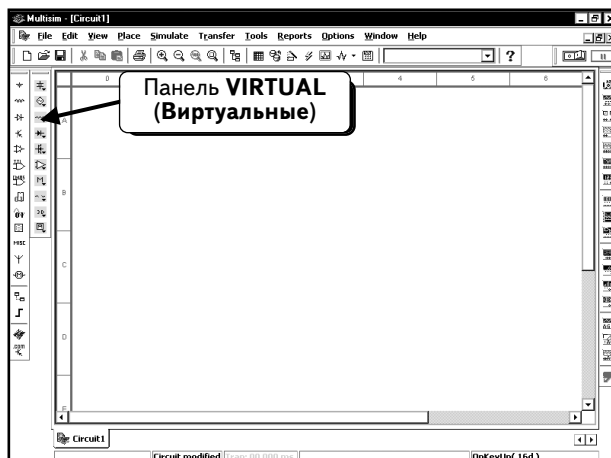


всем компонентам Multisim 7, а также к некоторым другим ресурсам, например, веб-сайтам Electronics Workbench и EDAParts.com. Увеличенная панель компонентов показана ниже:

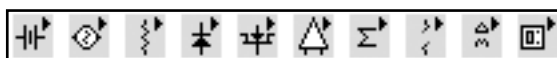


При пользовании этой панелью выполняется несколько больше действий, но она позволяет разместить любой необходимый компонент. Более подробно панель **COMPONENT** будет рассмотрена позднее, когда она понадобится.









Для быстрого добавления источников питания переменного тока можно пользоваться панелью инструментов **VIRTUAL (Виртуальные)**, которая находится рядом с панелью **COMPONENT**:









Увеличенная панель инструментов **VIRTUAL** показана ниже:

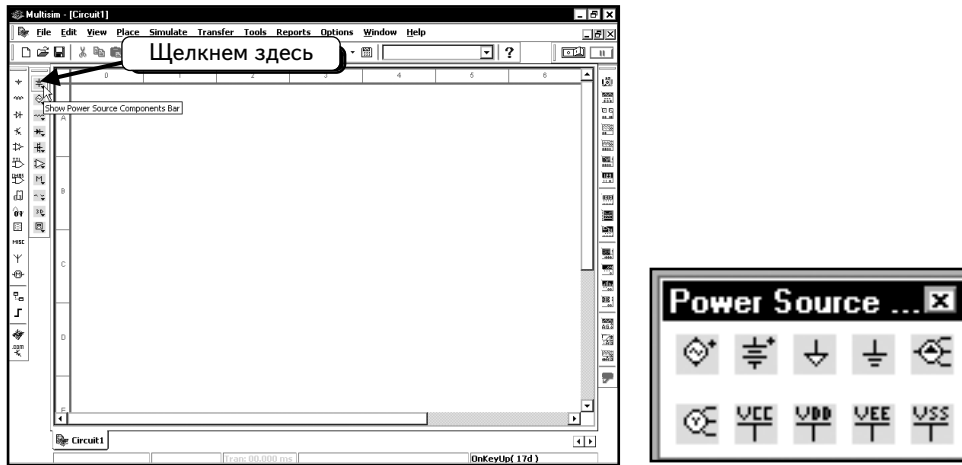


Виртуальный компонент представляет собой идеальный компонент, такой, например, как диод, резистор, имеющий нестандартное значение, операционный усилитель (ОУ) и так далее. Если нажать одну из кнопок на панели инструментов, появится вложенная панель инструментов (будем называть ее «панель компонентов»). На ней можно быстро выбрать нужный компонент. Панель компонентов содержит стандартные компоненты, а именно:

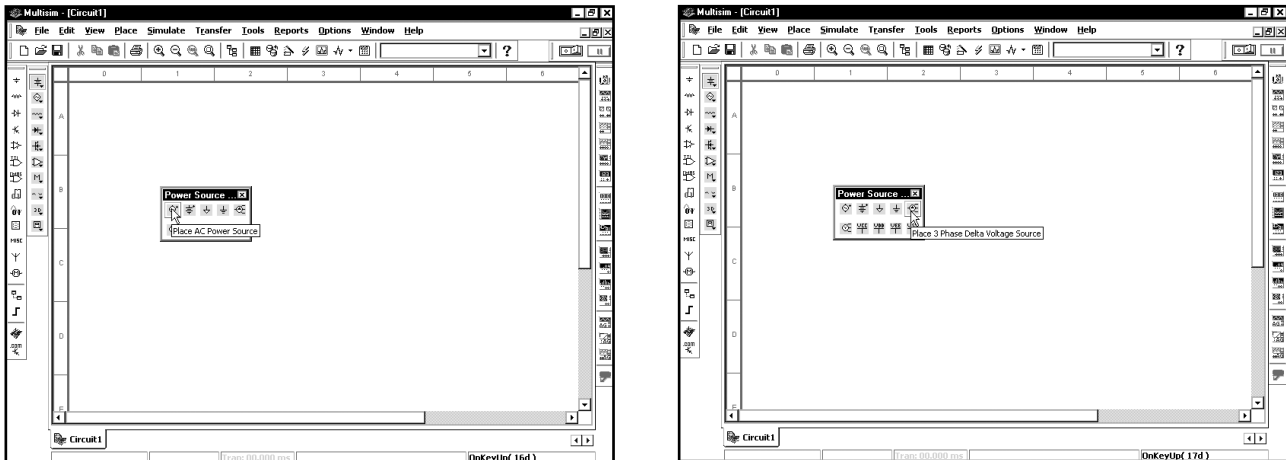
-  — **Power Sources (Источники питания)** — одно- и трехфазные источники питания, а также источники питания постоянного тока и заземление;
-  — **Signal Sources (Источники сигнала)** — источники напряжения и тока: источники прямоугольного сигнала, кусочного-линейного сигнала и таймеры;
-  — **Basic Parts (Базовые компоненты)** — базовые компоненты, которые включают резисторы, конденсаторы, катушки и так далее;
-  — **Diodes and Zeners (Диоды и стабилитроны);**
-  — **Transistor Components (Транзисторные компоненты)** — биполярные транзисторы VJT, мощные полевые транзисторы MOSFET, арсенид-галлиевые транзисторы GaAsFET и полевые транзисторы JFET;
-  — **Analog Components (Аналоговые компоненты)** — операционные усилители (ОУ) и компараторы;
-  — **Miscellaneous Components (Прочие компоненты)** — аналоговые переключатели, предохранители, 7-сегментные дисплеи, двигатели, таймер 555-й серии и так далее;
-  — **Rated Components (Компоненты с ограничениями)** — компоненты, которые имеют физические ограничения и могут выйти из строя при их превышении. Например, резисторы с ограничением по мощности или транзисторы с ограничением по коллекторному току. Если во время моделирования будет превышено предельное значение, компонент в схеме будет показан как вышедший из строя;


-  — **3D Components (Трехмерные компоненты)** — отображаются с использованием элементов трехмерной графики, таких как ,  и , вместо стандартных условных обозначений;
-  — **Measurements Components (Измерительные компоненты)** — устройства для измерения напряжения и тока, а также пробники логического уровня.

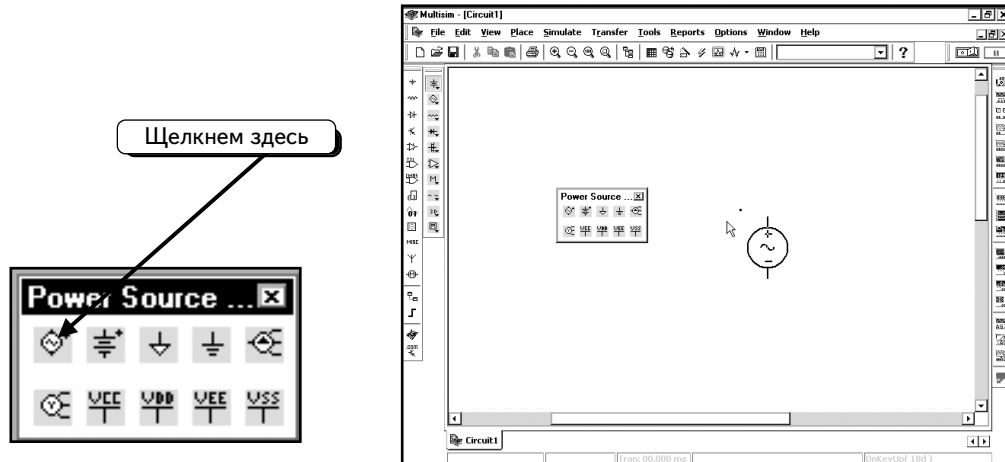
Добавим в схему источник питания АС и источник сигнала АС, чтобы показать различие между ними. Сначала создадим источник питания АС. Нажмем кнопку **Show Power Source Components Bar** (Показать панель Power Source Components) , как показано ниже:



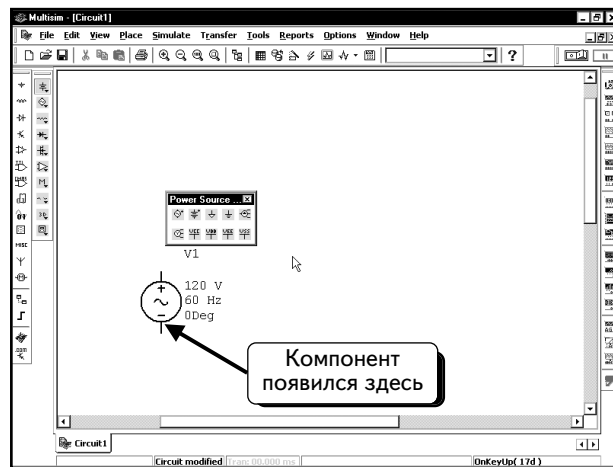
Отобразится панель инструментов **Power Source Components**. На этой панели инструментов расположены стандартные источники питания, которые будут использоваться в схемах (например, источники напряжения DC, заземление и трехфазные источники питания), и источник питания АС, который надо добавить в схему. Чтобы увидеть описание компонента, соответствующей кнопке, задержим на ней курсор мыши. Через несколько секунд появится экранная подсказка:



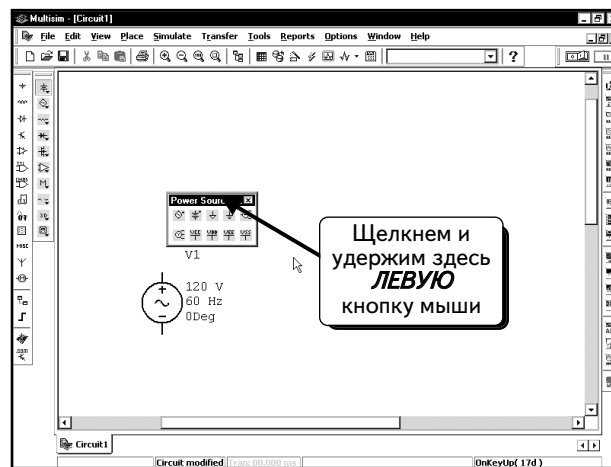
По описанию и изображению на панели легко найти нужный компонент. Чтобы добавить источник питания АС, щелкнем **ЛЕВОЙ** кнопкой мыши по кнопке **Place AC Power Source** (Добавить источник питания АС) . Источник питания «привяжется» к курсору мыши и будет следовать за его передвижением:



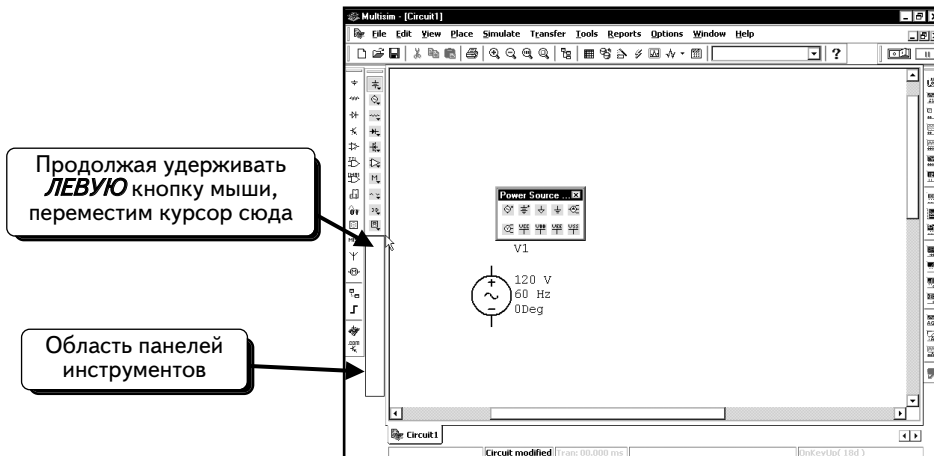
Переместим источник питания в нужное место и щелкнем **ЛЕВОЙ** кнопкой мыши, чтобы добавить компонент:



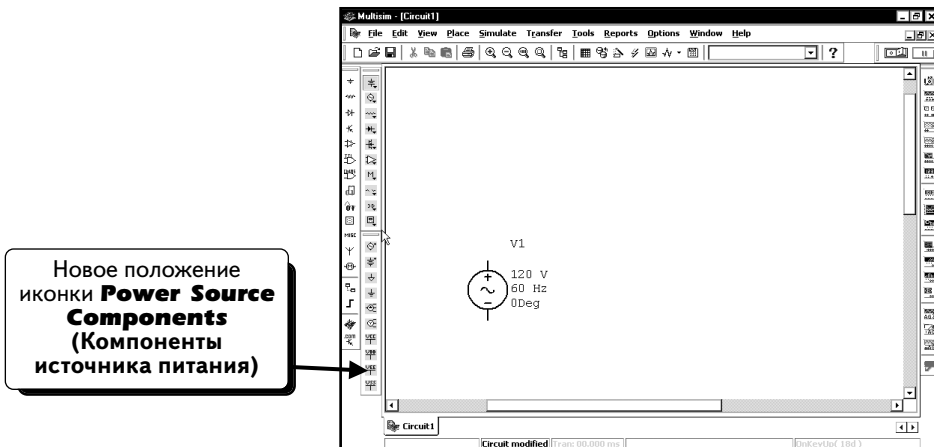
Панель инструментов **Power Source Components** используется настолько часто, что удобнее поместить ее рядом с компонентом. Можно переместить панель инструментов с помощью мыши, но следите за тем, чтобы не загромождать схему. Для перемещения панели инструментов выполним следующие действия. Щелкнем **ЛЕВОЙ** кнопкой мыши, удерживая ее, на заголовке панели:



Продолжая удерживать нажатой **ЛЕВУЮ** кнопку мыши, переместим курсор так, как показано:

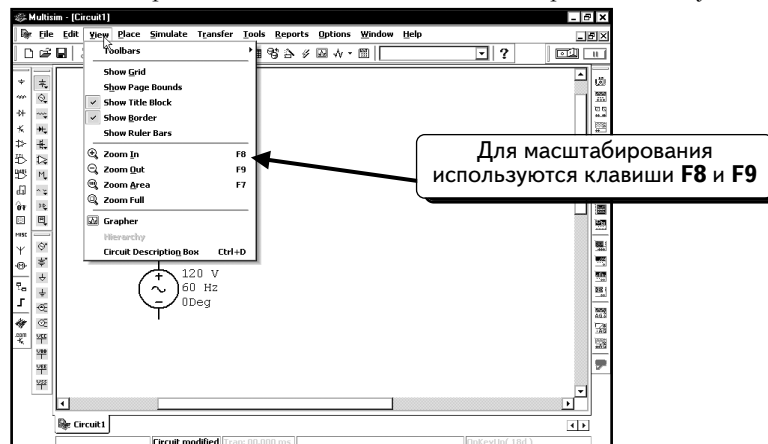


Отпустим кнопку мыши, когда переместим панель инструментов в нужное положение:



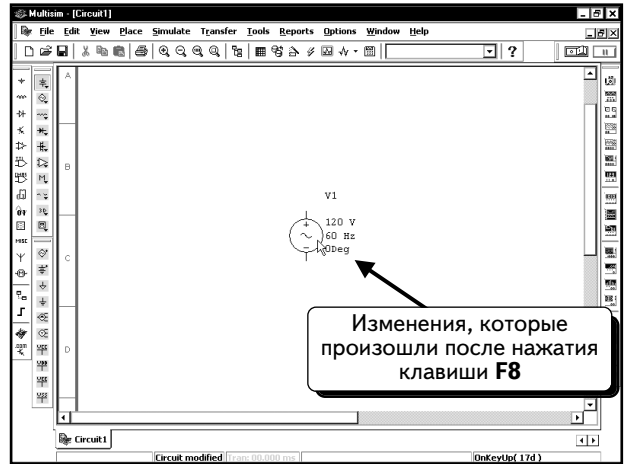
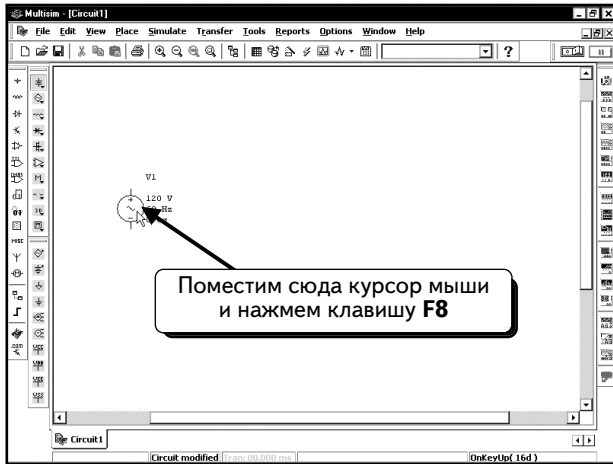
Теперь можно легко пользоваться панелью инструментов, чтобы добавлять компоненты. Компоненты этой панели часто используются, кроме того, при таком расположении панель инструментов не мешает нам работать со схемой. С помощью этого метода можно добавлять на рабочий стол и другие панели инструментов.

Теперь заменим параметры источника питания, чтобы настроить его на напряжение 12,6 В и частоту 60 Гц. Перед этим изменим масштаб условного изображения компонента, для чего выберем в меню пункт **View (Вид)**:

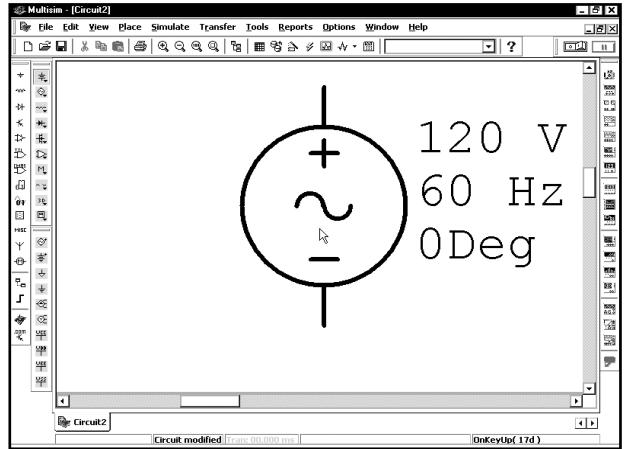
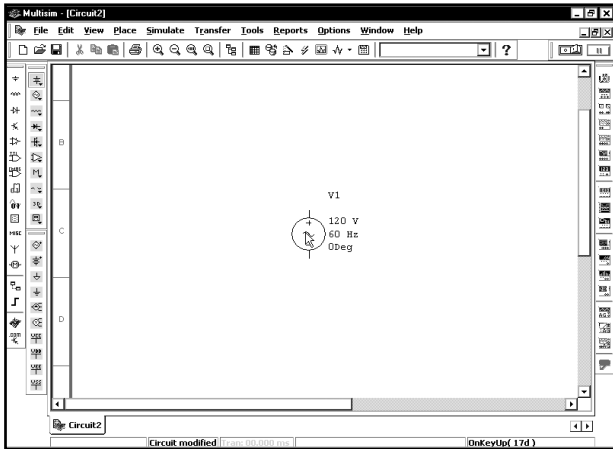


Не будем применять меню для масштабирования. В меню можно определить, какие клавиши следует нажать, и увеличить масштаб с помощью клавиши **F8** либо уменьшить его клавишей **F9**. Этот метод имеет преимущество по сравнению с командами меню или клавишами панели: вы можете поместить курсор мыши на объект, который хотите масштабировать, а потом нажать клавишу **F8** или **F9**. Если же вы работаете с командами меню, будет увеличена определенная область, которая не обязательно включает нужный вам компонент.

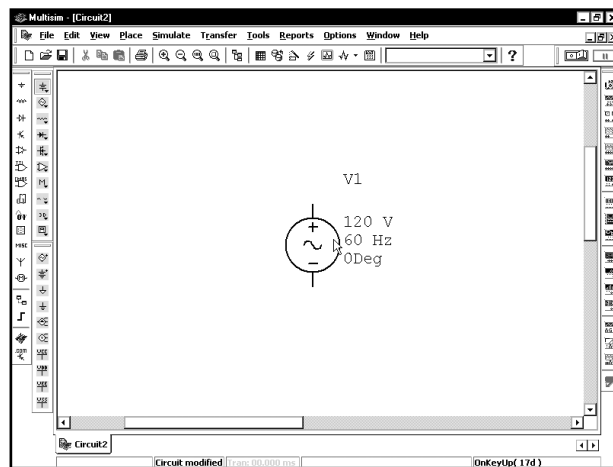
Поместим курсор мыши на источник питания и нажмем клавишу **F8**:



Можно повторить процесс несколько раз. Поместим курсор мыши на источник питания и повторно нажмем клавишу **F8**. Через мгновение появится результат:



Если вы хотите уменьшить масштаб, нажмите курсором мыши на клавишу **F9**. Результат, полученный после нескольких нажатий клавиши **F9**, показан ниже:



Поэкспериментировав с масштабированием, можно восстановить начальный масштаб схемы с помощью кнопки **100 %** (или клавиши **F7**). Рекомендуем пользоваться клавишей **F7**, так как она выполняет масштабирование около курсора мыши. Если же нажать кнопку, результат может не совпасть с ожидаемым: