

Министерство образования Российской Федерации
Владимирский государственный университет

В.П. Галас

**ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ
ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СХЕМ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММЫ MICRO-CAP**

Практикум для студентов специальности 210100

Владимир 2003

УДК 621.313
Г15

Рецензенты:

Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой
вычислительной техники Владимирского государственного университета
В.Н. Ланцов

Кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой
информатики и информационных технологий
Владимирского государственного педагогического университета
Ю.А. Медведев

Печатается по решению редакционно-издательского совета
Владимирского государственного университета

Галас В.П.

Г15 Имитационное моделирование электрических схем с использованием программы Micro-Cap: Практикум для студентов специальности 210100 / Владим. гос. ун-т. Владимир, 2003. 52 с.
ISBN 5-89368-420-6

Содержатся основные сведения о программе схемотехнического моделирования Micro-Cap и ее возможностях. Приводятся инструкции по созданию и редактированию компонентов электрических схем и проведению различных видов анализа при их исследовании. Разработан в соответствии с Государственным общеобразовательным стандартом высшего профессионального образования.

Предназначен для студентов дневной формы обучения специальности 210100 – управление и информатика в технических системах.

Табл. 13. Ил. 19. Библиогр.: 2 назв.

УДК 621.313

ISBN 5-89368-420-6

© Владимирский государственный университет, 2003

ВВЕДЕНИЕ

Система схемотехнического моделирования Micro-Cap фирмы Spectrum Software является интегрированным аналогово-цифровым имитатором и редактором электронных схем. Она позволяет моделировать среду для инженеров радиоэлектроники, удобна для использования на этапе начального освоения методов автоматизированного проектирования и на этапах проведения поисково-исследовательских работ.

Программа Micro-Cap выпускается для платформ IBM, NEC, Macintosh и позволяет моделировать аналоговые, цифровые и цифро-аналоговые схемы различной степени сложности.

С помощью программы можно создавать принципиальные электрические схемы устройств и редактировать их, проводить расчет статического режима по постоянному току, рассчитывать характеристики и переходные процессы. Система схемотехнического моделирования позволяет проводить оценку уровня внутреннего шума и предельной чувствительности, многовариантный анализ, включая статический по методу Монте-Карло.

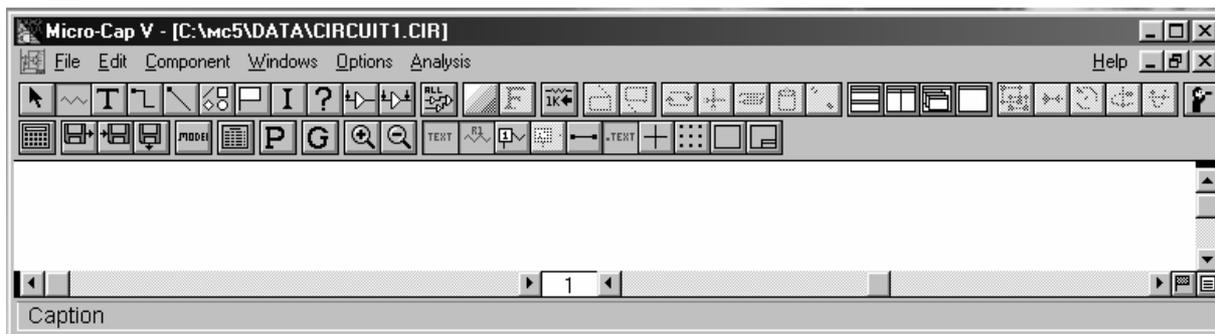
Большая библиотека компонентов, включающая в себя наиболее популярные цифровые интегральные схемы дискретной логики, аналоговые компоненты типа диодов, биполярных, полевых и МОП-транзисторов, магнитных сердечников, линий передачи с потерями и т.п. предоставляет пользователю возможность ее наращивания путем дополнения вновь созданными компонентами.

Система отличается наличием специальной программы MODEL для расчета параметров математических моделей аналоговых компонентов по справочным или экспериментальным данным. Все модели программы написаны в стандартном формате SPICE, что предоставляет возможность экспорта и импорта результатов измерений и схем в различные версии Micro-Cap и использования программами моделирования других фирм.

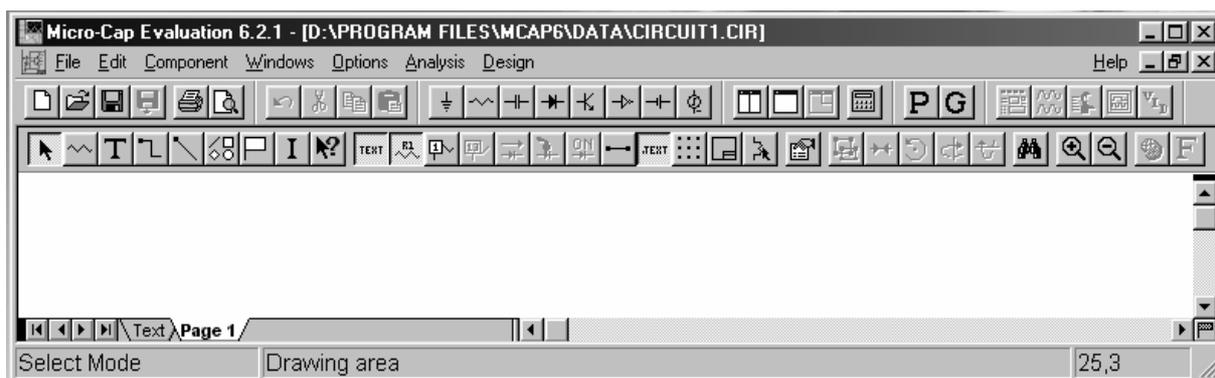
В пособии приводится описание и краткая инструкция работы с системой моделирования Micro-Cap, а также задания к практическим занятиям и методические указания к их выполнению.

1. ИНТЕРФЕЙС ПРОГРАММЫ MICRO-CAP

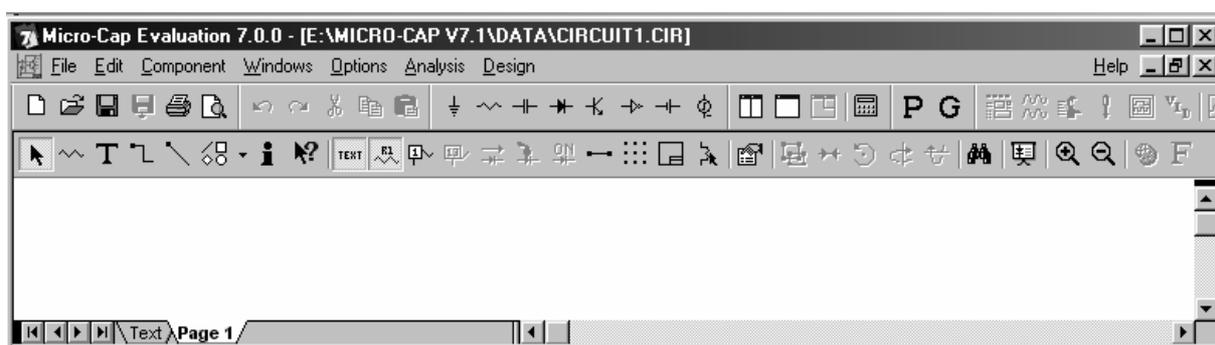
В системе программы Micro-Cap используется многооконный интерфейс с ниспадающими и разворачивающимися меню, который уже стал стандартным. Основные окна интерфейса программы Micro-Cap версий 5.1, 6.2.1 и 7.1 изображены на рис. 1.1 (а, б и в соответственно).



а)



б)



в)

Рис. 1.1. Окна программ: а - Micro-Cap 5.1; б - Micro-Cap 6.2.1; в - Micro-Cap 7.1

Окна во многом схожи, поэтому для простоты изложения назначение отдельных элементов интерфейса приведем для основного ядра программы Micro-Cap 5.1.

Кнопка системного меню. Расположена в верхнем левом углу окна и является стандартной кнопкой управления приложениями Windows. С её помощью изменяется и восстанавливается размер окон, они перемещаются, сворачиваются и закрываются.

Кнопка меню схемы. Аналогична кнопке системного меню, но применяется только при работе с окнами схем.

Меню команд. Меню выбранной курсором команды разворачивается вниз. Некоторые команды, например **File - Save** (Файл - Сохранить), выполняются немедленно после их выбора. Другие команды, отмеченные многоточием "...", например, **File - Save As...** (Файл - Сохранить как), требуют ввода дополнительной информации (в данном примере ввода имени файла). Команды, отмеченные треугольником, имеют дополнительное меню, разворачивающееся вправо, например, **Options - Mode**.

Строка заголовка. В этой строке указывается имя окна. Если открыто окно схем, то указывается имя файла схемы и каталога, в котором он расположен. Если же открыто окно анализа характеристик - указывается вид анализа:

“AC Analysis” - анализ частотных характеристик;

“DC Analysis” - передаточных функций по постоянному току;

“Transient Analysis” - переходных процессов.

Строка инструментов. На этой строке размещены *пиктограммы* наиболее употребительных команд, их полный список приведён далее. Пиктограммы команд немедленного действия остаются нажатыми непродолжительное время и затем восстанавливают своё первоначальное положение. Пиктограммы команд, переключающие режимы, остаются в положении “включено” до выполнения следующей команды.

Кнопки изменения размеров окна. Стандартные кнопки интерфейса Windows позволяют распахнуть окно на весь экран , уменьшить его размер и свернуть окно, разместив его пиктограмму в нижней части. Нажатие на кнопку  закрывает текущее окно или завершает работу с программой MS5.

Линейки прокрутки. Две линейки прокрутки позволяют панорамировать окно схем или текста по горизонтали и вертикали.

Линейки прокрутки листов схемы. Если схема состоит из нескольких листов, то они перелистываются с помощью линейки прокрутки, расположенной слева в нижней части окна. Номер текущего листа схемы отображается на панели, расположенной снизу от окна посередине.

Кнопка переключения “окно схем - окно текста”. Нажатие сочетания клавиш (**Ctrl + G**) выводит текстовое окно, в котором можно размещать описание математических моделей компонентов текущей схемы, директивы и другую текстовую информацию. Вторичное нажатие кнопки переключает обратно в окно схем.

Кнопка просмотра списка флагов. Нажатие на кнопку  открывает список флагов (маркеров) для быстрой навигации на больших схемах. Выбор одного из них панорамирует схему так, чтобы помеченный маркером участок схемы оказался в поле зрения рабочего окна.

Управление программой осуществляется с помощью **мыши**. Нажатие *левой* кнопки мыши в дальнейшем для краткости называется просто нажатием кнопки мыши. Используются следующие термины:

щелчок - быстро нажать и отпустить кнопку мыши;

двойной щелчок - дважды нажать кнопку мыши в быстром темпе;

перетаскивание - нажать и удерживать кнопку мыши при её перемещении;

указание - передвинуть мышь так, чтобы её курсор располагался в нужной точке окна.

При нажатии *правой* кнопки мыши в окне схем курсор приобретает форму руки, и его перемещение при нажатой кнопке позволяет перемещать (панорамировать) схему. Нажатие правой кнопки мыши в окне текста позволяет средствами Windows выделять весь текст, вырезать его, копировать, вставлять и удалять.

Выбор отдельного объекта выполняется щелчком мыши, выбор блока - заключением его в прямоугольную рамку (для этого нужно щёлкнуть кнопкой мыши, поместив курсор в один из углов прямоугольной области, не отпуская её, растянуть рамку до необходимых размеров, после чего отпустить кнопку). Выбранный объект изменяет цвет; его можно перетаскивать с помощью мыши и редактировать с помощью команд меню **Edit**.

Для ускорения работы с программой используется не только мышь, но и **клавиатура**. Если команда меню имеет подчёркнутый символ, то эта команда вызывается одновременным нажатием клавиш **Alt** + подчёркнутый символ. Например, меню **E**dit открывается нажатием клавиш **Alt** + **E**. Этому методу имеется альтернатива:

- нажатием **Alt** переместить курсор в меню команд;
- нажатием клавиш ←, → выбрать нужное меню;
- нажатием **Enter** открыть выбранное меню.

Команда ниспадающего подменю, например **S**elect **A**ll, вызывается нажатием подчёркнутого символа, в данном примере символа **A**. Другой способ - нажатием клавиш ↑, ↓ выбрать нужную строку и затем нажать **Enter**.

Многие команды вызываются, помимо пиктограмм, нажатием “горячих” клавиш и комбинаций клавиш. Например, команда удаления с копированием в буфер **E**dit - **C**ut вызываются нажатием пиктограммы  или комбинации клавиш **Ctrl** + **X**, команды вызова оглавления помощи **H**elp - **C**ontents - клавишей **F1**. Закрытие меню выполняется щелчком мыши где-нибудь вне меню или нажатием клавиши **Esc**.

2. СОЗДАНИЕ ПРИНЦИПИАЛЬНЫХ СХЕМ

2.1. Режимы работы редактора схем, система меню

После вызова программы **MC5** на экран выводится окно редактора схем, показанное на рис. 1.1. Схемы создаются и редактируются с помощью набора команд, сгруппированных в системе ниспадающих меню. Наиболее употребительные команды вызываются нажатием на пиктограммы или комбинации “горячих” клавиш. Имеется несколько основных режимов редактора схем, в каждом из которых доступны определенные команды. Доступные команды и соответствующие им пиктограммы ярко высвечиваются, недоступные затенены. Список этих режимов приведен в табл. 2.1.

Список пиктограмм

<i>Режим</i>	<i>Назначение</i>
<i>Редактирование и опрос</i>	
 Select mode (Выбор)	Выбор объектов для выполнения следующих операций: редактирование, очистка (без копирования в буфер обмена), удаление (с копированием в буфер обмена), перемещение, вращение, мультиплицирование, зеркальное отражение. Объект выбирается щелчком мыши. Для добавления объекта в группу предварительно нажимается клавиша Ctrl
 Component mode (Компоненты)	Добавление компонентов в схему
 Text mode (Текст)	Нанесение текстовых надписей: имен цепей, описаний моделей компонентов, комментариев
 Wire mode (Цепи)	Ввод ортогональных проводников (цепей)
 Diagonal wire mode (Диагональные цепи)	Ввод цепей под произвольным углом
 Graphics mode (Графика)	Рисование графических объектов: линий, прямоугольников, ромбов, эллипсов, дуг, секторов круга
 Flag mode (Флаги)	Ввод маркеров для быстрой навигации на схеме
 Info mode (Информация)	Вывод информации о параметрах выбранного компонента с возможностью редактирования
 Help mode (Помощь)	Вызов текстовой информации о модели компонента, выбранного щелчком курсора. Нажатие Alt + F1 выводит описание синтаксиса директивы, указанной курсором в окне текста, в формате SPICE или схемного ввода
 Point to End Paths (Все связи)	Расчет задержек сигналов во всех путях, подходящих к выбранному цифровому компоненту
 Point to Point Paths (Связи между двумя компонентами)	Расчет задержек сигналов путей, соединяющих два выбранных цифровых компонента

Окончание табл. 2.1

<i>Отображение информации</i>	
 Grid text mode (Текст)	Высвечивание всех текстовых надписей
 Attribute text mode (Позиционные обозначения)	Высвечивание позиционных обозначений всех компонентов
 Node numbers (Номера узлов)	Вывод номеров узлов схемы
 Node voltage/ states (Узловые потенциалы/ логические состояния)	Вывод узловых потенциалов аналоговых узлов и логических состояний цифровых узлов в режиме по постоянному току
 Pin connections (Выходы компонентов)	Обозначение выводов всех компонентов
 Command text mode (Команды)	Высвечивание всех команд, размещенных на схеме
 Cross-hair cursor (Курсор в виде перекрестья)	Изображение курсора в виде перекрестья на весь экран
 Grid (Сетка)	Высвечивание сетки
 Border (Рамка схемы)	Заклочение чертежа схемы в рамку
 Title (Угловой штамп)	Нанесение изображения углового штампа (основной надписи)

Режимы редактирования и опроса включаются поочередно. Одновременно два режима не могут быть включены. Глядя на их пиктограммы, легко определить, какой режим включен. В состоянии "включено" кнопка пиктограммы утоплена и окрашена в зеленый цвет. В состоянии "выключено" цвет пиктограммы черный.

Далее приведены описания меню, доступных при редактировании принципиальных схем.

2.1.1. Меню File

Меню **File** содержит команды для работы с файлами схем, текстовыми заданиями в формате SPICE, файлами библиотек математических моделей и текстовыми документами. Список команд меню приведен в табл. 2.2.

Таблица 2.2

Список команд меню File

<i>Команда</i>	<i>Назначение</i>	
New ... (Ctrl + N)	Создание нового файла	
 Open ... (Ctrl + O)	Открытие существующего файла (по умолчанию открывается каталог, из которого в последний раз производилась загрузка)	
	Schematic (*.CIR)	Загрузка файлов схем в формате MC5
	SPICE (.CKT, *.LIB, *.STM)	Загрузка текстовых файлов в формате SPICE
	Model Library (*.LBR)	Загрузка бинарных файлов библиотек моделей (с возможностями редактирования)
	Model Data (*.MDL)	Загрузка бинарных файлов библиотек моделей и справочных данных и вызов программы MODEL
 Save (Ctrl + S)	Сохранение схемы из активного окна с использованием имени и пути, указанного в заголовке	
Save As ...	Сохранение схемы из активного окна в новом файле, имя которого указывается по дополнительному запросу	
 Create SPICE file ...	Создание текстового файла в формате SPICE 2G или PSpice для схемы из текущего окна. Возможно задание одного или нескольких видов анализа по дополнительному запросу. По умолчанию создается файл, имя которого совпадает с именем схемы, расширение имени .CKT	

Окончание табл. 2.2

 Revert	Восстановление содержания файла текущего окна с диска. Если команда Undo позволяет восстановить только последнее изменение, то данная команда восстанавливает все изменения
Close (Ctrl + F4)	Закрытие текущего окна
Print Preview	Предварительный просмотр изображения схемы перед печатью на бумагу выбранного формата
Print (Ctrl + P)	Вывод на печать схемы, просмотренной в режиме Print Preview, в соответствии с параметрами, заданными в окне Print Setup
Print Setup...	Выбор принтера, размера и ориентации бумаги
Файл 1,..., Файл 8	Список последних восьми загруженных файлов
Exit (Alt + F4)	Завершение работы с программой MC5

2.1.2. Меню Edit

Меню **Edit** содержит команды редактирования. Список его команд приведен в табл. 2.3.

Таблица 2.3

Список команд меню Edit

<i>Команда</i>	<i>Назначение</i>
 Undo (Ctrl + Z)	Отмена последней команды редактирования. Повторное выполнение команды восстанавливает первоначальный вариант
 Cut (Ctrl + X)	Удаление выбранного объекта и размещение его в буфер обмена Windows
 Copy (Ctrl + C)	Копирование выбранного объекта в буфер обмена
 Paste (Ctrl + V)	Копирование содержания буфера обмена в текущее окно, точка привязки указывается курсором и отмечается щелчком мыши
 Clear (Del)	Удаление выбранного объекта без копирования
Select All (Ctrl + A)	Выбор всех объектов текущего окна
Copy Front Window to Clipboard	Копирование содержания текущего окна в буфер обмена в стандартном графическом формате .BMP

Add Page	Добавление к схеме новой страницы
Delete Page...	Удаление одной или нескольких страниц схемы
Add Model Statements	Размещение в окне текста описания моделей компонентов, которые еще не были помещены в него. Модели просматриваются во всех библиотеках, указанных по командам .LIB, в том числе указанные в файле NOM.LIB. Если модель компонента не найдена, помещается модель с параметрами, назначаемыми по умолчанию
Box Operations	Редактирование объектов, заключенных в прямоугольную рамку ("ящик")
 Step Box...	Копирование фрагмента схемы указанное количество раз. Копирование производится по горизонтали, по вертикали или в обоих направлениях
 Mirror Box...	Создание зеркального отражения фрагмента схемы. По запросу выбирается направление отражения по горизонтали или по вертикали, а также необходимость копирования текста
 Rotate (Ctrl + R)	Вращение фрагмента схемы на 90° против часовой стрелки
 Flip X (Ctrl + F)	Зеркальное отображение относительно оси X, расположенной посередине выбранной области
 Flip Y	Зеркальное отображение относительно оси Y, расположенной посередине выбранной области
 Change Attribute Display	Изменение статуса (видимости) пяти основных атрибутов всех компонентов схемы PART, VALUE, MODEL, TIMING MODEL, I/O MODEL
 Color...	Изменение цвета выбранного фрагмента в окне текста или в окне схем

Окончание табл. 2.3

F Font...	Изменение названия шрифта выбранного текста, его размера, стиля и цвета
 Bring to Front	Щелчок мыши на выбранных перекрывающихся объектах перемещает нижний объект наверх
 Send to Back	Щелчок мыши на выбранных перекрывающихся объектах перемещает верхний объект вниз
 Find...	Поиск в текущем окне схем или текста разнообразных объектов: компонентов, атрибутов, фрагментов текста, имен узлов
Repeat Last Find (F3)	Поиск следующего объекта, удовлетворяющего заданному критерию
Replace	Замена фрагмента текста

2.1.3. Меню Component

Меню **Component** содержит каталог библиотек аналоговых и цифровых компонентов. Каталог имеет иерархическое меню, пример которого приведен на рис. 2.1.

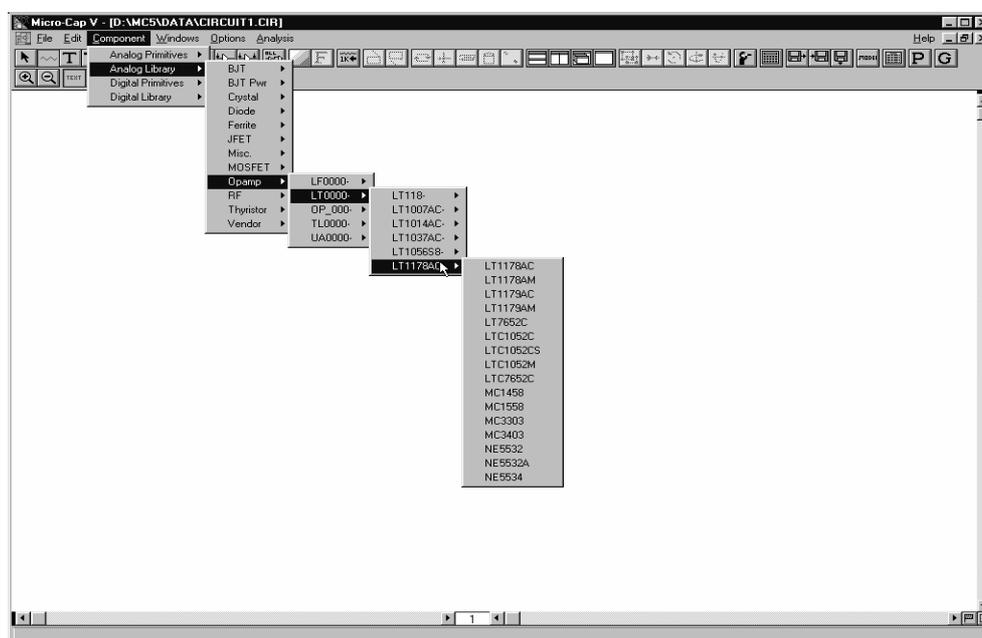


Рис. 2.1. Пример структуры меню

Библиотека создается с помощью редактора компонентов, вызываемого из меню **Windows** по команде **Component Editor**. Библиотеки **Analog Primitives**

и **Digital Primitives** содержат модели типовых компонентов без указания значения их параметров. Библиотеки **Analog Library** и **Digital Library** содержат модели примерно 7700 коммерческих аналоговых и цифровых компонентов. Параметры моделей компонентов содержатся в текстовых файлах с расширением имени .LIB (их полный список помещается в файле NOM.LIB). Список команд меню **Component** приведен в табл. 2.4.

Таблица 2.4

Список команд меню Component

<i>Команда</i>		<i>Назначение</i>
Analog Primitives		Типовые аналоговые компоненты
	Passive Components	Пассивные компоненты (резисторы, конденсаторы, диоды и т. п.)
	Active Devices	Активные устройства (транзисторы, операционные усилители)
	Waveform Sources	Источники сигналов
	Laplace Sources	Линейные управляемые источники, задаваемые преобразованием Лапласа
	Function Sources	Функциональные источники сигналов
	Dependent Sources	Линейные и нелинейные зависимые источники
	Macros	Макромодели, заданные схемами замещения
	Subckts	Макромодели, заданные текстовым описанием на языке PSpice
	Connectors	Соединители
	Miscellaneous	Смесь
Analog Library		Библиотека моделей аналоговых компонентов разных фирм
Digital Primitives		Типовые цифровые компоненты
	Standard Gates	Стандартные вентили
	Tri-State Gates	Вентили с тремя состояниями
	Edge-Triggered Flip-Flops	Триггеры с динамическим управлением

Окончание табл. 2.4

	Gated Flip-Flops/Latches	Триггеры с потенциальным управлением
	Pullups/ Pulldowns	Источники постоянных логических сигналов
	Delay Line	Цифровые линии задержки
	Programmable Logic Arrays	Программируемые логические матрицы
	Logic Expression	Логические выражения
	Pin Delay	Задание задержек распространения сигналов
	Constraints	Контроль временных соотношений
	AtoD Converters	Аналого-цифровые преобразователи
	DtoA Converters	Цифро-аналоговые преобразователи
	Stimulus Generators	Генераторы цифровых сигналов
Digital Library		Библиотека моделей цифровых компонентов

Для выбора компонента, размещаемого на схему, нажимают клавиши стрелок и затем **Enter** или щелкают кнопкой мыши. После выбора компонента программа MC5 переходит в режим **Component**. Размещение выбранного компонента на схему производится щелчком мыши в окне схем. Перемещение мыши при удерживаемой левой кнопке приводит к перемещению компонента на схеме. Одновременное нажатие правой кнопки мыши поворачивает компонент на 90° против часовой стрелки. Отпускание левой кнопки мыши фиксирует компонент на схеме. После этого открывается окно для задания позиционного обозначения, параметров компонента или имени модели, показанное на рис. 2.2. При выборе в окне одного из параметров компонента на строке сообщений производится формат его ввода.

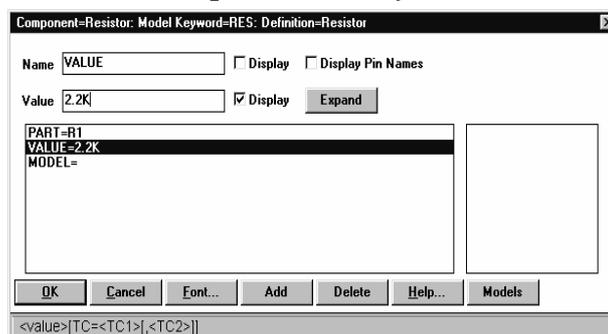


Рис. 2.2. Задание атрибутов компонента на примере резистора

2.1.4. Меню Windows

Меню **Windows** содержит команды работы с окнами. Список его команд приведен в табл. 2.5.

Таблица 2.5

Список команд меню Windows

<i>Команда</i>	<i>Назначение</i>
 Cascade (Shift+F5)	Каскадное расположение открытых окон
 Title Vertical (Shift+F4)	Последовательное расположение открытых окон по вертикали
 Title Horizontal	Последовательное расположение открытых окон по горизонтали
Arrange Icons	Упорядочивание размещения “иконок” свернутых окон в нижней части экрана
 Maximize	Максимизация выбранного окна схем или “иконки”
 Zoom-In (Ctrl + +)	Увеличение масштаба изображения
 Zoom-Out (Ctrl + -)	Уменьшение масштаба изображения
View Text/ Drawing Area (Ctrl + G)	Переключение между окном схем и соответствующим ему окном текста
Split Text/ Drawing Area Horizontal	Разделение рабочего окна на окно схем и окно текста, протяженные по горизонтали
Split Text/ Drawing Area Vertical	Разделение рабочего окна на окно схем и окно текста, протяженные по вертикали
Show Full Window Drawing	Распахивание окна схем на весь экран с одновременным закрытием окна текста. Левые верхние точки форматки схемы и окна схем совмещаются, при этом масштаб изображения схемы не изменяется
Component Editor...	Переход в режим редактирования библиотеки компонентов
Shape Editor...	Переход в режим редактирования графики символов компонентов
Model Program...	Вызов программы идентификации параметров моделей аналоговых компонентов “MODEL” по паспортным и экспериментальным данным

Окончание табл. 2.5

 Calculator...	Вызов встроенного калькулятора
1 <заголовок окна>... 9<заголовок окна> Все окна...	Активизация и размещение на переднем плане схемы или текстового файла, выбираемого из списка открытых файлов

2.1.5. Меню *Options*

Меню **Options** содержит команды выборов режима редактирования и задания различных параметров программы МС5. Список его команд приведен в табл. 2.6.

Таблица 2.6

Список команд меню *Options*

<i>Команда</i>	<i>Назначение</i>
Tools (Ctrl + O)	Включение/выключение строки инструментов
Help Bar	Включение/выключение строки описания текущей команды
Mode	Выбор режима
 Select (Ctrl + E)	Выбор объектов для последующего редактирования
 Component (Ctrl + D)	Добавление компонента в схему
 Text (Ctrl + T)	Нанесение на схему текстовых надписей (имен цепей, описаний моделей компонентов и произвольных текстовых комментариев)
 Wire (Ctrl + W)	Ввод ортогональных цепей
 Wire D	Ввод цепей произвольной ориентации
 Line, Rectangle, Diamond) Ellipse, Arc, Pie	Рисование графических объектов: линий, прямоугольников, ромбов, эллипсов, дуг, секторов
 Flag	Ввод маркеров для быстрой навигации по схеме
 Scale (F7)*	Вывод на весь экран части графика, заключенного в рамку

 Cursor (F8)*	Режим электронного курсора
 Text Abs*	Ввод текста в абсолютных координатах. Точка привязки текста задается курсором при щелчке мыши. При изменении масштаба изображения положение текста остается неизменным относительно графического окна
 Text Rel*	Ввод текста в относительных координатах. Точка привязки текста задается курсором. При изменении масштаба изображения положение текста остается неизменным
 Point Tag*	Нанесение на график значений координат X, Y выбранной точки
 Horizontal Tag*	Нанесение расстояния по горизонтали между двумя выбранными точками графика
 Vertical Tag*	Нанесение расстояния по вертикали между двумя выбранными точками графика
 Help (Ctrl + H)	Вызов текстовой информации о выбранной модели компонента
 Info  Point to End Paths  Point to Point Paths	Вывод информации о параметрах выбранного компонента Расчет задержек сигналов во всех путях, подходящих к выбранному цифровому компоненту Расчет задержек сигналов путей, соединяющих два выбранных цифровых компонента
<i>View</i>	Выбор информации, видимой на схеме
 Attribute Text	Позиционные обозначения компонентов

Окончание табл. 2.6

 Grid Text	Текстовые надписи
 Command Text (Alt + .)	Команды моделирования, размещаемые на схеме
 Node Numbers	Номера узлов схемы
 Node Voltages/ States	Узловые потенциалы аналоговых узлов и логические состояния цифровых узлов в режиме по постоянному току
 Pin Connections	Выводы компонентов
 Grid	Узлы сетки
 Cross-hair Cursor	Курсор в виде перекрестья во весь экран
 Border	Нанесение рамки на чертеж схемы
 Title	Изображение углового штампа (основной надписи)
 Show All Digital Paths	Составление списка всех возможных путей распространения цифровых сигналов с указанием задержек. Каждый путь начинается в цифровом генераторе или триггере. Выбранный в списке путь высвечивается на схеме
 Preferences... (Ctrl + Shift + P)	Открытие диалогового окна для изменения назначения цвета разных объектов, шрифтов и других параметров, значения которых сохраняются в файле текущей схемы. Подробный перечень этих параметров приведен в табл. 2.7
 Global Settings...	Задание глобальных параметров, определяющих режим моделирования. Их перечень приведен в табл. 2.8
Title Block...	Открытие диалогового окна для заполнения граф основной надписи
Component Palette 1—9	Вывод на окно схем от 1 до 9 панелей со списком компонентов для их быстрого выбора при составлении схемы. Состав компонентов в панелях определяется в режиме Component Editor

Перечень параметров (диалоговое окно Preferences)

<i>Команда</i>	<i>Назначение</i>	<i>Значение по умолчанию</i>
Operational Options	Задание управляющих параметров	
File Warning	Включение предупреждения о необходимости сохранения измененных файлов	Yes
Sound	Включение звукового сигнала предупреждения	Yes
Quit Warning	Вывод запроса подтверждения выхода из программы	Yes
Floating Nodes	Вывод информации о наличии в схеме "плавающих" узлов (т.е. узлов, к которым подсоединен только один компонент)	No
Pivot Solver	Выбор специального метода решения системы линейных уравнений, обеспечивающего большую точность анализа в частотной области (за счет увеличения времени моделирования)	No
Node Snap	Автоматическое обеспечение электрического соединения с выводом компонента или концом проводника, если начальная точка проводимой линии не совмещена с ними, но попала в соседний узел сетки	Yes
Select Mode	Автоматический переход в режим Select после завершения другого режима	No

Окончание табл. 2.7

	Auto Show Model	Помещение модели каждого размещенного на схеме компонента в окно текста	Yes
	Lock Tool Bar	Запрет перемещения строк инструментов	Yes
	Print Background	Печать цветного фона схем и графиков	No
Printout Options		Размещение в верхнем левом углу графиков результатов моделирования даты (Time Stamp) и / или времени (Date Stamp)	No/No
Tag Numeric Format		Количество значащих цифр после десятичной точки при нанесении на графиках значений координат выбранных точек по команде Point Tag . Допускается инженерная нотация с добавлением символа “e” после числа	3
Nodes Recalc Threshold		Максимальное количество узлов схемы, при превышении которого не будут переопределяться номера узлов схемы при добавлении или удалении компонентов или цепей. При включении режима View Node Numbers этот параметр игнорируется	16960
Node Voltages Numeric Format		Количество значащих цифр после десятичной точки при нанесении на схему значений узловых потенциалов. Допускается инженерная нотация добавлением символа “e” после числа	3
Current Analysis Scale Color		Задание цвета, назначаемого по умолчанию различным объектам: цепи, текст, выбранные объекты, фон и т. п.	Yes

Перечень параметров (диалоговое окно Global Settings)

<i>Имя опции</i>	<i>Наименование</i>	<i>Размерность</i>	<i>Значение по умолчанию</i>
ABSTOL	Допустимая ошибка расчета токов в режиме Transient	А	10^{-12}
CHGTOL	Допустимая ошибка расчета заряда в режиме Transient	Кл	10^{-14}
CPTIME	Максимальное время работы процессора, разрешенное для выполнения данного задания	С	10^9
DEFAD	Диффузионная площадь стока МОП – транзистора	М ²	0
DEFAS	Диффузионная площадь истока МОП – транзистора	М ²	0
DEFL	Длина канала МОП- транзистора	М	10^{-4}
DEFW	Ширина канала МОП- транзистора	М	10^{-4}
DIGDRVF	Минимальное выходное сопротивление цифровых устройств (для моделей UIO)	Ом	2
DIGDRVZ	Максимальное выходное сопротивление цифровых устройств (для моделей UIO)	кОм	20
DIGERR-DEFAULT	Максимальное количество контролируемых ошибок цифровых устройств	–	20
DIGERR-LIMIT	Максимальное количество сообщений об ошибках в цифровых устройствах	–	10000
DIGFREQ	Максимальная частота дискретизации при анализе цифровых устройств (минимальный временной шаг равен $1/ \text{DIGFREQ}$)	Гц	10
DIGINIT-STATE	Установка начального состояния триггеров: 0–сброс; 1–установка; 2–Х	–	2

Продолжение табл. 2.8

DIGIOLVL	Уровень интерфейса А/Ц, Ц/А по умолчанию	–	1
DIGMN-TYMX	Селектор выбора задержки цифрового устройства по умолчанию: 1 - минимум, 2-типичное значение; 3 максимум; 4 - мин/макс (наихудший случай для цифровых устройств)	–	2
DIGMN-TYSCALE	Масштабный коэффициент для расчета минимальной задержки	–	0,4
DI-GOVRDRV	Отношение выходных сопротивлений устройств, при котором изменяется состояние общего выходного узла	–	3
DIGTYMX-SCALE	Масштабный коэффициент для расчета максимальной задержки	–	1.6
GMIN	Минимальная проводимость ветви цепи (проводимость ветви, меньшая GMIN, считается равной нулю)	См	10^{-12}
ITL1	Максимальное количество итераций в режиме DC	–	100
ITL2	Максимальное количество итераций при расчете передаточных функций по постоянному току при переходе к последующей точке	–	50
ITL4	Максимальное количество итераций при переходе к следующему моменту времени в режиме Transient	–	10
ITL5	Общее максимальное количество всех итераций в режиме Transient (установка ITL5 = 0 означает бесконечность)	–	0
LIMPTS	Максимальное количество точек, выводимых в таблицу или на график	–	0
NUMDGT	Количество значащих цифр после десятичной точки в таблицах выходных данных плюс единица	–	4

Продолжение табл. 2.8

PIVREL	Относительная величина элемента строки матрицы, необходимая для его выделения в качестве ведущего элемента (режим AC)	—	10^{-3}
PIVTOL	Абсолютная величина элемента строки матрицы, необходимая для его выделения в качестве ведущего	—	10^{-13}
RELTOL	Относительная ошибка расчета напряжений и токов в режиме Transient	—	10^{-3}
SD	Отношение диапазона разброса случайных параметров к среднеквадратичному отклонению	—	2.58
TNOM	Номинальная температура	°C	27
TRTOL	Коэффициент, определяющий допустимую ошибку усечения в режиме Transient	—	7
VNTOL	Допустимая ошибка расчета напряжений в режиме Transient	V	10^{-6}
WIDTH	Длина строки выходного файла (80 или 132)	—	80
NO-OUTMSG	Подавление передачи сообщений об ошибках моделирования	—	No
PRIVATE-ANALOG	Создание копий моделей всех аналоговых компонентов. При наличии таких копий вариация параметров модели относится только к одному выбранному компоненту, в противном случае — ко всем компонентам, имеющим такую модель. При наличии в модели параметра DEV такие копии создаются автоматически, независимо от значения параметра PRIVATEANALOG	—	Yes

Окончание табл. 2.8

PRIVATE-DIGITAL	Создание копий моделей всех цифровых компонентов. При наличии таких копий вариация параметров модели относится только к одному выбранному компоненту, в противном случае — ко всем компонентам, имеющим такую модель. При наличии в модели параметра DEV такие копии создаются автоматически, независимо от значения параметра PRIVATEDIGITAL	—	No
TRYTO-COMPACT	Представление в компактной форме информации о распределении токов и напряжений в длинных линиях с потерями	—	No

2.1.6. Меню *Analysis*

Меню **Analysis** содержит перечень режимов моделирования, список которых приведен в табл. 2.9.

Таблица 2.9

Список команд меню **Analysis**

<i>Команда</i>	<i>Назначение</i>
Transient Analysis... (Alt+1)	Анализ переходных процессов
AC Analysis... (Alt+2)	Анализ частотных характеристик
DC Analysis... (Alt+3)	Анализ передаточных функций по постоянному току
Probe Transient Analysis...	Анализ переходных процессов и отображение их результатов в режиме Probe
Probe AC Analysis...	Анализ частотных характеристик и отображение их результатов в режиме Probe
Probe DC Analysis...	Анализ передаточных функций по постоянному току и отображение их результатов в режиме Probe

2.1.7. Меню Help

Меню **Help** содержит команды работы со средствами встроенной помощи, список которых приведен в табл. 2.10.

Таблица 2.10

Список команд меню Help

<i>Команда</i>	<i>Назначение</i>
Contents (F1)	Вывод содержания встроенной документации по программе MC5
Search for Help On... Product Support	Вызов справочной и поисковой системы Информация о технической поддержке работы с программой MC5, список адресов дистрибьюторов
About Micro-Cap V...	Справочная информация о номере версии программы MC5
Demo	Запуск демонстрации о работе программы MC5

2.1.8. Назначение функциональных клавиш

Несмотря на то, что программа MC5 управляется с помощью мыши, в ряде случаев удобно пользоваться и клавиатурой. Назначение "горячих" клавиш описано в предыдущих разделах, а здесь приведем назначение функциональных клавиш клавиатуры:

F1 — вызов меню помощи **Help**;

F2 — начало моделирования после выбора одного из видов анализа в меню **Analysis**;

F3 — выход из режимов **AC**, **DC** или **Transient Analysis** и возвращение в окно схем **Schematic Editor**. В окне схем нажатие клавиши **F3** повторяет поиск объекта;

F4 — отображение окна графиков результатов анализа (например, если было открыто окно текстового выходного файла);

Ctrl + F4 — закрытие активного окна;

F5 — отображение текстового выходного файла в окне **Numeric Output**;

F6 — возвращение к исходному масштабу в выбранном окне графиков;

Ctrl + F6 — циклическое переключение открытых окон;

F7 — переключение в режим **Scale** масштабирования фрагмента графика на весь экран;

F8 — переключение в режим электронного курсора **Cursor** измерения координат графиков;

F9 — очистка окна графиков в режиме **Probe** и вызов окна задания параметров **Analysis Limits** в режиме анализа характеристик;

F11 — открытие окна варьирования параметров **Parameter Stepping**;

F12 — вызов редактора переменных состояния **State Variables Editor**.

2.2. Создание чертежа схемы

Новая схема создается по команде **File - New** (см. рис. 2.1). При этом возможно как графическое изображение схемы (режим **Schematic**), так и ее текстовое описание (**Spice/Text**). Созданные же ранее схемы загружаются по команде **File - Open**. Краткое описание всех команд редактора схем приведено в разд. 2.1. Обсудим здесь подробнее основные этапы создания и редактирования принципиальных схем.

Подготовительные операции. В результате выполнения команды **File - New** открывается пустой экран, на котором создается новая схема. Первоначально рекомендуется нажатием на пиктограмму  (команда **View- Grid** меню **Options**) нанести на экран координатную сетку для упрощения построения схемы. Шаг сетки установлен фиксированным: равным 0,1 дюйма или 2,5 мм.

Примечание. В соответствии с принятым шагом сетки создана графика символов компонентов. Так, резистор изображен в виде прямоугольника размерами 2,5x7 мм, меньшими, чем требуется по ЕСКД. Однако рисовать более крупные символы не имеет большого смысла, так как при выводе созданных с помощью MS5 схем на современные принтеры они изображаются весьма разборчиво и достаточно компактно.

Добавление компонентов в схему. Перед добавлением элемента на схему его нужно выбрать в меню **Component** (см. разд. 2.1.3). Наиболее часто встречающиеся компоненты имеет смысл разместить на специальных панелях командой **Ctrl+1...9** (см. табл. 2.6) для ускорения их поиска. Выбранный тем или иным способом компонент размещается на схеме *щелчком мыши*. Нажатую кнопку мыши *не нужно отпускать*, пока компонент с

помощью курсора не будет перемещен в нужное место схемы. Компонент поворачивается на 90° нажатием правой кнопки (до отпускания левой кнопки). Фиксация компонента на схеме выполняется отпусканием кнопки мыши.

Ввод и редактирование атрибутов компонента. После ввода на схему компонента появляется диалоговое окно атрибутов, как показано на рис. 2.2 и 2.3. Простейшие компоненты, такие как резистор, конденсатор и т. п. (рис. 2.2), имеют минимальный набор атрибутов, к которым относятся позиционное обозначение **PART** (например, R1, R2, RC, C1) и номинальное значение параметра **VALUE** (например, 2.2k, 100pF, 15u). При этом следует иметь в виду, что если, например, при вводе резистора указано позиционное обозначение R1, то при вводе следующего резистора программа предложит назначить R2 и т.д. По умолчанию программа MC5 назначает первый символ позиционного обозначения по правилам, принятым в программе PSpice [8]. Однако по желанию пользователя можно вручную изменить позиционные обозначения, например обозначая транзисторы согласно ЕСКД вместо 01, 02 как VT1, VT2 и т.п. При этом транслятор схем в формате PSpice (по команде **Create SPICE file** меню **File +**) автоматически добавит перед таким

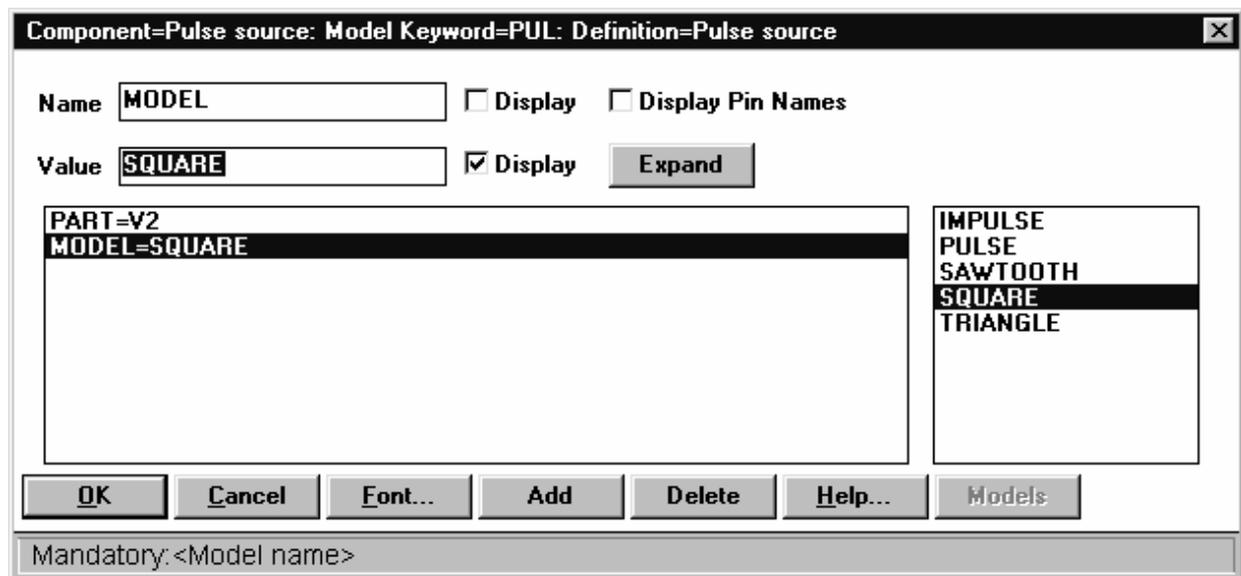


Рис. 2.3. Выбор модели компонента

именем префикс, например QVT1, OVT, что позволит провести моделирование и в программе PSpice без дополнительного редактирования.

С помощью панелей управления **Display** задается видимость имени и значения атрибута на схеме.

На панели управления **Display Pin Names** задается видимость на схеме *имен выводов компонента*. Обычно эта панель находится в состоянии "выключено".

Нажатие на кнопку **Expand** открывает окно для ввода текста большого объема. Обычно оно используется в случаях, когда значение атрибута занимает много места, например табличное задание управляемых источников или описание цифрового сигнала. Для этого на строке **Value** вводится идентификатор переменной, а в окне **Expand** описывается оператор `.DEFINE` с описанием этой переменной.

В окне, расположенном справа от окна атрибутов, приводится список моделей, из которого выбирают подходящую модель данного компонента. Заметим, что этот список выводится автоматически, когда компонент впервые размещается на схеме и его модель не выбрана (на строке **MODEL** после знака равенства ничего не указано). При необходимости изменения имени модели компонента этот список выводится нажатием кнопки **Model**.

Каждому компоненту можно добавить ряд атрибутов, не оказывающих влияние на результаты моделирования, например тип корпуса, допустимая рассеиваемая мощность. Для добавления нового атрибута нажимается кнопка **Add**, в результате на строке **Name** появится стандартное имя атрибута пользователя **USER**, строка **Value** заполняется самостоятельно. При необходимости имя этого атрибута также может быть изменено. С помощью кнопки **Delete** выбранный атрибут удаляется. Изменение шрифта атрибута, его размера и стиля выполняется после нажатия кнопки **Font**.

Редактирование существующих атрибутов выполняется после двойного щелчка мышью при расположении курсора на выбранном атрибуте.

Ввод и редактирование электрических цепей (проводников). Режим ввода проводников включается щелчком мыши по пиктограмме , или выбором команды **Options-Mode-Wire**, или нажатием комбинации клавиш **Ctrl + W**. Начало проводника отмечается щелчком мыши на выводе компонента. Не отпуская левую клавишу мыши, наносят проводник на чертеж. Если курсор движется по горизонтали или вертикали, прокладывается прямолинейный проводник. Если же он движется по диагонали, образуется один изгиб под углом 90°. Отпускание клавиши фиксирует окончание линии.

Ввод проводников под произвольным углом выполняется в режиме **Options-Mode-WireD** (включается нажатием на пиктограмму ).

Ввод и редактирование текстовых надписей. На схему наносятся текстовые надписи двух типов. Во-первых, это *атрибуты* отдельных компонентов (см. выше). Во-вторых, это *имена цепей* и *описания моделей компонентов* и любые произвольные текстовые комментарии, называемые в оригинальной документации *grid text*.

Нанесение текстовых надписей второго типа производится в режиме **Options-Mode-Text**, активизируемом также нажатием комбинации клавиш **Ctrl + T** или щелчком мыши по пиктограмме . Курсор помещается в точку схемы, где должен начинаться текст и нажимается левая клавиша мыши. Текст заносится в открывающемся окне, завершение его ввода производится клавишей **Enter**. Для ввода фрагмента текста с новой строки, необходимо подвести курсор к нужному месту и нажать клавиши **Ctrl + Enter**.

При вводе имен цепей необходимо подвести курсор к любой точке выбранной цепи. Присваивание цепям имен упрощает читаемость схемы. Целесообразно присваивать имена наиболее характерным цепям схемы (вход, выход и т.п.). На них можно ссылаться при выводе результатов моделирования наравне с номерами узлов (цепей). Высвечивание имен цепей, как и остальных текстовых надписей, выполняется нажатием пиктограммы  (режим **Options-View-Grid Text**).

Текстовые надписи переносятся со схемы в окно текста и обратно выбором текста и нажатием комбинации клавиш **Ctrl + B**. Напомним, что переключение между окнами схем и текста выполняется нажатием **Ctrl + G**.

Для редактирования текстовой надписи нужно перейти в режим выбора нажатием пиктограммы  и дважды щелкнуть мышью на выбранном тексте, который затем выводится в диалоговом окне.

Нанесение на схему текстовых описаний моделей компонентов. При размещении на схеме компонентов, имеющих модели, их текстовые описания автоматически наносятся в текстовое окно (и сохраняются в файле схемы с расширением имени .CIR), если при вводе компонента появляется диалоговое окно для выбора его модели (см. рис. 2.3). Модели выбираются при вводе типовых компонентов (например, транзистора типа $n - p - n$), размещенных в библиотеках Analog Primitives и Digital Primitives.

При вводе компонентов из библиотек Analog Library и Digital Library, в которых находятся конкретные компоненты (например, транзистор

KT316A), описания их моделей переносятся в текстовое окно по команде **Add Model Statements** меню **Edit** или нажатием на пиктограмму . В результате в окно текста переносятся описания моделей всех компонентов схемы, которые их еще не имеют. Эти описания берутся из библиотек, загруженных в текущем сеансе (их имена перечислены в файле NOM.LIB или в отдельных директивах .LIB).

Если модель компонента не найдена, в окно помещается модель с параметрами, назначаемыми по умолчанию. Поэтому перед выполнением моделирования необходимо просмотреть в окне текста все перенесенные туда модели компонентов и при необходимости их отредактировать. Имена вновь созданных файлов библиотек нужно указать в файле NOM.LIB или непосредственно в окне текста с помощью директивы .LIB.

Текстовые описания моделей, созданных вручную или перенесенных из программы PSpice, заносятся в библиотечные файлы с расширением имени .LIB или в файлы моделей отдельных компонентов с расширением .MOD. Модели компонентов, созданные с помощью программы Model Editor, заносятся в сокращенные или полные бинарные файлы библиотек с расширением имени .LBR, .MDL. Причем программа Model Editor составляет модели только полупроводниковых приборов, операционных усилителей и магнитных сердечников. Модели же источников сигналов (гармонических и импульсных) составляются вручную. При этом в программе MC5 для них имеется несколько стандартных моделей, список которых пользователь не имеет возможности пополнять, их можно только редактировать:

<i>Sin source (гармонические сигналы)</i>	<i>Pulse source (импульсные сигналы)</i>
1MHZ – частота 1 МГц, амплитуда 1 В 3PHASEA – трехфазный сигнал А 3PHASEB – трехфазный сигнал В 3PHASEC – трехфазный сигнал С 60HZ – частота 60 Гц, амплитуда 120 В GENERAL – частота 10 МГц, амплитуда 1 В	IMPULSE – дельта-функция PULSE – амплитуда 5 В, период 1 мкс SAWTOOTH – треугольный импульс SQUARE – меандр TRIANGLE – равносторонний треугольный импульс

Созданные самостоятельно текстовые описания моделей источников следует помещать в отдельные текстовые файлы и включать ссылки на них

в файле NOM.LIB.

2.3. Создание и редактирование компонентов

Редактор компонентов загружается выбором в меню **Windows** команды **Component Editor**. С его помощью редактируется библиотека компонентов (Component library), содержащая абсолютно все компоненты, от резисторов до макромоделей. Для каждого компонента в библиотеку заносится информация о его имени, графике символа, математической модели, расположении позиционного обозначения, информации о выводах и других текстовых атрибутах. Библиотека разбита на *группы* однотипных компонентов. Список групп и входящих в них компонентов помещен в расположенном справа окне. Щелчок на имени группы открывает/закрывает список имен ее компонентов.

2.3.1. Структура экрана редактора компонентов *Component Editor*

На рис. 2.4 приведено изображение экрана Component Editor. Описание его панелей управления, граф и окон дается ниже.

Панели управления:

Add Component — добавление в группу нового компонента; при этом в окне компонентов должно быть выбрано (высвечено) имя группы, за исключением имени группы самого верхнего уровня Component;

Add Group — добавление имени новой группы; при этом в окне компонентов должно быть выбрано имя любой группы;

Merge — присоединение файла библиотеки компонентов формата MC4, MC5, MC6 к текущей библиотеке компонентов. Имена файлов внешних библиотек задаются в открывающемся диалоговом окне. Из внешних библиотек переносятся только компоненты с уникальными именами. Компоненты, имена которых совпадают с именами текущей библиотеки, в нее не переносятся. Если компонент внешней библиотеки использует имя символа, отсутствующее в библиотеке символов текущей библиотеки, этот символ копируется из внешней библиотеки символов в текущую с добав-

лением префикса \$ к имени символа. Новые компоненты размещаются в специальную группу, например New Group;

Delete – удаление выбранного компонента или группы. Группа может быть удалена только в том случае, если она пустая;

(+) – увеличение размера символа компонента на экране. При этом размер символа на схеме не изменяется;

(-) – уменьшение размера символа компонента на экране. При этом размер символа на схеме не изменяется;

Help – вызов раздела Component Editor системы помощи.

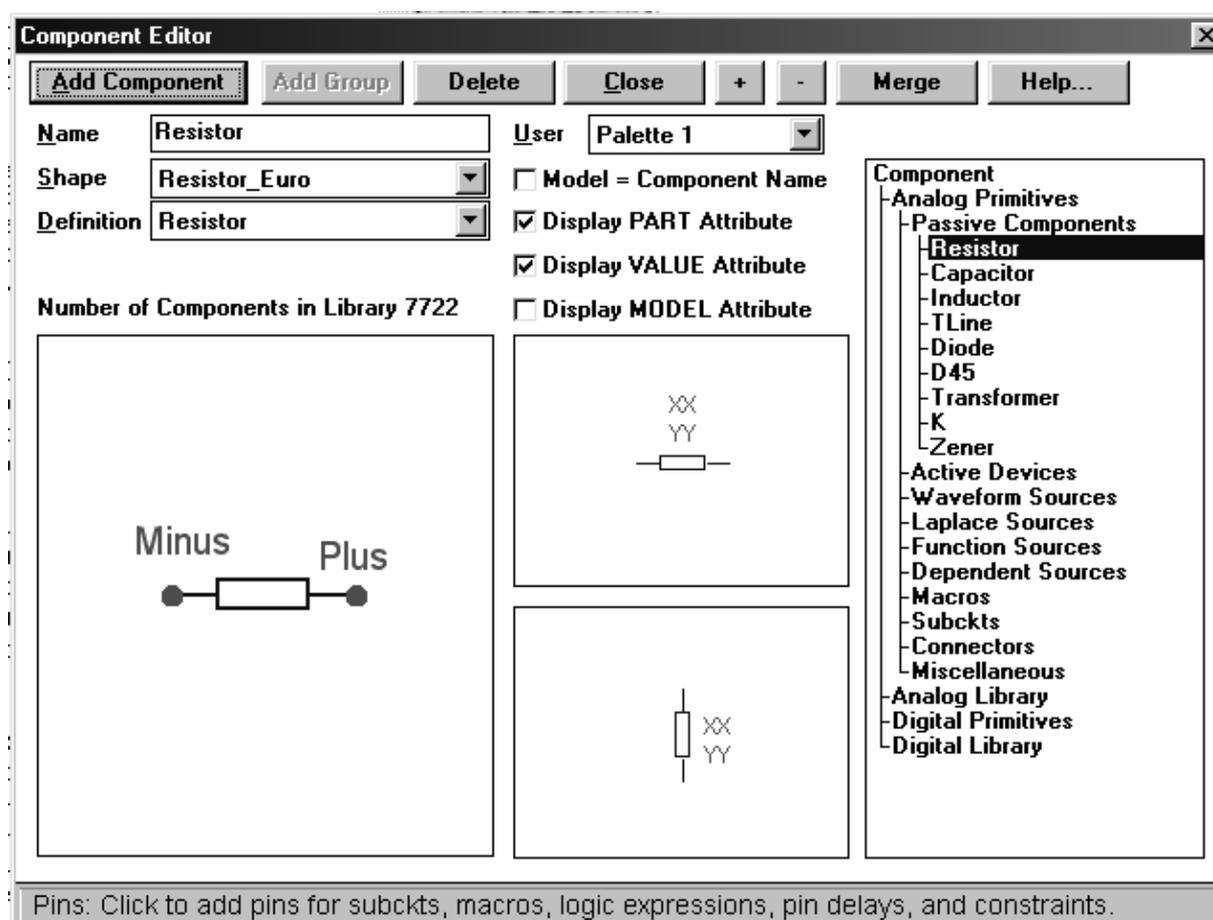


Рис. 2.4. Окно редактора компонентов Component Editor

Поля текстовой информации:

Name – имя компонента. Это то же самое имя, которое появляется в меню компонентов при нанесении компонента на схему. Имя компонента присваивается произвольно;

Shape – имя формы условного графического обозначения или имя символа компонента. Символы компонентов создаются с помощью специ-

ального графического редактора Shape Editor (вызывается по команде **Shape Editor** меню **Windows**). Имена символов выбираются из списка, открывающегося нажатием на значок ;

Definition – имя математической модели компонента, выбираемое из списка моделей. Имена большинства моделей очевидны: Resistor - резистор, NPN – биполярный *n-p-n*-транзистор и т. д. Для типовых компонентов имена их моделей совпадают с именами символов.

Опции:

User — имя панели списка компонентов. Всего может быть создано 9 панелей от Palette 1 до Palette 9. Выбор None означает отказ от размещения данного компонента на какой-нибудь панели. Эти панели упрощают выбор компонентов при создании принципиальных схем. На каждой панели может быть помещено любое количество компонентов. Панели открываются на схеме по команде **Component Palette 1 — 9** меню **Options** или нажатием клавиш CM+<номер панели>.

Model – Component Name — эта опция присваивает имя компонента имени модели. Поэтому при размещении на схеме компонентов, для которых опция включена, отпадает надобность открывать окно атрибутов, что упрощает этот процесс. В библиотеке компонентов эта опция включена для всех компонентов из групп Analog Library и Digital Library.

Display PART Attribute — отображение на схеме позиционного обозначения компонента, задаваемого с помощью атрибута PART. При размещении на схеме таких компонентов позиционные обозначения будут им по-прежнему присваиваться автоматически, но не будут видны. Значение этой опции можно изменить в панели атрибутов индивидуально для каждого компонента и тем самым сделать видимыми их позиционные обозначения.

Display VALUE Attribute — отображение на схеме атрибута VALUE, с помощью которого задаются параметры простых компонентов. Значение этой опции можно изменить в панели атрибутов индивидуально для каждого компонента и тем самым сделать видимыми значения их параметров.

Display MODEL Attribute — отображение на схеме атрибута MODEL, с помощью которого задаются имена моделей компонентов. Значение этой

опции можно изменить в панели атрибутов индивидуально для каждого компонента и тем самым сделать видимыми имена их моделей.

Создание выводов компонента. В левой части окна редактора компонентов (см. рис. 2.4) изображается графика выбранного символа компонента, его выводы и их имена.

Буксировкой точки вывода или его имени можно независимо изменять их расположение.

При создании типовых компонентов (резисторы, диоды и все другие компоненты, не относящиеся к макромоделям) после заполнения строки Definition в графическом окне появляются изображения точек выводов с указанием их имен. Точки выводов первоначально расположены неправильно (так как графика символа рисуется пользователем по своему усмотрению), поэтому они должны быть отбуксированы в правильные позиции.

Расположение позиционного обозначения и других атрибутов. В средней части окна редактора компонентов изображено нормальное и повернутое на 90° изображение символа компонента с указанием места расположения позиционного обозначения и других атрибутов XX, YY. Значения этих атрибутов проставляются после размещения компонента на схеме. Места же их расположения относительно изображения символа буксируются с помощью мыши.

Выбор компонента. В правой части окна редактора компонентов расположен иерархический список компонентов, разбитый на группы. Открытие/закрытие группы выполняется двойным щелчком мыши на ее имени. Выбор компонента в группе выполняется обычным щелчком мыши.

Сохранение изменений. Работа с Component Editor завершается нажатием на кнопку ; после этого в ответ на запрос **Save Changes** (Сохраните изменения) нажмите кнопку **ОК**.

2.3.2. Добавление компонентов в библиотеку

Программа MC5 поставляется с достаточно обширной библиотекой компонентов, которых достаточно для первоначального знакомства с ней (библиотека профессиональной версии содержит около 10 тыс. компонентов). Однако с течением времени возникает необходимость ее пополнения, в первую очередь созданием библиотеки отечественных компонентов и макромоделей типовых устройств.

Для создания новой группы в списке компонентов курсор подводится к имени группы предыдущего уровня иерархии, и нажимается кнопка **Add Group**. Созданной группе автоматически присваивается имя New Group, которое затем может быть изменено в открывшемся в левой части экрана окне **Group**. Например, для создания в группе Analog Library библиотеки отечественных компонентов курсором выбираем имя этой группы, нажимаем на кнопку **Add Group** и в окне **Group** заменяем стандартное имя New Group на уникальное. Вновь образовавшаяся группа занимает последнее место в списке групп данного уровня иерархии.

Для создания нового компонента выбирается имя группы, в которой он должен быть расположен, и нажимается кнопка **Add Component**. Образуется новый компонент с именем new_1, new_2 и т.д. После этого заполняются поля текстовой информации и включаются необходимые опции (см. выше).

Каждому новому компоненту присваивается уникальное имя, указывается имя символа (после этого изображение символа в окне принимает выбранный вид), имя математической модели, начальное расположение позиционного обозначения и расположение имен выводов.

2.4. Редактирование графических символов компонентов

Создание и редактирование символов или условных графических обозначений компонентов принципиальных электрических схем осуществляется с помощью графического редактора, вызываемого в меню **Windows** по команде **Shape Editor**.

Структура экрана редактора графических символов Shape Editor

После загрузки редактора Shape Editor на экране появляется окно редактирования, изображенное на рис. 2.5. На нем имеются следующие панели управления, графы и окна.

Список символов. В средней левой части экрана приведен список графических символов, содержащихся в текущей библиотеке символов. Выбранный символ высвечивается и изображается в графическом окне.

Кнопки команд:

Add — добавление в библиотеку нового символа, имя которого указывается по дополнительному запросу. Графика символа задается с помощью команд меню инструментов и редактора графических объектов Object Editor (вызывается нажатием на кнопку *Editor*);

Delete — удаление выбранного символа;

Revert Shape — восстановление первоначальной графики символа, которую он имел до вызова редактора Shape Editor. Восстановление первоначальной графики производится только для текущего выбранного символа. Изменения, произведенные при редактировании предыдущих символов, остаются в силе. Однако имеется возможность отменить все изменения, выполненные в текущем сеансе работы с редактором Shape Editor, прекращая с ним работу по команде *Close* по дополнительному запросу без сохранения изменений;

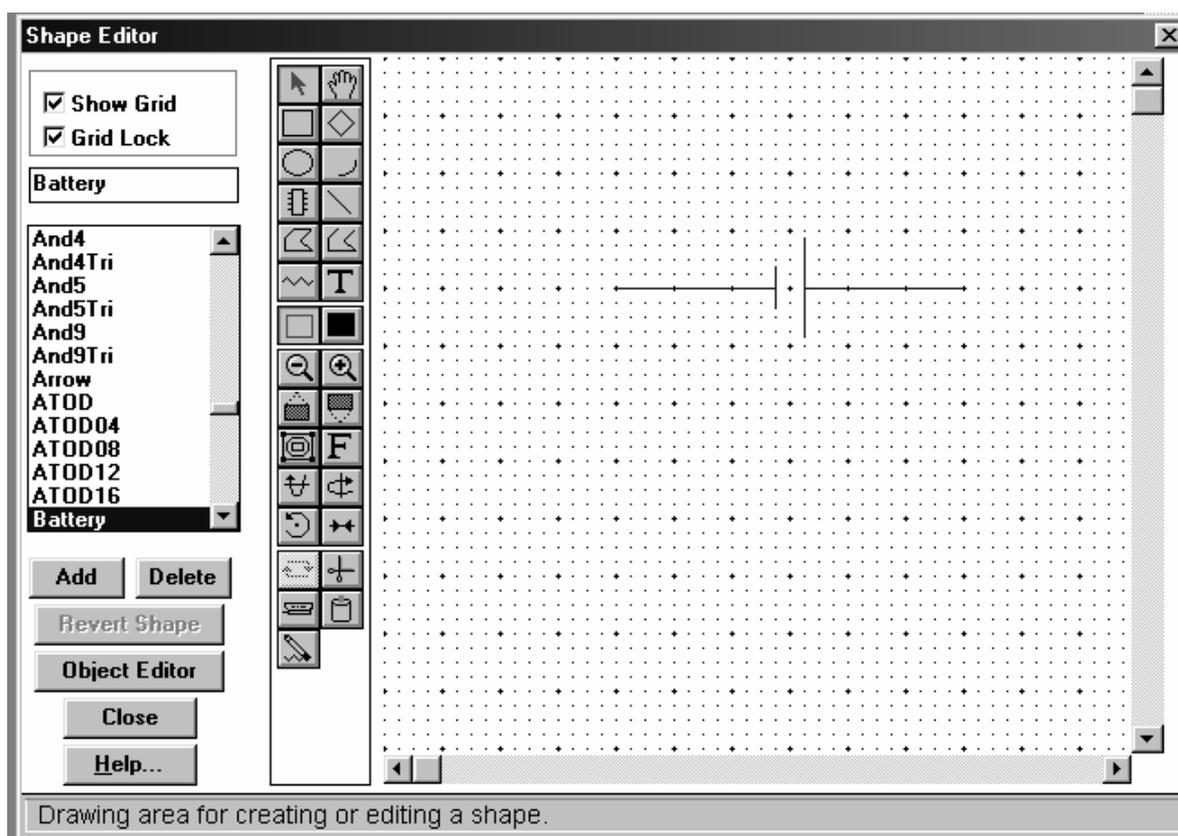


Рис. 2.5. Экран графического редактора символов Shape Editor

Object Editor — вызов редактора Object Editor, предназначенного для редактирования числовых параметров графических объектов. Таким образом производится уточнение координат характерных точек графики

символа, созданного первоначально с помощью движений мыши. При этом нанесение на выводы компонентов условных значков (сигнал синхронизации, инверсный выход и др.) возможно только с помощью Object Editor (это свойство используется в основном при создании символов цифровых компонентов);

Close — завершение работы с редактором символов и сохранение всех внесенных изменений в файле библиотеки;

Help — вызов раздела Shape Editor системы помощи.

Панель инструментов. Создание, редактирование и просмотр графики символов производится с помощью команд, пиктограммы которых размещены в меню инструментов. Их перечень приведен в табл. 2.11.

Таблица 2.11

Пиктограммы меню инструментов

<i>Команда</i>	<i>Назначение</i>
 Select (Выбор)	Переход в режим выбора для последующего редактирования графических объектов.
 Pan (Панорамирование)	Переход в режим панорамирования для просмотра фрагментов больших схем. В этом режиме перемещение схемы производится буксировкой с помощью <i>левой</i> кнопки мыши. В остальных режимах аналогичное действие производится буксировкой с помощью <i>правой</i> кнопки мыши. Панорамирование производится также с помощью линеек прокрутки или клавишами C1Г1+ →
 Block(Блок)	Создание символа цифрового компонента в виде прямоугольника (блока) с помощью мыши. Выводы проставляются автоматически на левой и правой сторонах с шагом 0,2 дюйма (3 мм или два шага крупной сетки)
 Rectangle (Прямоугольник)	Рисование прямоугольника

Продолжение табл. 2.11

 Diamond (Ромб)	Рисование ромба
 Ellipse(Эллипс)	Рисование эллипса
 Arc(Дуга)	Рисование дуги
 Line (Линия)	Рисование линии
 Closed Polygon (Замкнутый полигон)	Рисование замкнутого полигона. После завершения рисования последней стороны полигона и нажатия Esc проводится линия, соединяющая первую и последнюю вершины
 Open Polygon (Открытый полигон)	Рисование незамкнутого полигона
 Included Shape	Переход в режим переноса графики выбранного символа в окно редактирования текущего символа. В этом режиме щелчком курсора в любой точке графического окна открывается список символов "Choose Root Shape". Выбор символа в этом списке переносит его на экран, привязываясь к указанной курсором точке. Далее его положение может быть скорректировано
 Full(Заливка)	Заливка выбранной замкнутой краской фигуры
 Shrink (Уменьшение)	Уменьшение масштаба изображения
 Grow (Увеличение)	Увеличение масштаба изображения
 Next Object (Следующий объект)	Переход к следующему из перекрывающихся объектов
 Font(Шрифт)	Выбор шрифта (используются шрифты True Type, в том числе и кириллические)
 FlipX (Зеркально поX)	Зеркальное отображение относительно оси X, расположенной посередине выбранной области

 FlipY (Зеркально по Y)	Зеркальное отображение относительно оси Y, расположенной посередине выбранной области
 Rotate (Вращение)	Вращение выбранной области на угол 90° против часовой стрелки
 Mirror (Зеркальное отражение)	Создание зеркального отражения выбранной области по горизонтали или по вертикали. Направление отражения указывается по дополнительному запросу, где также указывается необходимость отражения текста

Обратим внимание, что при создании графики символов точки расположения их выводов в редакторе Shape Editor не указываются, это делается с помощью редактора компонентов Component Editor.

Сохранение изменений. Работа с Shape Editor завершается нажатием на панель **Close**. После этого в ответ на запрос "Save Shape Editor Changes?" (Сохранить изменения?) нажмите кнопку **ОК**.

2.5. Представления чисел, переменных и математических выражений

При создании принципиальных схем используются числа, переменные и математические выражения следующего вида.

Числа

Числовые значения параметров компонентов представляются в виде:
действительных чисел с фиксированным десятичным знаком (обратим внимание, что в качестве десятичного знака в программе МС5 используется точка). Например, сопротивление 2,5 кОм, записывается как 2500, а емкость 1 мкФ как 0.000001;

действительных чисел с плавающим десятичным знаком — научная нотация. Например, емкость 1 мкФ может быть записана как 1E-6;

действительных чисел с плавающим десятичным знаком — инженерная нотация, согласно которой различные степени 10 обозначаются следующими суффиксами:

F	фемто	10^{-15}	K	кило	10^3
P	пико	10^{-12}	MEG*	мега	10^6
N	нано	10^{-9}	G	гига	10^9
U	микро	10^{-6}	T	тера	10^{12}
M*	милли	10^{-3}			

Для экономии места на графиках малая буква "m" обозначает 10^{-3} , большая буква "M"— 10^6 .

При этом большие и малые буквы не различаются. Например, сопротивление 1,5 МОм может быть записано как 1.5MEG, 1.5meg или 1500K, емкость 1 мкФ как 1U или 1uF. В последнем примере показано, что для большей наглядности после стандартных суффиксов разрешается помещать любые символы, которые при интерпретации чисел не будут приниматься во внимание. *Пробелы между числом и буквенным суффиксом не допускаются!*

Переменные

В программе MC5 ряд констант и переменных имеют стандартные значения:

GMIN — минимальная проводимость ветви, задаваемая в диалоговом окне **Options - Global settings**;

PI — число $\pi = 3,14159265389795$;

TEMP — температура компонентов в градусах Цельсия;

VT — температурный потенциал p - n перехода, равный $1,3806226 \cdot 10^{-23} (273,15 + \text{TEMP}) / (1,6021918 \cdot 10^{-19})$, при $\text{TEMP}=27^\circ\text{C}$; $\text{VT}=25,86419$ мВ.

Номера узлов, присваиваемые программой MC5 автоматически, представляют собой целые числа, например 0, 2, 25. Кроме того, пользователь может присвоить любому узлу имя в виде текстовой алфавитно-цифровой переменной, начинающейся с буквы или символа "_" и содержащей не более 50 символов, например A1, Out, Reset.

В математических выражениях могут использоваться следующие переменные:

D(A) Логическое состояние цифрового узла A

V(A) Напряжения на узле A (напряжения измеряются относительно узла "земли", которой программа присваивает номер 0)

V(A,B)	Разность потенциалов между узлами A и B
V(D1)	Напряжение между выводами устройства D1
I(D1)	Ток через устройство D1
I(A,B)	Ток через ветвь между узлами A и B (между этими узлами должна быть включена единственная ветвь)
IR(Q1)	Ток, втекающий в вывод R устройства Q1
VRS(Q1)	Напряжение между выводами R и S устройства Q1
CRS(Q1)	Емкость между выводами R и S устройства Q1
QRS(Q1)	Заряд емкости между выводами R и S устройства Q1
R(R1)	Сопротивление резистора R1
C(X1)	Емкость конденсатора или диода X1
Q(X1)	Заряд конденсатора или диода X1
L(X1)	Индуктивность катушки индуктивности или сердечника X1
X(X1)	Магнитный поток в катушке индуктивности или сердечнике X1
B(L1)	Магнитная индукция сердечника L1
H(L1)	Напряженность магнитного поля в сердечнике L1
T	Время
F	Частота
S	Комплексная частота, равная $2\pi Fj$
RND	Случайное число с равномерным законом распределения на отрезке [0,1]
ONoise	Корень квадратный из спектральной плотности выходного напряжения
INoise	Корень квадратный из спектральной плотности входного напряжения, равный ONoise/коэффициент передачи по мощности

3. РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ И ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СХЕМ

После того как нарисована принципиальная схема или создано ее текстовое описание, переходят к расчету характеристик, выбирая в меню **Analysis** (см. рис. 1.1) один из видов анализа:

Transient Analysis, Alt+1 — расчет переходных процессов;

AC Analysis, Alt+2 — расчет частотных характеристик;

DC Analysis, Alt+3 — расчет передаточных функций по постоянному току (при вариации постоянной составляющей одного или двух источников сигналов, вариации температуры или параметров моделей компонентов).

3.1. Анализ переходных процессов (Transient Analysis)

После перехода в режим анализа переходных процессов программа MS6 проверяет правильность составления схемы. При наличии ошибок выводится информационное сообщение. При отсутствии ошибок в схеме программа составляет ее топологическое описание, выполняет подготовку к численному расчету переходных процессов и открывает окно задания параметров моделирования Transient Analysis Limits.

Задание параметров моделирования Transient Analysis Limits

В окне **Analysis** задания параметров расчета переходных процессов, показанном на рис. 3.1 при выборе опции **Transient Analysis Limits**, кроме

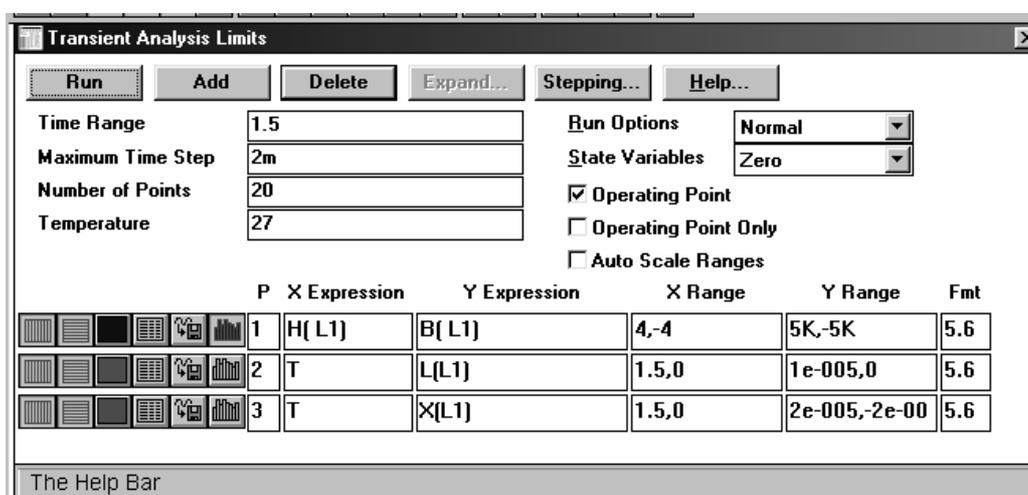


Рис. 3.1. Задание параметров расчета переходных процессов

стандартных команд, имеются следующие разделы:

Expand — открытие дополнительного окна для ввода текста большого размера при расположении курсора в одной из граф, содержащих выражения, например Y Expression;

Stepping — открытие диалогового окна задания вариации параметров;

Help — вызов раздела Transient Analysis системы помощи.

Числовые параметры:

Time Range — спецификация начального и конечного времени расчета переходных процессов по формату $T_{max}, [T_{min}]$, по умолчанию назначается $T_{min}=0$ (отрицательные значения моментов времени недопустимы). Например, спецификация "1.2ms,0.4ms" задает интервал моделирования от 0,4 до 1,2 мс;

Maximum Time Step — максимальный шаг интегрирования. Расчет переходных процессов ведется с выбираемым автоматически переменным шагом, величина которого определяется допустимой относительной ошибкой RELTOL; максимальная величина шага равна заданному значению. Если этот шаг не задан (или задан равным нулю), то максимальный шаг интегрирования полагается равным $(T_{max} - T_{min})/50$;

Number of Points — количество точек, выводимых в таблицы, т.е. количество строк в таблице вывода результатов, по умолчанию принимается 51, минимальное значение 6. Если заданные моменты времени не совпадают со значениями, при которых проводился численный расчет, то производится интерполяция.

Temperature — диапазон изменения температуры в градусах Цельсия.

Вывод результатов моделирования

Ниже раздела "Числовые параметры" и слева от раздела "Выражения" расположена группа пиктограмм. Нажатие каждой пиктограммы определяет характер вывода данных, задаваемых в той же строке. Имеются следующие возможности:

X Log/Linear Scale — переключение между логарифмической и линейной шкалой по оси X. При выборе логарифмической шкалы диапазон изменения переменной должен быть положительным;

Y Log/Linear Scale — переключение между логарифмической и линейной шкалой по оси Y. При выборе логарифмической шкалы диапазон изменения переменной должен быть положительным;

Color — вызов меню для выбора одного из 16 цветов для окрашивания графиков. Кнопка окрашивается в выбранный цвет;

Numeric Output — при нажатии этой кнопки в текстовый выходной файл заносится таблица отсчетов функции, заданной в графе *Y Expression*.

Выражения:

X Expression — имя переменной, откладываемой по оси X. Обычно при анализе переходных процессов по этой оси откладывается время (переменная *T*), однако это не всегда так. Так, при расчете спектра сигнала с помощью преобразования Фурье по оси X откладывается частота, а при расчете петли гистерезиса ферромагнетика — напряженность магнитного поля;

Y Expression — математическое выражение для переменной, откладываемой по оси Y. Это может быть простая переменная типа напряжения в узле *V(5)*, падения напряжения на двухполюсном компоненте *V(L1)* или тока ветви *I(2,3)*, *I(L1)* или математическое выражение, например *V(VCC)*I(VCC)*.

X Range — максимальное и минимальное значение переменной X на графике по формату *High,[Low]*. Если минимальное значение *Low* равно нулю, его можно не указывать. Для автоматического выбора диапазона переменных в этой графе указывается *Auto*. В этом случае сначала выполняется моделирование, в процессе которого графики строятся в стандартном масштабе и затем автоматически перестраиваются;

Y Range — максимальное и минимальное значение переменной Y на графике; если минимальное значение равно нулю, его можно не указывать. Для автоматического выбора диапазона переменных в этой графе указывается *Auto*.

Опции:

Run Options — управление выдачей результатов расчетов:

Normal — результаты расчетов не сохраняются;

Save — сохранение результатов расчетов в бинарном дисковом файле *<имя схемы>.TSA*;

Retrieve — считывание последних результатов расчета из дискового файла *<имя схемы>.TBA*, созданного ранее. При этом производится построение графиков и таблиц переходных процессов, как после обычного расчета;

State Variables — установка начальных условий:

Zero — установка нулевых начальных условий для потенциалов всех аналоговых узлов и токов через индуктивности и неопределенных логических состояний "X" для цифровых узлов;

Read — чтение начальных условий из бинарного дискового файла <имя схемы>.ЛОР, созданного с помощью State Variables Editor, перед каждым вариантом расчета при изменении температуры или другого параметра;

Leave — установка в качестве начальных условий значений, полученных при окончании расчета предыдущего варианта. При расчете первого варианта они полагаются нулевыми. Если в предыдущем варианте рассчитывался только режим по постоянному току, то в качестве начальных значений будут приняты параметры этого режима;

Operation Point — включение режима расчета по постоянному току перед началом каждого расчета переходных процессов. Данные этого режима заменяют значения всех начальных условий, если они были установлены;

Operation Point Only — расчет только режима по постоянному току (расчет переходных процессов не производится);

Auto Scale Ranges — присвоение признака автоматического масштабирования "Auto" по осям X , Y для каждого нового варианта расчетов. Если эта опция выключена, то принимаются во внимание масштабы, указанные в графах X Range, Y Range.

3.2. Расчет частотных характеристик (AC Analysis)

В режиме AC сначала рассчитывается режим схемы по постоянному току, затем линеаризуются все нелинейные компоненты (пассивные компоненты с нелинейными параметрами, диоды, транзисторы, нелинейные управляемые источники) и выполняется расчет комплексных амплитуд узловых потенциалов и токов ветвей.

Ко входу схемы должен быть подключен источник синусоидального SIN или импульсного сигнала PULSE или сигнала USER, форма которого задается пользователем. При расчете частотных характеристик комплексная амплитуда этого сигнала полагается равной 1 В, начальная фаза нулевая (независимо от того, как заданы значения параметров модели сигнала), а частота меняется в пределах, задаваемых в меню AC Analysis Limits. Возможно также подключение независимых источников напряжения V или тока I в формате SPICE, для которых значения амплитуды и фазы задаются. Если имеется один источник сигнала, то выходные напряжения будут сов-

падать с частотными характеристиками устройства. Если же источников сигнала несколько, то отклики от каждого сигнала будут складываться.

После перехода в режим анализа частотных характеристик программа MS5 проверяет правильность составления схемы. При отсутствии ошибок в схеме программа составляет ее топологическое описание, выполняет подготовку к численному решению системы линейных алгебраических уравнений и открывает окно задания параметров моделирования **AC Analysis Limits**.

Задание параметров моделирования AC Analysis Limits

В окне задания параметров расчета частотных характеристик, показанном на рис. 3.2, кроме стандартных, имеются следующие числовые

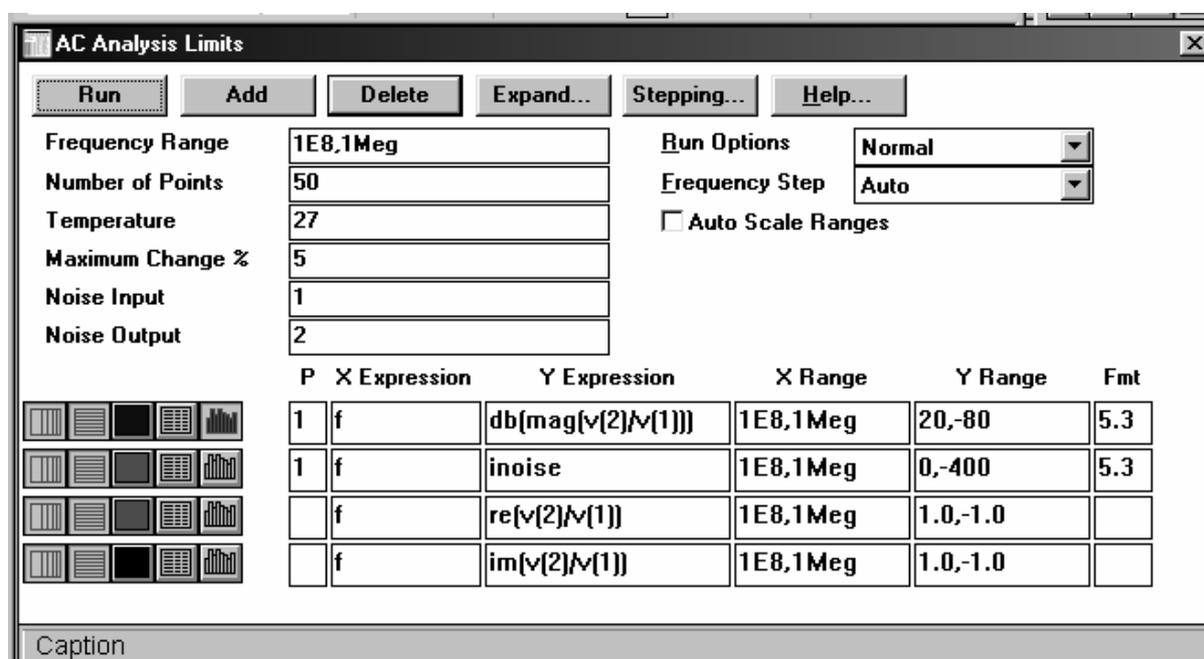


Рис. 3.2. Задание параметров расчета в режиме AC

параметры:

Frequency Range — спецификация конечной и начальной частоты по формату $F_{max}.F_{min}$. Отрицательные значения частоты не допускаются. Если значение F_{min} не указано, то расчет не производится;

Number of Points — количество точек по частоте (N_f), в которых производится расчет частотных характеристик. Минимальное значение равно 5. В связи с тем, что в режиме AC не производится интерполяции, то в таблицы и на графики выводятся все данные, полученные при расчете;

Temperature — диапазон изменения температуры в градусах Цельсия;

Maximum Change, % — максимально допустимое приращение графика первой функции на интервале шага по частоте (в процентах от полной шкалы). Принимается во внимание только при выборе опции **Auto**. Если график функции изменяется быстрее, то шаг приращения частоты автоматически уменьшается;

Noise Input — имя источника сигнала, подключенного к входным зажимам цепи. При указании переменной INOISE в графе Y expression выводится график квадратного корня спектральной плотности напряжения или тока внутренних шумов цепи, пересчитанной к этим зажимам. Если в качестве источника входного сигнала включается источник напряжения, то на вход пересчитывается спектральная плотность напряжения, а если источник тока, то спектральная плотность тока;

Noise Output — номера узлов выходных зажимов цепи, в которых вычисляется спектральная плотность напряжения выходного шума цепи. Формат: *узел1, [узел2]*.

3.3. Расчет передаточных функций по постоянному току (DC Analysis)

В режиме DC рассчитываются передаточные характеристики по постоянному току. Ко входам цепи подключаются один или два независимых источника постоянного напряжения или тока. В качестве выходного сигнала может рассматриваться разность узловых потенциалов или ток через ветвь, в которую включен резистор. При расчете режима DC программа закорачивает индуктивности, исключает конденсаторы и затем рассчитывает режим по постоянному току при нескольких значениях входных сигналов. Например, при подключении одного источника постоянного напряжения рассчитывается передаточная функция усилителя, а при подключении двух источников — семейство статических выходных характеристик транзистора.

После перехода в режим DC программа MC5 проверяет правильность схемы. При отсутствии ошибок программа составляет топологическое описание схемы, выполняет подготовку к численному расчету нелинейных уравнений итерационным методом Ньютона-Рафсона и открывает окно задания параметров моделирования **DC Analysis Limits**.

Задание параметров моделирования DC Analysis Limits

В окне задания параметров расчета передаточных характеристик по постоянному току, показанном на рис. 3.3, кроме стандартных, имеются следующие разделы.

Числовые параметры

На строках **Input 1**, **Input 2** указаны имена варьируемых источников, диапазоны их изменений — на строках **Input 1 Range**, **Input 2 Range**.

Number of Points — количество точек, выводимых в таблицы, т.е. количество строк в таблице вывода результатов, минимальное значение равно 5. При выводе в таблицы применяется линейная интерполяция.

Temperature — диапазон изменения температуры в градусах Цельсия;

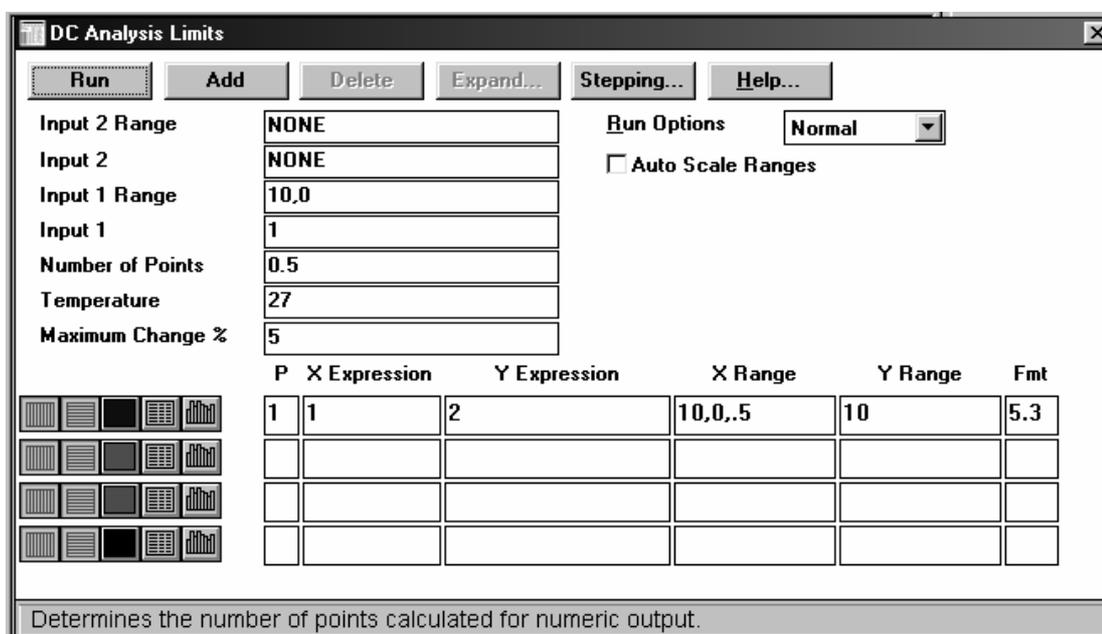


Рис. 3.3. Задание параметров расчета в режиме DC

Maximum change, % — максимально допустимое приращение графика первой функции на одном шаге (в процентах от полной шкалы). Если график функции изменяется быстрее, то шаг приращения первой переменной автоматически уменьшается.

Опции

Run Options — управление выдачей результатов расчетов:

Normal — результаты расчетов не сохраняются;

Save — сохранение результатов расчетов в бинарном дисковом файле;

Retrieve — считывание последних результатов расчета из дискового файла, созданного ранее. При этом производится построение графиков и таблиц, как после обычного расчета.

Auto Scale Ranges — присвоение признака автоматического масштабирования "Auto" по осям X, Y для каждого нового варианта расчетов. Если эта опция выключена, то принимаются во внимание масштабы, указанные в графах *X Range*, *Y Range*.

Вывод результатов моделирования

Назначение пиктограмм при выводе результатов моделирования такое же, как в предыдущих режимах.

3.4. Многовариантный анализ

В меню трех видов анализа **Transient**, **AC** и **DC** имеется диалоговое окно **Stepping**, с помощью которого производится вариация от одного до 10 параметров, показанное на рис. 3.4. В нем содержатся следующие строки.

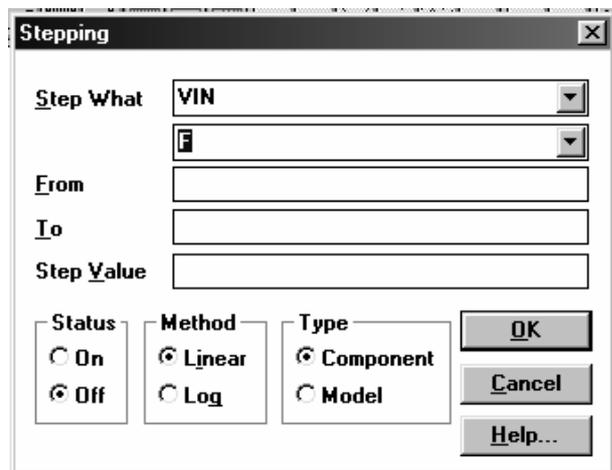


Рис. 3.4. Варьирование параметров компонентов и их моделей

- **Step What** — на верхних двух строках указывается имя компонента и имя его варьируемого параметра. Содержание этих строк зависит от выбранного ниже типа Component или Model.

Если выбран тип Component, то нажатие на кнопку в первой строке открывает список имен компонентов, содержащихся в схеме, например, C1, C2, C3, D1, L1, R1, V2, V3. Если в этом списке выбрать

простой компонент, имеющий единственный параметр, например конденсатор, то на второй строке появится стандартное имя Value (обозначающее значение параметра). Если же выбранный компонент имеет модель или макромодель (описываемые по директивам .MODEL или .SUBCKT), то на второй строке нужно выбрать имя ее параметра.

Если выбран тип **Model**, то нажатие на кнопку в первой строке открывает список имен моделей, и на второй строке нужно выбрать имя

варьируемого параметра выбранной модели. Например, в первой строке можно указать тип модели D KD220A (диод), а на второй строке имя одного из его параметров, например RS (объемное сопротивление). По этому способу варьируются параметры всех компонентов, имеющих выбранную модель.

- **From** — начальное значение параметра. При выборе логарифмической шкалы оно должно быть больше нуля.

- **To** — конечное значение параметра. При выборе логарифмической шкалы оно должно быть больше нуля.

- **Step Value** — величина шага параметра. При линейной шкале оно прибавляется к начальному значению, а при логарифмической шкале умножается на текущее значение параметра.

Перед выполнением вариации параметров рекомендуется убедиться, что моделирование выполняется без ошибок при номинальном значении параметров. Приведем список ограничений вариации параметров:

1. Нельзя варьировать параметры компонентов типа Transformer, User source, Laplace source, Function source, зависимые источники SPICE (типа E, F, G и H);

2. Нельзя варьировать некоторые отдельные параметры моделей компонентов, если в описании моделей им присвоены нулевые значения; в моделях операционных усилителей нельзя варьировать параметры Level и Type (параметр Level для всех полупроводниковых приборов может варьироваться);

3. При вариации параметров резисторов, конденсаторов или индуктивностей, описываемых математическими выражениями, эти выражения не принимаются во внимание, и параметры принимают значения, назначаемые в режиме **Stepping**.

3.5. Просмотр и обработка результатов моделирования

По завершении моделирования в графическом окне выводятся графики характеристик схемы. Дальнейшая обработка графиков может выполняться в различных режимах, переключаемых с помощью соответствующих пиктограмм в меню инструментов.

4. РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ МОДЕЛЕЙ АНАЛОГОВЫХ КОМПОНЕНТОВ

4.1. Общие сведения о программе MODEL

Программа расчета параметров математических моделей аналоговых компонентов MODEL работает в интерактивном режиме и выполняет расчет и оптимизацию параметров математических моделей по их паспортным данным, введенным в табличной или графической форме. Оптимизация выполняется с помощью прямого метода Пауэлла. При вводе координат графиков должны быть заданы координаты от двух до пяти точек — чем больше данных, тем точнее оцениваются параметры моделей. Ряд данных записывается в виде отдельных чисел; если данные отсутствуют, то принимаются их значения по умолчанию. Считается, что все экспериментальные данные о параметрах компонентов измерены при комнатной температуре.

Программа MODEL вызывается выбором команды **Model Program** меню **Windows** программы MC5 или из командной строки путем указания имени загружаемой библиотеки:

MODEL <имя файла библиотеки>[.MDL]

Программа MODEL сохраняет введенные пользователем паспортные данные компонентов и рассчитанные параметры математических моделей в бинарных файлах с расширением имени .MDL. Эти файлы можно загружать в программу MODEL для уточнения параметров моделей, не повторяя ввода паспортных данных, что очень удобно в процессе отладки библиотек моделей (в программу моделирования MC5 их передавать нельзя). После завершения отработки библиотеки целесообразно удалить из этого файла входные данные и преобразовать его с помощью команды **File-Create Model Library** в компактную форму. Эти бинарные файлы имеют расширение имени .LBR и предназначены для передачи в программу моделирования MC5 (кроме того, с помощью программы MC5 их можно просматривать и редактировать). При этом исходные MDL-файлы целесообразно сохранить для возможных изменений в будущем. Для обмена данными с программой PSpice достаточно воспользоваться командой **File-Create SPICE file** для создания текстового файла с расширением имени .LVB.

4.2. Интерфейс программы MODEL

После загрузки программы MODEL на экране появляется ее меню, показанное на рис. 4.1. Помимо стандартных кнопок управления окнами, в нем располагаются следующие поля:

- **меню команд** — содержит названия ниспадающих меню;

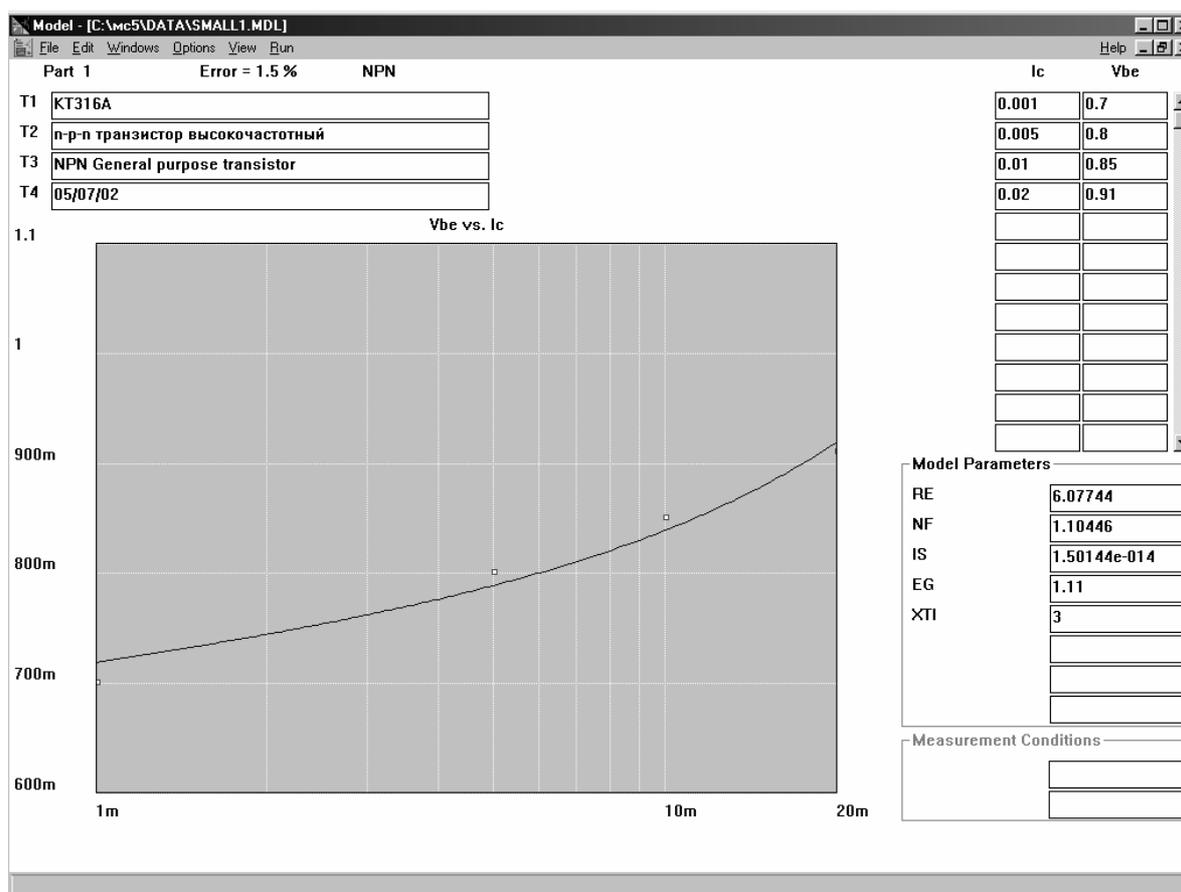


Рис. 4.1. Окно программы MODEL

- **текстовые поля** — включают четыре строки T1, T2, T3 и T4, содержание которых переносится в библиотеку моделей. Строка T1 содержит имя компонента (Part name), оно используется для сортировки в каталоге библиотеки, остальные — комментарии с дополнительной информацией;

- **таблица данных** — таблица с двумя или тремя колонками для ввода значений координат характеристик компонента, опубликованных в справочниках или снятых экспериментально. Количество колонок зависит от типа компонента и характера данных;

- **окно графиков характеристик** — отображение графиков характеристик модели. На них также отмечаются точки данных, если они вводились пользователем. Близость этих точек к построенным графикам свидетельствует о точности модели. Численно значение среднеквадратического отклонения в процентах указывается сверху от графиков на строке **Error**;

- **параметры модели** — таблица параметров модели, полученных в результате обработки введенных данных;

- **условия измерений** — значения дополнительных параметров, при которых приведены экспериментальные данные.

Приведем далее описание меню, доступных при работе с программой MODEL.

4.2.1. Меню File

Меню **File** содержит команды для работы с файлами библиотек математических моделей. Список команд этого меню приведен в табл. 4.1.

Таблица 4.1

Команды меню File

<i>Команда</i>	<i>Назначение</i>
New... (Ctrl+N)	Создание нового файла данных, содержащего один компонент
Open... (Ctrl+O)	Открытие существующего файла данных (расширение имени .MDL)
Save (Ctrl+S)	Сохранение текущего файла данных
Save As...	Сохранение текущего файла данных под новым именем
Create SPICE file...	Создание текстового файла параметров моделей, содержащихся в текущем файле данных. Этот файл получает расширение имени .LIB и может быть загружен в программу моделирования MC6, но не в программу MODEL
Revert	Восстановление содержания текущего файла с диска
Close (Ctrl+F4)	Закрывание текущего файла данных

Окончание табл. 4.1

Create Model Library...	Запись параметров моделей компонентов текущей библиотеки в бинарный файл с расширением имени .LBR, который может быть загружен в программу МСб для просмотра и редактирования. Его применение при моделировании обеспечивается более быстрый, чем в текстовых файлах .LIB, доступ к параметрам отдельных компо
Merge	Слияние содержания текущей библиотеки с файлом, находящимся на диске
Sort	Сортировка компонентов текущей библиотеки по именам, указанным в текстовом поле T1
Файл 1,..., Файл 8	Список последних восьми загруженных файлов
Exit (Alt+F4)	Завершение работы с программой MODEL

4.2.2. Меню Edit

Меню **Edit** содержит команды редактирования, их список приведен в табл. 4.2.

Таблица 4.2

Команды меню Edit

<i>Команда</i>	<i>Назначение</i>
Undo (Ctrl+Z)	Отмена последней команды редактирования текстовых полей
Cut (Ctrl+X)	Удаление выбранного текста и размещение его в буфер обмена Windows
Copy (Ctrl+C)	Копирование выбранного текста в буфер обмена
Paste (Ctrl+V)	Копирование содержания буфера обмена в позицию, указанную курсором

4.3. Работа с программой MODEL

Проиллюстрируем работу с программой MODEL на примере биполярного транзистора КТ316А, данные на который взяты из справочника.

Начнем с открытия нового файла библиотеки моделей по команде **File-New**, присвоив ему уникальное имя, или открытия одного из существующих файлов по команде **File-Open**. Далее по команде **Edit-Add Part** добавляем в библиотеку новый компонент, выбрав его тип NPN (биполярный транзистор *n-p-n* - типа). После этого открывается изображенное на рис. 4.1 окно, в котором курсор первоначально находится в первом текстовом поле T1. Вводим в этом поле имя транзистора КТ316А (только латинскими символами) и в следующих полях произвольные комментарии (здесь можно использовать и символы кириллицы).

На первом экране в таблицу данных заносят значения тока коллектора I_c и напряжения база-эмиттер V_{be} в режиме насыщения. Далее нажатием клавиш **Ctrl+I** присваивают параметрам модели начальные значения (процесс инициализации) — их значения отображаются в окне **Model Parameters** (Параметры модели). Далее нажатием **Ctrl+T** выполняют оптимизацию параметров на основании введенных данных. В результате рассчитываются параметры модели RE, NF и IS так, чтобы график зависимости $V_{be}(I_c)$ был наиболее близок к заданным значениям, которые отмечены на рис. 4.1 прямоугольными значками. Параметры EG и XTI не оцениваются, им присваиваются стандартные значения. В окне **Model Parameters** (Параметры модели) выведены все параметры, которые определены на основании введенной порции справочных данных и назначены по умолчанию. Ошибка аппроксимации составляет 5,1 %.

Нажатие клавиш **Ctrl+→** открывает окно построения зависимости коэффициента передачи по току β от тока коллектора I_c . После ввода ряда значений I_c , и β задания напряжения коллектор-эмиттер $V_{ce}=1$ В (данные приведены для комнатной температуры 25 °С), при которых проводились измерения, снова выполняют команды инициализации и оптимизации **Ctrl+I**, **Ctrl+T**. В результате будет построен график зависимости $\beta(I_c)$ и рассчитаны параметры модели NE, ISE, BF, IKF, как показано на рис. 4.2.

Перейдем нажатием клавиш **Ctrl + →** к окну построения зависимости барьерной емкости перехода база-коллектор C_{ob} от напряжения смещения

V_{cb} . В справочнике указано только одно значение емкости: $C_{ob}=3$ пФ при напряжении $V_{cb}=10$ В.

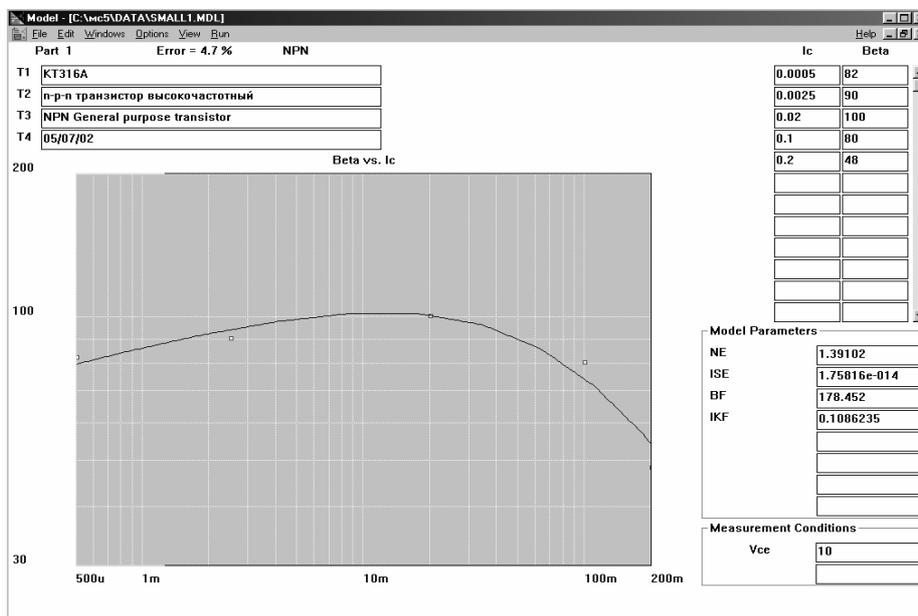


Рис. 4.2. Зависимость коэффициента передачи тока β от тока коллектора I_c

После выполнения команды Ctrl+T программа MODEL вычисляет значения параметров CJC, MJC, VJC, FC и строит график зависимости $C_{ob}(V_{cb})$, как показано на рис. 4.3.

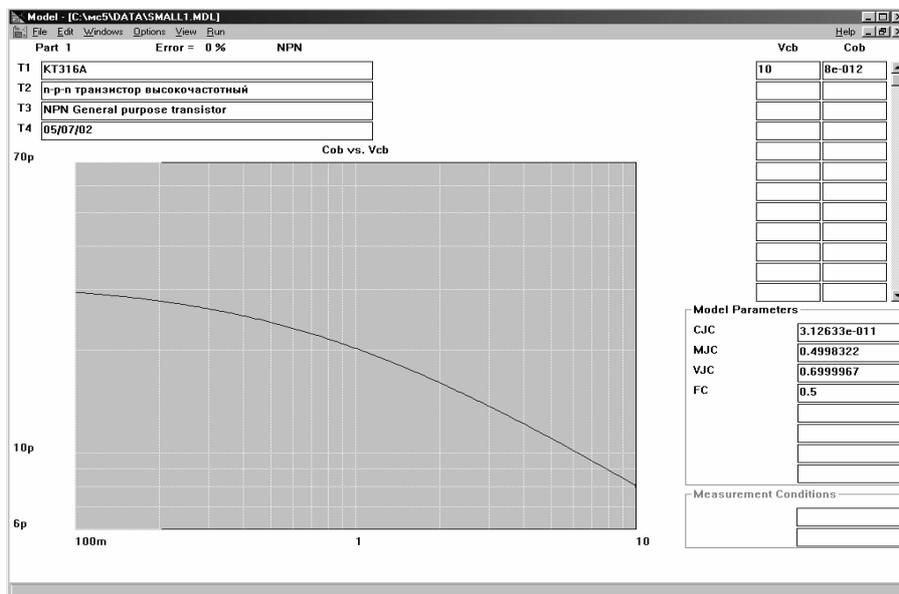


Рис. 4.3. Изучение зависимости графика $C_{ob}(V_{ce})$ от параметра MJC

На этом же рисунке иллюстрируется вариация параметров, выполняемая по команде **Options-Step Model Parameters**. В окне Step Parameters

указывается имя варьируемого параметра, тип перестройки (линейный или логарифмический) и пределы его изменения. При выборе линейной шкалы Linear параметр Step Value означает шаг приращения варьируемого параметра, а при выборе логарифмической шкалы Log - величину, на который умножается текущее значение параметра для получения его следующего значения. Изменение параметра выполняется после нажатия на любую клавишу - на экране сразу перестраивается график зависимости $C_{ob}(V_{cb})$, и можно вручную быстро подобрать его наиболее приемлемое значение.

Расчет остальных параметров транзистора выполняется аналогично. Построение модели завершается командой Save меню **File** для ее занесения в файл открытой библиотеки.

5. ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ

5.1. ЗАНЯТИЕ 1. ИЗУЧЕНИЕ ОСНОВНЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПРОГРАММЫ MICRO-CAP 5

Задание

1. Изучить возможности программы по анализу электрических схем (на примере схемы амплитудного детектора).
2. Изучить возможности программы по расчету характеристик элементов электрических схем (на примере биполярного транзистора).

Порядок выполнения работы

1. Загрузить схемный файл AMPLDET.CIR.
2. Просмотреть и зафиксировать текст математической модели компонентов схемы.
3. Произвести анализ переходных процессов и частотных характеристик, получить и зафиксировать результаты эксперимента.
4. Провести многовариантный анализ при вариации заданного преподавателем компонента схемы.
5. Отметить точки экстремума полученных характеристик, выполнить их количественную оценку с записью результатов.
6. Произвести расчет передаточных характеристик заданного преподавателем биполярного транзистора, зафиксировать графики полученных выходных характеристик.

7. Произвести расчет основных параметров заданной модели транзистора с помощью программы **Model**, используя инструкцию по работе с программой, изложенной в п. 4.3.

Содержание отчета

1. Краткое описание возможностей программы Micro-Cap 5.
2. Распечатки текста математической модели и графиков характеристик.
3. Результаты количественной оценки характеристик многовариантного анализа и расчета основных параметров модели транзистора.
4. Выводы по работе.

Методические указания к занятию 1

1. Загрузка схемы

Схема загружается по команде **File - Open...** В открывшемся окне (рис. 5.1) выбираем каталог “C:\MC5\DATA”, в котором находятся файлы схем.

На строке “**Тип файлов**” указывается тип просматриваемых файлов:

Schematic (*.CIR) — схемы в формате MC5 (устанавливаются по умолчанию);

SPICE (*.CKT; *.LIB; *.STM) — текстовое описание схем, библиотек и сигналов в формате SPICE;

Model Library (*.LBR) —

сокращенные библиотеки математических моделей в формате MC5;

Model Data (*.MDL) — полные библиотеки математических моделей компонентов в формате MC5;

All Files (*.*) — все файлы.

Выбираем тип файлов “**Schematic**” и затем имя файла, например, AMPLDET.CIR. В результате загружается схема, показанная на рис. 5.2.

Схема состоит из резонансного усилителя на биполярном транзисто-

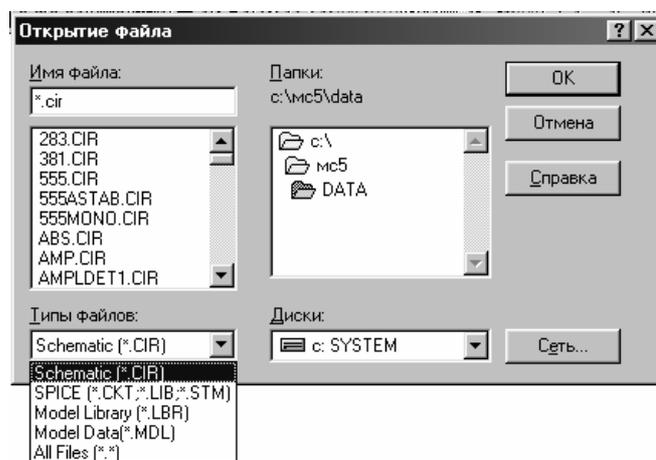


Рис. 5.1. Выбор имени открываемого файла

ре KT316Б, настроенного на частоту 10 кГц, и параллельного амплитудного детектора. На вход усилителя подается гармонический сигнал с частотой 10 кГц и амплитудой 20 мВ (источник сигнала V1). В качестве источника питания включена батарея V2 с напряжением 5 В.

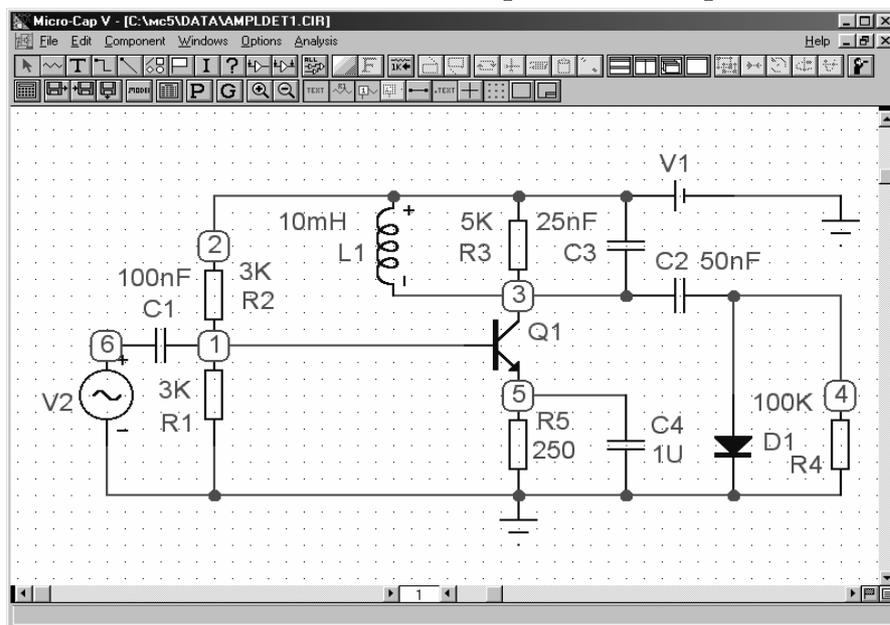


Рис. 5.2. Экран со схемой усилителя и амплитудного детектора (узлов).

Как мы видим, на схему нанесена нумерация узлов, что необходимо для спецификации переменных, выводимых на графики. Это производится выбором в меню **Windows** команды **View - Node Numbers** (показать номера

Экран на рис. 5.2 разделен на две части выбором в меню **Windows** команды **Split Text/Drawing Area Horizontal**, чтобы в нижнем окне просмотреть (и при необходимости отредактировать) тексты математических моделей компонентов схемы: в данном примере диода, транзистора и источника синусоидального сигнала.

2. Моделирование электрических процессов в MC5

А. Анализ переходных процессов

Вид анализа характеристик схемы указывается в меню **Analysis**:

“**Transient Analysis**” — анализ переходных процессов;

“**AC Analysis**” — анализ частотных характеристик;

“**DC Analysis**” — анализ передаточных функций по постоянному току.

Выбрав команду **Transient Analysis**, переходим в меню задания параметров моделирования, показанное на рис. 5.3.

В строке **Time Range** указывается длительность интервала времени,

в графе **Operating Point** — необходимость перед расчетом переходных процессов выполнить расчет режима по постоянному току, в нижней части окна — имена переменных, графики которых нужно построить. Имена аналоговых и цифровых переменных, откладываемых по оси Y графиков, указываются в графе **Y Expression**, при этом допускается применение математических выражений и функций.

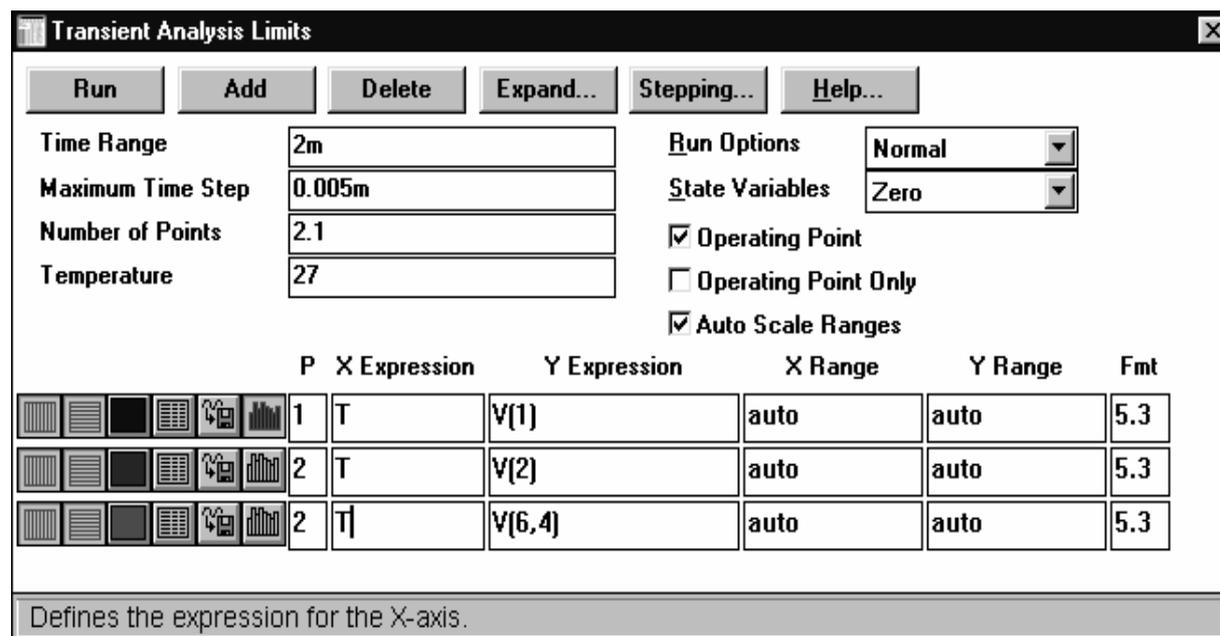


Рис. 5.3. Окно задания параметров для анализа переходных процессов

Приведем ряд примеров:

V (5) — потенциал узла 5;

V (6,4) — разность потенциалов между узлами 6 и 4;

VBE (VT1) — напряжение база-эмиттер транзистора VT1;

I (V1) — ток через источник сигнала V1;

I (V1)*V (V1) — мгновенная мощность источника сигнала V1;

CVC (Q1) — емкость перехода база-коллектор транзистора Q1;

Q (C1) — заряд конденсатора C1;

FFT (V (6)) — спектр напряжения в узле 6 (при этом по оси X нужно откладывать частоту F);

D (QA) — логический уровень сигнала в цифровом узле QA.

Моделирование начинается после нажатия на панель **Run** или пиктограмму . Этот процесс может быть остановлен в любой момент нажатием на пиктограмму  или клавишу **Esc**. Графики различаются цветом, ко-

торый назначается в меню на рис. 5.3 после нажатия на пиктограмму .

В этом примере изображены два графика: на одном размещаются напряжения $V(2)$ и $V(6,4)$, на другом — напряжение $V(1)$. На одном графике их нельзя строить из-за различия в масштабах. Номера графиков отмечены на рис. 5.3 для каждой переменной в графе **P**. Масштаб графиков по осям X , Y указывается в явном виде в графах **X Range**, **Y Range** или выбирается автоматически, если пометить курсором панель **Auto Scale Ranges**.

Щелчок на пиктограмме  или нажатие **F8** активизирует электронный курсор для считывания координаты графика переменной, имя которой подчеркнуто (например $V(6)$). Выбор анализируемой переменной производится щелчком курсора. Один маркер устанавливается щелчком левой кнопки мыши, второй — щелчком правой. Ниже графиков выводится таблица с графами:

Left — значение переменной, отмеченной щелчком левой кнопки мыши;

Right — значение переменной, отмеченной щелчком правой кнопки мыши;

Delta — разность двух отсчетов;

Slope — производная функции, рассчитанная по двум отсчетам.

Каждая строка этой таблицы соответствует одной функции, а последняя строка — независимой переменной, в данном примере — времени T . Возвращение в обычный режим отображения графиков осуществляется нажатием **F2**.

При моделировании нелинейных схем интересно вначале определить режим по постоянному току. В меню на рис. 5.3 для этого предоставлены две панели:

Operating Point — расчет режима по постоянному току (включение источников питания) перед началом расчета переходных процессов (включением источников сигналов);

Operating Point Only — только расчет режима по постоянному току (расчет переходных процессов не производится).

Если выбран один из этих режимов, то нужно выполнить декларируемые расчеты по команде **Run**, а затем — команду завершения **Transient - Exit Analysis** или просто нажать клавишу **F3**. После этого откроется окно схем и в режиме **Options** нужно выбрать команду **View - Node Voltages/States** для

отображения в узлах схемы потенциалов по постоянному току.

Б. Расчет частотных характеристик

Выбрав в меню **Analysis** команду **AC Analysis**, переходим в режим расчета частотных характеристик. Задание на расчет формируется в окне, приведенном на рис. 5.4.

P	X Expression	Y Expression	X Range	Y Range	Fmt
1	f	v[6]	auto	auto	5.3
2	f	db[v[6]]	25000,5000	2.5e-007	5.3
3	f	phv[6]	auto	auto	5.3
4	f	onoise	auto	auto	5.3

Рис. 5.4. Окно задания параметров для анализа частотных характеристик (AC Analysis)

На строке **Frequency Range** указываются границы диапазона частот, на строке **Frequency Step** — тип шага по частоте (в данном примере используется **Fixed Linear** — линейный шаг), количество точек — на строке **Number of Points**. При необходимости расчета спектральной плотности внутреннего шума на строке **Noise Input** указывается имя источника входного сигнала, на строке **Noise Output** — номер выходного узла, для которого рассчитывается спектральная плотность напряжения шума.

Для расчета частотных характеристик ко входу схемы должен быть подключен источник синусоидального или импульсного сигнала. Амплитуда этого сигнала полагается равной 1 В (независимо от того, как заданы значения параметров модели сигнала), а частота меняется в заданных пределах. Если имеется один источник сигнала, то выходные напряжения будут совпадать с частотными характеристиками устройства. Если же источников сигнала несколько, то отклики от каждого сигнала будут складываться.

В графе **Y Expression** указываются имена переменных для построения графиков частотных характеристик. Переменные при расчете частотных характеристик являются комплексными. Приведем несколько приме-

ров их записи:

$V(1)$ — модуль напряжения в узле 1;

$db(V(1))$ — модуль напряжения в узле 1 в децибелах;

$re(V(1))$ — действительная часть напряжения;

$im(V(1))$ — мнимая часть напряжения;

$ph(V(D))$ — фаза напряжения в градусах;

$gd(V(1))$ — групповое время запаздывания;

$INOISE$ — корень квадратный из спектральной плотности напряжения шума, приведенного ко входу;

“ $ONOISE$ ” — корень квадратный из спектральной плотности выходного напряжения шума (графики $INOISE$ и $ONOISE$ нельзя строить одновременно с графиками других переменных).

В. Многовариантный анализ

Очень полезна возможность проведения многовариантного анализа при вариации любого параметра компонента схемы или его модели. Для этого в окне задания параметров (см. рис. 5.4) нажатием на панель **Stepping** открывают окно для задания варьируемых параметров, показанное на рис. 5.5.

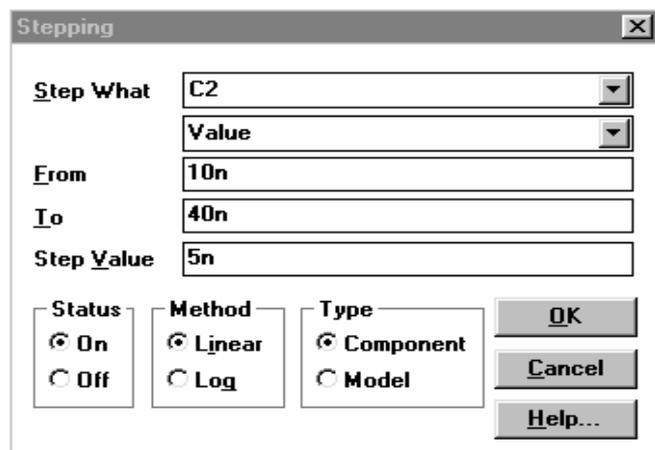


Рис. 5.5. Вариация емкости конденсатора C2

Сначала в графе **Type** выбирают тип варьируемого параметра:

Component — значение параметра компонента схемы;

Model — параметр математической модели компонента.

Затем в строке **Step What** указывают имя варьируемого параметра, на последующих строках пределы его изменений и в графе **Status** включают кнопку **On**.

Назначение дополнительных окон и кнопок окна задания, а также работа в режиме многовариантного анализа описывается выше в п. 3.4.

Г. Расчет передаточных характеристик

В схеме измерения статических характеристик биполярных транзисторов к базе транзистора обычно подключается источник постоянного то-

ка 1В, к коллектору — источник постоянного напряжения VCC.

Выбрав в меню **Analysis** команду **DC Analysis**, перейдем в режим расчета передаточных характеристик по постоянному току. Задание на расчет формируется в окне, показанном на рис. 5.6.

На строках **Input 1**, **Input 2** указаны имена варьируемых источников, диапазоны их изменений — на строках **Input 1 Range**, **Input 2 Range**. По оси X откладывается напряжение коллектор-эмиттер транзистора Vce (Q1), по оси Y — ток коллектора Ic (Q1).

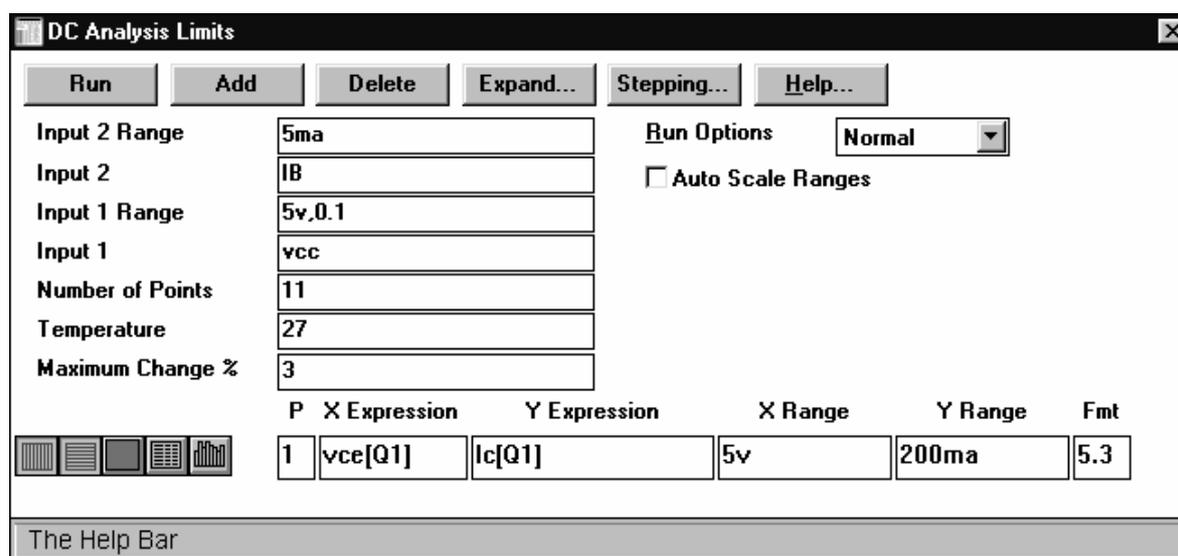


Рис. 5.6. Окно задания параметров для анализа передаточных характеристик

После нажатия на кнопку **Run** в основном окне программы появляются графики основных выходных характеристик биполярного транзистора.

Вопросы для самопроверки

1. С помощью какой опции осуществляется установка начальных условий в программе Micro-Cap 5?
2. Какая максимальная частота дискретизации используется при анализе цифровых устройств?
3. Возможно ли изменение шага сетки (Grid) на новой схеме? Если да, то до каких пределов?
4. Для чего используется встроенная в Micro-Cap 5 подпрограмма Model?
5. Для чего нужен редактор Object Editor?
6. Какие модели можно создавать программой Model Editor?

7. С помощью какого графического редактора осуществляется создание и редактирование символов или УГО компонентов электрических схем?

8. Какое из меню содержит команды выборов режима редактирования и задания различных параметров программы МС5?

9. Как в программе МС5 представляются числовые значения компонентов?

10. Что произойдет, если в окне Shape Editor выделить Show Grid?

11. Какие библиотеки в меню Component содержат модели типовых компонентов без указания значения их параметров?

12. С помощью какой опции можно создать копии моделей всех аналоговых компонентов?

5.2. ЗАНЯТИЕ 2. ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СХЕМ

Задание

1. Создать имитационную модель заданного преподавателем устройства с новым компонентом.

2. Выполнить комплексный анализ созданной имитационной модели.

Порядок выполнения работы

1. Создать в редакторе Component Editor в соответствии с заданным вариантом новый компонент.

2. Отредактировать графический символ компонента с помощью редактора Shape Editor.

3. Создать в соответствии с заданным вариантом схемный файл, включающий созданный компонент.

4. Просмотреть и зафиксировать текст математической модели компонентов созданной схемы.

5. Произвести анализ переходных процессов и частотных характеристик и зафиксировать результаты эксперимента.

6. Провести многовариантный анализ при вариации заданного преподавателем компонента схемы.

7. Отметить точки экстремума полученных характеристик, выполнить их количественную оценку с записью результатов.

Содержание отчета

1. Краткое описание возможностей программы Micro-Cap 5 в проведении анализа электрических схем и методик их выполнения.
2. Распечатки созданных компонентов, схем, текста математической модели и графиков характеристик.
3. Результаты количественной оценки характеристик многовариантного анализа.
4. Выводы по работе.

Вопросы для самопроверки

1. Что такое процесс инициализации?
2. Текстовые описания каких моделей составляются вручную?
3. При задании параметров моделирования Transient Analysis Limits пользуются разделом Stepping. Что означает этот раздел?
4. Куда заносится информация о компоненте (имени, графике символов, математическом моделировании, текстовых атрибутах)?
5. Как обозначается переменная комплексная частота $2\pi Fj$ в математических выражениях?
6. Какая из команд применяется для режима ввода проводников под произвольным углом при создании чертежа схемы?
7. Что будет происходить в режиме AC Analysis, если задать несколько источников сигнала?
8. Кнопки Step, Mirror, Rotate, Flip X, Flip Y основной панели инструментов обычно недоступны. Что надо сделать, чтобы активировать их?
9. Что означает наличие флажка Operation Point при установке параметров для анализа переходных процессов?
10. Источник какого сигнала должен быть подключен к входу схемы при расчете частотных характеристик?
11. Что означает сочетание «V(6,4)» в окнах программы Micro-Cap 5?

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Разевиг В.Д. Система схемотехнического моделирования Micro-Cap 5. – М.: Солон, 1997. - 274 с.: ил.
2. Разевиг В.Д. Система схемотехнического моделирования Micro-Cap 6. – М.: Горячая линия –Телеком, 2001. - 344 с.: ил.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
1. ИНТЕРФЕЙС ПРОГРАММЫ MICRO - CAP V.....	4
2. СОЗДАНИЕ ПРИНЦИПИАЛЬНЫХ СХЕМ.....	7
2.1. Режимы работы редактора схем, система меню.....	7
2.1.1. Меню <i>File</i>	10
2.1.2. Меню <i>Edit</i>	11
2.1.3. Меню <i>Component</i>	13
2.1.4. Меню <i>Windows</i>	16
2.1.5. Меню <i>Options</i>	17
2.1.6. Меню <i>Analysis</i>	25
2.1.7. Меню <i>Help</i>	26
2.1.8. Назначение функциональных клавиш.....	26
2.2. Создание чертежа схемы.....	27
2.3. Создание и редактирование компонентов.....	32
2.3.1. Структура экрана редактора компонентов <i>Component Editor</i>	32
2.3.2. Добавление компонентов в библиотеку.....	35
2.4. Редактирование графических символов компонентов.....	36
2.5. Представления чисел, переменных и математических выражений.....	40
3. РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ И ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕКТРИЧЕС- КИХ СХЕМ.....	42
3.1. Анализ переходных процессов (<i>Transient Analysis</i>).....	43
3.2. Расчет частотных характеристик (<i>AC Analysis</i>).....	46
3.3. Расчет передаточных функций по постоянному току (<i>DC Analysis</i>).....	48
3.4. Многовариантный анализ.....	50
3.5. Просмотр и обработка результатов моделирования.....	51
4. РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ МОДЕЛЕЙ АНАЛОГОВЫХ КОМПОНЕ- НТОВ.....	52
4.1. Общие сведения о программе <i>MODEL</i>	52
4.2. Интерфейс программы <i>MODEL</i>	53
4.2.1. Меню <i>File</i>	54

4.2.2. Меню <i>Edit</i>	55
4.3. Работа с программой MODEL	56
5. ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ	58
5.1. Занятие 1. Изучение основных возможностей программы Micro-Cap 5	58
5.2. Занятие 2. Имитационное моделирование электрических схем	66
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	67

Учебное издание

ГАЛАС Валерий Петрович

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СХЕМ

С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММЫ MICRO-CAP

Практикум для студентов специальности 210100

Редактор И.В. Бойцова

Компьютерная верстка В.П. Галас

ЛР № 020275. Подписано в печать

Формат 60x84/16. Бумага для множит. техники. Гарнитура Таймс.

Печать офсетная. Усл. печ. л. 3,95. Уч.-изд. л. 4,21. Тираж 100 экз.

Заказ

Редакционно-издательский комплекс

Владимирского государственного университета.

600000, Владимир, ул. Горького, 87.