

Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования
«Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники»

Кафедра радиоэлектронных средств

А.В. Будник, В.И. Журавлёв, В.Е. Галузо

***Проектирование и САПР
интегральных схем***

**Лабораторный практикум
для студентов специальности
«Моделирование и компьютерное проектирование
радиоэлектронных средств»
дневной формы обучения**

Минск 2006

УДК 681.511(075.8)
ББК 32.965 я 73
Б 90

Будник А.В.

Б 90 Проектирование и САПР интегральных схем: Лаб. практикум для студ. спец. «Моделирование и компьютерное проектирование радиоэлектронных средств» дневной формы обуч. / А.В. Будник, В.И. Журавлёв, В.Е. Галузо. – Мн.: БГУИР, 2006. – 44 с.: ил.

ISBN 985-444-957-2

Лабораторный практикум содержит описание пакета PSpice в составе системы сквозного проектирования OrCAD для схемотехнического моделирования интегральных схем. Приводится описание четырёх лабораторных работ, дающих представление об этапах моделирования микросхем в PSpice, оптимизации схемотехнического решения и получения выходных параметров.

УДК 681.511(075.8)
ББК 32.965 я 73

ISBN 985-444-957-2

© Будник А.В., Журавлёв В.И.,
Галузо В.Е., 2006
© БГУИР, 2006

Введение

Математическое обеспечение схемотехнического проектирования имеет целью проведение анализа электрических характеристик интегральных схем (ИС) для проверки их соответствия указанным в техническом задании величинам. Анализ электрических характеристик сводится к расчёту токов в цепях и потенциалов в узлах схемы при заданных условиях её функционирования. Основу математического обеспечения схемотехнического проектирования составляет математическое моделирование электрических характеристик элементов схемы, определяющих её анализируемые характеристики.

В программах схемотехнического проектирования используются так называемые электрические модели элементов. В основе этих моделей лежат эквивалентные схемы, описывающие возможные цепи протекания тока в элементах, а также характеристики этих цепей. Характеристики цепей определяются электрическими параметрами элементов эквивалентной схемы, стоящими в цепи. Электрические параметры (характеристики) элементов эквивалентной схемы (проводимости, сопротивления, ёмкости) могут зависеть от напряжений на электродах моделируемых элементов (диодов, транзисторов). Зависимости характеристик элементов эквивалентной схемы от напряжений на электродах моделируемых элементов описываются математическими электрическими моделями последних.

Для решения задач моделирования в современной инженерной практике используется пакет PSpice – популярное средство расчёта и моделирования схем электрических устройств. Постоянное развитие PSpice тесно связано с развитием элементной базы и операционных систем, аккумулярованием разработок лучших проектировщиков, пополнением библиотек моделей элементов.

Ниже будет рассмотрена работы PSpice в составе системы сквозного проектирования OrCAD для схемотехнического моделирования ИС. Семейство модулей PSpice, входящих в систему OrCAD, обеспечивает полнофункциональное моделирование электронных устройств и поставляется в следующих версиях:

PSpice – версия, предназначенная для моделирования поведения сложных аналоговых устройств (проектирование высокочастотных систем, разработка устройств малой мощности на базе интегральных схем со сложными внутренними моделями).

PSpice A/D – программа моделирования любой комбинации аналоговых и цифровых устройств, имеющих сигналы разных форм и величины. Благодаря взаимосвязанным встроенным алгоритмам аналогового и цифрового моделирования с циклической обратной связью, PSpice A/D автоматически распознаёт и обрабатывает аналого-цифровые и цифроаналоговые интерфейсы.

PSpice A/D Basics – упрощённая версия пакета PSpice A/D. Этот инструмент идеален, если необходимо осуществлять моделирование несложных аналоговых или аналого-цифровых схем, в том числе схем элементов библиотек.

Модуль PSpice Optimizer работает в сочетании с PSpice или PSpice AD и позволяет оптимизировать параметры элементов для достижения заданных ха-

рактических смешанных устройств. Осуществляет оптимизацию на основе градиентных методов при наличии линейных и нелинейных ограничений, поддерживает оптимизацию с нелинейными целевыми функциями. Предусмотрена как автоматическая оптимизация, так и интерактивная, с возможностью подстройки к проекту до достижения полного соответствия условиям, заданным пользователем.

PSpice в системе OrCAD представляет новую технологию Interchange Architecture, благодаря которой возможно:

- полуавтоматическое описание компонентов устройств на основе данных производителя и просмотр списка подключенных библиотек математических моделей, содержащих более 16 тысяч аналоговых и аналого-цифровых устройств;

- аналитическое задание и графическое редактирование входных воздействий;

- контроль значений параметров непосредственно на схеме и их вывод в отдельный текстовый файл;

- при работе через внешний интерфейс с уровнями иерархического проекта использование маркеров обозначений электрической цепи, отдельных входов-выходов или частей схем для измерения и анализа таких характеристик, как напряжение, ток, потребляемая мощность, отношение сигнал/шум и т.д.

Семейство модулей PSpice обеспечивает полнофункциональное моделирование электронных устройств:

- сохранение часто используемых графических окон с представлением множества контролируемых параметров внутри них;

- графический анализ форм, взаимовлияния и параметров сигналов одновременно в нескольких точках контроля;

- просмотр графиков результатов моделирования;

- выполнение расчётов режима по постоянному току и чувствительности схемы к разбросу параметров компонентов;

- проверка работоспособности схемы при наихудшей комбинации отклонений от номинала;

- использование методов частотных характеристик и переходных процессов;

- осуществление многовариантного и статистического анализа по методу Монте-Карло;

- приоритетное и интерактивное моделирование;

- описание функциональных блоков цифровых и совмещённых схем с использованием математических выражений и функций (в PSpice A/D);

- исследование аналоговых, цифровых и совмещённых схем с анализом реакции схемы на различные входные воздействия (в PSpice A/D);

- анализ и устранение проблем синхронизации в цифровых схемах при редко встречающихся комбинациях исследуемых сигналов (в PSpice A/D).

Лабораторная работа № 1

«Создание схемы электрической принципиальной в OrCAD Capture»

Цель работы: научиться создавать проекты и схемы в OrCAD Capture с целью их дальнейшего моделирования в PSpice.

1.1. Создание нового проекта для моделирования в OrCAD Capture

В главном меню ОС MS Windows найдите папку OrCAD и загрузите из неё Capture CIS. Выберите меню **File – New – Project** для вызова диалогового окна New Project (рис.1.1) или нажмите на кнопку . В строке Name задайте имя проекта (символы кириллицы не допускаются, если предполагается моделирование), а в строке Location – имя подкаталога расположения проекта (при этом для просмотра файловой структуры удобно пользоваться кнопкой Browse). Далее укажите тип проекта **Analog or Mixed-Signal Circuit** (аналоговые, цифровые или смешанные аналого-цифровые устройства) и нажмите **OK**.

Рабочее окно редактора CAPTURE содержит несколько панелей инструментов. Если «захватить» мышью уголок одной панели инструментов, её можно легко переместить в любое место экрана.

В окне организатора проекта, имеющем заголовок **<имя проекта>.orj**, можно отслеживать иерархическую структуру своей схемы (рис.1.2). Это бывает очень удобно при создании больших схем. В окне Session.Log документируется процесс текущего сеанса работы. Окно для ввода чертежа схемы озаглавлено SCHEMATICS1:PAGE1, но эти данные можно переименовать посредством контекстного меню (вызывается нажатием правой кнопки мыши). В окне Session.Log документируется процесс текущего сеанса работы.

Электрические цепи, расположенные на разных страницах многостраничной схемы, соединяются друг с другом с помощью так называемых межстраничных соединителей (off-page connectors), имеющих одинаковые имена. Все страницы таких схем содержатся в одной папке на одном и том же уровне. Их структура показывается в менеджере проектов при нажатии закладки File (см. рис.1.2). На схемах иерархических проектов размещаются специальные символы, называемые иерархическими блоками (hierarchical block).

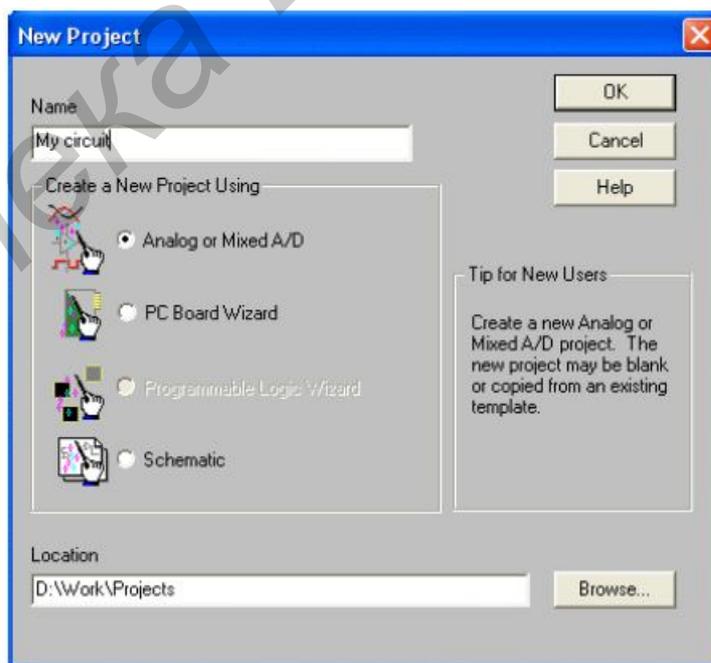


Рис.1.1. Выбор типа проекта в окне New Project

Принципиальная электрическая схема каждого такого блока изображается в виде отдельной схемы, помещаемой в папку на том же уровне иерархии, что и основная схема. Иерархическая структура показывается в менеджере проектов при переходе на закладку Hierarchy.

Проекты, созданные с помощью программы OrCAD Capture, заносятся в файлы с расширением **.opj** (по терминологии, принятой в программе, проект называется Project), которые содержат ссылки на имена всех используемых файлов: файлов отдельных схем (*.dsn по принятой терминологии файлы схем называются Design, в переводе «проект»), библиотек, текстовых VHDL-файлов, файлов отчётов о проекте и др. В файле проекта могут содержаться ссылки на одну или несколько папок.

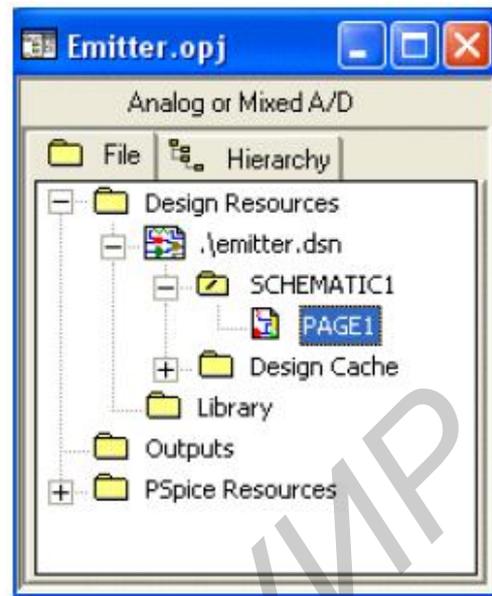


Рис.1.2. Окно организатора проекта

1.2. Библиотеки символов компонентов

Библиотеки символов (файлы ***.olb**) программы Capture системы OrCAD содержат более 30 тыс. элементов. При создании проекта лучше заранее продумать, какими библиотеками нужно пользоваться в каждом конкретном случае. Иначе, например, после создания принципиальной схемы устройства часто не удаётся разработать печатную плату из-за несогласованностей библиотек символов и корпусов компонентов. В каталог Capture\Library\PSpice помещены библиотеки символов *.olb и математических моделей компонентов *.lib, используемые при моделировании с помощью программы PSpice. Причем сюда включены практически все символы графического редактора PSpice Schematics и соответствующие им математические модели.

Ряд библиотек символов из каталога \Capture\Library\PSpice не содержит информации об упаковке компонентов, ссылок на их корпуса и численных значениях параметров математических моделей (эти значения вводятся непосредственно на схеме):

Abm.olb – функциональные блоки (сумматор, умножитель, линейное инерционное звено, интегратор, дифференциатор, ограничитель и др.);

Analog.olb – дискретные аналоговые компоненты (R, R_var, C, L, E и др.);

Breakout.olb – заготовки символов полупроводниковых приборов и других компонентов;

Source.olb – источники аналоговых и цифровых сигналов, параметры которых задаются в текстовом виде;

Sourcstm.olb – источники аналоговых и цифровых сигналов, создаваемых с помощью программы Stimulus Editor;

Special.olb – символы для задания специальных директив моделирования (в их число входит спецификация параметров PARAM метка WATCH и др.).

Другие библиотеки соответствуют компонентам определённых типов, они согласованы с библиотекам математических моделей и корпусов компонентов (эти библиотеки находятся в подкаталогах \Capture\Library\PSpice и \Capfure\Library):

Anlg_dev.olb – операционные усилители и другие ИС фирмы Analog Devices;

Bipolar.olb – биполярные транзисторы;

CD400.olb – цифровые КМОП-вентили;

Lin_tech.olb – операционные усилители фирмы Linear Technology;

Siemens.olb – полупроводниковые приборы фирмы Siemens;

7400.olb. 74ac.olb и др. – цифровые ТТЛ-ИС.

Физически существующие транзисторы, конденсаторы, интегральные схемы (ИС) и др. называются компонентами (Component). **Part** – условное графическое изображение (символ) компонента на принципиальной схеме. Некоторые компоненты являются многосекционными, состоящими из нескольких секций. Если все секции такого компонента одинаковые, например цифровая ИС 4НЕ-И, он называется однородным (Homogeneous), в противном случае – неоднородным (Heterogeneous). Информация об упаковке компонента, которая включает в себя количество секций компонента, количество выводов отдельных секций, наличие логических эквивалентных секций и выводов (их разрешается переставлять при автотрассировке соединений ПП), называется Package. В программе OrCAD Capture принято, что термином Part обозначается как символ отдельной секции компонента, так и символ всего компонента в целом. Библиотеки символов компонентов представляют собой отдельные файлы, имеющие расширение имени olb.

Вызовите контекстное меню **Add File** папки **Library** (Библиотека) на вкладке File и выберите библиотеки элементов, необходимые для создания заданной схемы.

Для удаления неиспользуемых библиотек в папке Library используйте клавишу **Delete** на клавиатуре.

1.3. Размещение символов компонентов

Активизируйте окно редактора CAPTURE (щёлкнув мышью в любом месте этого окна), чтобы рядом с ним появилась панель инструментов. Если окна редактора отсутствуют на экране, дважды щёлкните мышью по названию страницы схемы (PAGE1 по умолчанию) в окне организатора проекта (см. рис.1.2).

Откройте окно **Place Part** (рис.1.3), выбрав в меню **Place** опцию **Part** либо нажав кнопку . Названия всех файлов, которые зарегистрированы для данного проекта в ходе выполнения предыдущих действий, находятся в списке **Libraries** в левой нижней части окна **Place Part**. Кроме зарегистрированных там находится ещё один файл: **Design cache**. Редактор CAPTURE поместит в него

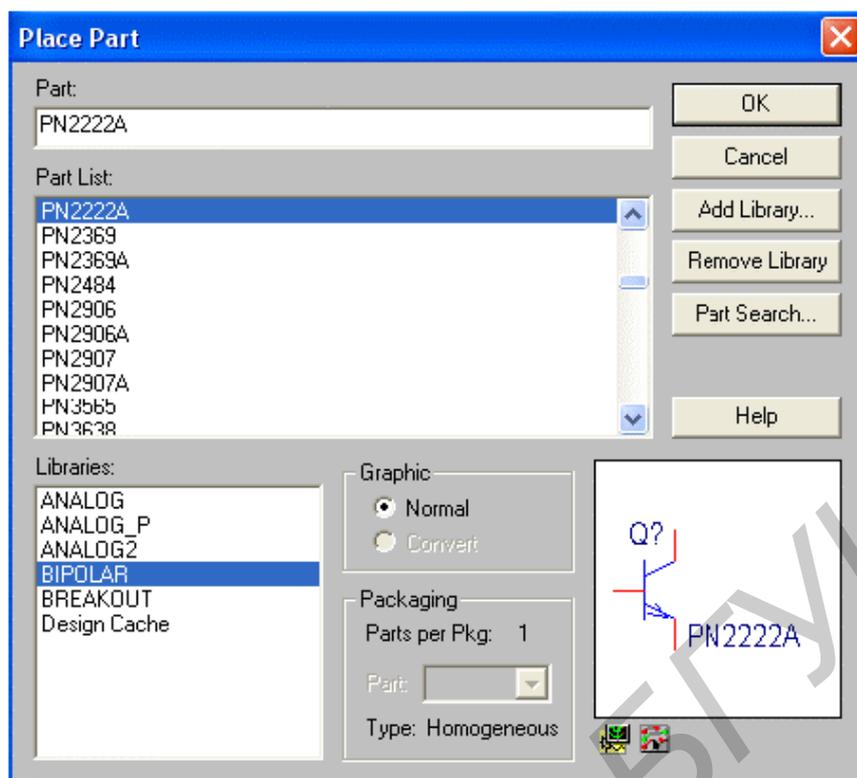


Рис.1.3. Окно Place Part выбора компонента

все те компоненты, которые вы установите на своём чертеже в процессе работы с окном <имя проекта>.orj. Таким образом, Design cache представляет собой своего рода «подручный» (или вспомогательный) файл, где будут находиться все необходимые для проекта компоненты. Благодаря этому не будет тратиться время на поиск нужных компонентов.

В диалоговом окне этой команды сначала в списке **Libraries** выбирается имя одной или нескольких библиотек, содержание которых отображается на панели Part (для выбора нескольких библиотек нажимается и удерживается клавиша Ctrl). После этого на панели **Part** выбирается имя компонента, символ которого должен быть помещен на схему (если выбрано несколько библиотек, то после имени каждого компонента помещается символ « / » и затем имя библиотеки). В разделе **Graphic** выбирается обычное (Normal) или эквивалентное изображение логических компонентов в стиле DeMorgan (Convert). В разделе **Packaging** указывается номер секции компонента, после чего в расположенном ниже окне выводится изображение выбранной секции компонента с указанием номеров цоколёвки его выводов (на строке Parts per Pkg. указывается общее количество секций компонента). Нажатием на кнопку **Add Library** открывается диалоговое окно для добавления библиотек в список **Libraries**, нажатие на кнопку **Remove Library** удаляет выбранную библиотеку из списка. Кнопка **Part Search** предназначена для поиска конкретного компонента в библиотеках из списка **Libraries**. После нажатия на кнопку **OK** символ выбранного компонента переносится на схему.

Разместите основные радиоэлементы схемы. Чтобы установить какой-либо компонент на своём чертеже, выберите его, он «прилипает» к указателю мыши. Щелчком мыши можно разместить ещё один экземпляр этого компонента. При этом элемент можно вращать нажатием клавиши **R** на клавиатуре. Для прерывания режима позиционирования нужно щёлкнуть правой кнопкой мыши и выбрать в открывшемся всплывающем меню опцию **End Mode**. Через всплывающее меню, которое открывается для любого маркированного компонента нажатием правой кнопки мыши, компоненты можно также поворачивать и зеркально (mirror) отображать (горизонтально или вертикально).

Если, не прерывая режима размещения символов компонентов на схеме, в контекстном меню выбрать команду **Edit Properties**, то выведется диалоговое окно редактирования параметров текущего символа:

Part Value – номинальное значение параметра простого компонента (сопротивление, ёмкость и т.п., принимаемые во внимание при моделировании) или наименование сложного компонента (программой моделирования во внимание не принимается);

Part Reference – позиционное обозначение компонента. Оно проставляется здесь вручную, если на закладке **Miscellaneous** команды **Options – Preferences** не выбран параметр Automatically reference placed parts – автоматическое присваивание позиционных обозначений размещаемым на схеме компонентам. На панели PCB Footprint можно выбрать или скорректировать имя корпуса компонента. Выбор панели **Power Pins Visible** указывает на необходимость отображения на схеме выводов «земли» и питания. На панели Primitive выбирается тип компонента: Yes – элементарный (примитивный) компонент; No – компонент, имеющий иерархическую структуру; Default – устанавливается по умолчанию (в соответствии с настройкой конфигурации на закладке **Hierarchy** команды **Options – Design Template**). На панели **Packaging** указывается общее количество однотипных секций компонента и имя (номер) текущей секции (на этой закладке номер секции размещаемого символа компонента изменить нельзя);

User Properties – открывает диалоговое окно просмотра и редактирования параметров компонента. В графе Name указывается имя параметра, в графе Value – его значение, в графе Attributes – характеристики (атрибуты) его отображения на схеме (R – только для чтения, V – видимые на схеме, последний признак задаются на панели Display). После выбора параметра его имя выводится в нижней части окна, а в расположенной рядом панели производится ввод его значения (после нажатия на клавишу Enter введённое значение отображается в графе Value) – таким образом вводятся, в частности, необходимые для моделирования с помощью PSpice значения параметров компонентов. Их также можно ввести или отредактировать позже, по команде **Edit – Properties**;

Display – открывает диалоговое окно для задания видимости на схеме выбранного параметра: Do Not Display – ничего не отображать на схеме; Value Only – отображать только значение параметра; Name and Value – отображать и имя, и значение параметра; Name Only – отображать только имя параметра;

Both if Value Exists – отображать и имя, и значение параметра, если его значение существует;

Attach Implementation – открывает диалоговое окно просмотра и редактирования типа объекта, присоединённого к текущему компоненту. Implementation type – тип присоединенного объекта, принимающего значения: PSpice Model – математическая модель компонента для программы PSpice; PSpice Stimulus – описание внешнего сигнала для программы PSpice; Schematic View – схема объекта и т.д. Implementation – имя присоединённого объекта; Path and filename – полное имя файла присоединённого объекта.

1.4. Редактирование размещённых компонентов

Выделите размещённый элемент, щёлкнув кнопкой мыши по его схемному обозначению. Затем вызовите его контекстное меню. Выберите опцию **Edit Properties...**, после чего откроется окно **Property Editor**, в котором приведены параметры выбранных компонентов (рис.1.4). Здесь также можно задать параметры выбранных цепей схемы (Schematic Nets), выводов компонента (Pins) и основной надписи (Title Blocks). Редактировать в этих таблицах можно только те параметры, которые не имеют атрибута R (только для чтения). Параметрам, значения которых не определены, отводятся заштрихованные ячейки: после определения их значений штриховка автоматически снимается.

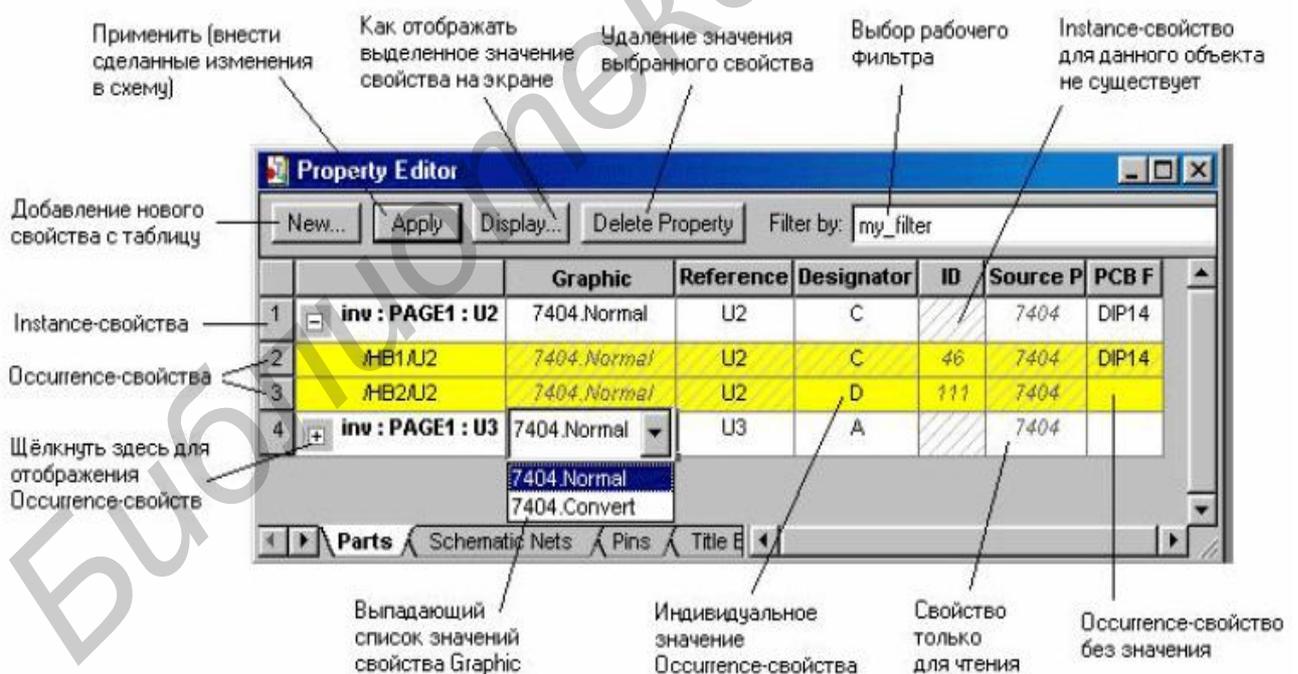


Рис.1.4. Рабочее окно редактора свойств Property Editor

Выберите из списка **Filter by:** (Отфильтровать до:) опцию **Orcad-PSpice**, после чего список свойств, доступных для редактирования, будет сокращён до тех, которые представляют интерес для моделирования средствами PSpice. Редактировать значения некоторых атрибутов компонента (позиционное обозна-

чение, номинал) можно прямо на схеме, щёлкнув мышью по нужному атрибуту для вызова окна Display Properties.

Сохраните свой проект командой **File – Save** или нажатием на соответствующую кнопку на основной панели инструментов.

1.4.1. Простановка позиционных обозначений компонентов

Позиционные обозначения компонентов (Part Reference) и номера секций (Designator) указываются вручную либо при вводе компонентов, либо при редактировании их параметров командой Edit Properties. В автоматическом режиме позиционные обозначения компонентов и упаковка секций компонентов в корпуса проставляются на схеме по команде **Tools – Annotate** менеджера проектов (см. рис.1.2) или нажатием на соответствующую кнопку панели инструментов.

1.4.2. Размещение символов «земли» и источников питания

Выполните команды **Place – Ground** («Разместить землю»), **Place – Power** («Разместить питание») или нажмите на соответствующие кнопки инструментов. Перечень символов «земли» и источников питания размещен в штатных библиотеках CAPSYM.OLB и SOURCE.OLB. При этом символы питания имеют видимые атрибуты их имён, которые можно изменять в строке **Name**. Эти имена не имеют принципиального значения, они наносятся лишь для большей наглядности схемы.

Символы «земли» и питания подключаются к узлу с именем 0 цепи или к выводам компонентов, к которым они должны быть подсоединены (чтобы убедиться в этом, достаточно просмотреть в дальнейшем файлы списков соединений *.net или заданий на моделирование *.cir). При моделировании с помощью PSpice символы источников питания подключать нельзя, используйте лишь символ «земли», имеющий имя «0». Помимо символа «земли» в библиотеку SOURCE.OLB помещены также символы постоянных логических сигналов «1» (\$D_HI) и «0» (SD_LO).

1.4.3. Размещение символов отсутствия соединений

По команде **Place - No connect** или нажатием соответствующей кнопки панели инструментов наносятся символы отсутствия соединений No-connect (NC), которые на схеме отображаются в виде символов «X», подсоединённых к выводам компонентов. Выводы, помеченные такими символами, не включаются в отчёты сообщений об ошибках и в списки соединений. Символы NC не могут быть удалены нажатием на клавишу Delete, для их удаления нужно поверх символа NC разместить ещё один такой же символ.

1.4.4. Размещение электрических цепей

Проводники цепей размещаются по команде **Place – Wire** нажатием комбинации клавиш **Shift+W** или нажатием на кнопку панели инструментов. Начало ввода цепи отмечается щелчком левой кнопки мыши, после чего курсор из-

меняет свою форму, приобретая вид креста. Цепь прокладывается движениями курсора. Каждый излом проводника фиксируется щелчком левой кнопки мыши. Ввод проводника под произвольным углом производится при нажатой клавише **Shift**. Ввод текущей цепи завершается, если её окончание совпадает с выводом компонента или любой точкой другой цепи. Принудительное завершение ввода цепи выполняется двойным щелчком левой кнопки мыши. Режим ввода цепей завершается нажатием клавиши **Esc** или выбором строки **End Wire** в контекстном меню. Если цепи начинаются или заканчиваются в любой точке сегмента другого проводника или на выводе компонента, между ними устанавливается электрическое соединение. Признаком подсоединения цепи к выводу является изменение его формы – исчезновение квадрата на его конце. Пересекающиеся сегменты проводников не соединяются друг с другом. Их соединение выполняется следующим образом:

- при прокладке пересекающегося проводника нужно остановиться в точке соединения и дважды щёлкнуть левой кнопкой мыши – в результате соединение будет помечено специальной точкой (junction):

- для соединения пересекающихся проводников курсор устанавливается в точку пересечения и выполняется команда **Place – Junction**, нажимается комбинация клавиш **Shift+J** или соответствующая кнопка на панели инструментов.

Для отмены электрического соединения проводников необходимо поверх точки соединения разместить другую такую точку.

Если при размещении компонентов на схеме один или несколько выводов соприкасаются, между ними устанавливается электрическое соединение, и если потом эти компоненты раздвинуть, автоматически прокладывается проводник.

Если при перемещении компонента или фрагмента схемы закорачивается ряд цепей, то выводится предупреждающее сообщение, и закороченные цепи подсвечиваются. Для отмены этого перемещения необходимо нажать на кнопку **OK** и затем выполнить команду **Edit – Undo Move**. Перемещение цепей без учёта их электрических соединений производится при нажатой клавише **Alt**.

При размещении цепей им автоматически присваиваются системные имена, которые невозможно изменить. Однако в списки соединений заносятся псевдонимы (**Alias**) цепей, которые для выбранной цепи определяются по команде **Place – Net Alias**, инициируемой также нажатием комбинации **Shift+N** или нажатием на кнопку панели инструментов. Каждая цепь может иметь несколько псевдонимов, из которых в таблице **Properties** выбирается текущий псевдоним, который затем и используется при составлении списка соединений.

На схеме проводники изображаются линиями стандартной неизменяемой ширины 0,2 мм при масштабе 1:1. Линиями такой же толщины изображаются линии контуров символов компонентов и их выводы.

1.4.5. Рисование шин

Линии групповой связи (шины) вводятся по команде **Place – Bus (Shift+B)** или нажатием на соответствующую кнопку панели инструментов. Отводы отдельных цепей, наклоненные под углом 45° , вводятся по команде

Place – Bus Entry (Shift+B) или нажатием на кнопку панели инструментов по тем же правилам, что и отдельные цепи. При этом удобно копировать сегменты цепей, перетаскивая их при нажатой клавише **Ctrl**, сохраняя исходный объект неизменным. Имена (псевдонимы) шин и входящих в их состав цепей назначаются по команде **Place – Net Alias**. Имя шины, состоящей из этих проводников, записывается по формату ADDR[1..N]. На схеме шины изображаются линиями стандартной ширины 0,8 мм (при масштабе 1:1).

1.4.6. Создание иерархических блоков

Любой фрагмент схемы можно оформить в виде иерархического блока, символ которого представляет собой прямоугольник, и затем разместить его на схеме, что позволяет уменьшить её размеры. Другое применение иерархических блоков – представление с их помощью повторяющихся фрагментов схем: различных фильтров, усилителей, выпрямителей, сумматоров и т.п.

Иерархический блок размещается на схеме по команде **Place – Hierarchical Block** или нажатием на соответствующую кнопку панели инструментов. Диалоговое окно этой команды имеет следующие панели: Reference – позиционное обозначение иерархического блока; Implementation Type – тип иерархического блока, принимающий значения: Schematic View – схема объекта. VHDL – описание компонента на языке VHDL; EDIF – список соединений в формате EDIF, Project – проект ПЛИС, PSpice Model – файл математической модели в формате PSpice, причём в этом блоке необходимо вручную разместить иерархические выводы, PSpice Stimulus – файл внешнего воздействия в формате PSpice; Implementation name – имя иерархического блока: Path and filename – полное имя файла, в котором находится описание иерархического блока (не указывается, если файл размещается в каталоге текущего проекта, в этом случае в качестве имени его папки принимается имя иерархического блока); Primitive – тип блока: Yes – элементарный блок: No – блок, имеющий иерархическую структуру. Default – устанавливается по умолчанию; User Properties – открытие диалогового окна для ввода дополнительных параметров блока.

После закрытия этого окна курсором на схеме наносятся прямоугольные контуры символа иерархического блока и по команде **Place – Hierarchical Pin** или нажатием на соответствующую кнопку панели инструментов вводятся выводы этого блока. В диалоговом окне команды указываются: на панели Name – имя вывода; в графе Type – тип вывода: 3 State – вывод цифрового компонента, имеющего три состояния; Bidirectional – двунаправленный вывод цифрового компонента; Input – вход; Open Collector – вывод цифрового компонента типа открытый коллектор; Open Emitter – вывод цифрового компонента типа открытый эмиттер; Output – выход; Passive – вывод пассивного компонента; Power – вывод подключения к источнику питания; на панели Width выбирается тип цепи, подключаемой к выводу: Scalar – одиночная цепь; Bus – шина.

Чтобы не открывать это окно каждый раз при размещении нового вывода, можно разместить все выводы блока одного типа, а затем отредактировать таблицу всех выводов, выбрав строку **Edit Properties** в контекстном меню.

После завершения команды автоматически создаётся папка с указанным блоком. В эту папку необходимо поместить описание иерархического блока в виде его схемы замещения (если выбран тип блока Schematic View) или текстового описания на языке VHDL. Цепям, которые подключаются к выводам иерархического блока, присваиваются имена, совпадающие с именами соответствующих выводов, или по команде **Place – Hierarchical Port** вводятся внешние порты схемы этого блока.

1.4.7. Размещение графических объектов и текста

Графическая информация вводится на схему по командам **Place – Line** (Линия), **Polyline** (Многоугольник), **Rectangle** (Прямоугольник), **Ellipse** (Эллипс) и **Arc** (Дуга). Эта информация носит только вспомогательный характер. Стили выполнения графики по умолчанию устанавливаются на закладке Miscellaneous в окне команды **Options – Preferences**. После нанесения отрезков линий или дуг возможно их редактирование с помощью диалогового окна **Edit Graphic**. В нём выбирается: Line Style & Width – тип линии (сплошная, пунктирная и др.) и её толщина (0.2, 0.8 и 2 мм); Color – цвет линии. В диалоговых окнах Edit Filled Graphic, открываемых при редактировании замкнутых фигур, кроме указанных выше параметров выбирается тип заливки Fill Style.

Рисунки, предварительно занесенные в графические файлы *.bmp, наносятся на схему по команде **Place – Picture**.

Текстовые области вводятся по команде **Place – Text** или нажатием на соответствующую кнопку панели инструментов. Предварительно текст выводится в диалоговом окне, в котором указывается ориентация текста и цвет шрифта. Принудительный перенос текста на новую строку выполняется нажатием клавиш **Ctrl+Enter**. Выбор типа и размера шрифта выполняется в окне, вызываемом кнопкой **Change**. Установка шрифта по умолчанию выполняется по команде **Options – Design Template**.

Лабораторная работа № 2

«Анализ цепей постоянного и переменного тока в PSPICE»

Цель работы: научиться создавать профили моделирования и выполнять анализ цепей постоянного и переменного тока.

2.1. Проверка электрической схемы

Перед выполнением моделирования нужно исключить ошибки схемы (повторы позиционных обозначений компонентов, обрывы цепей и т.п.). Для этого выполните команду **Tools – Design Rules Check (DRC)** менеджера проектов, после чего открывается диалоговое окно для задания правил проверки, которое имеет две закладки. На закладке Design Rules Check устанавливается, какая информация включается в отчёт о проверке. Установите опции Check entire design (Проверка всего проекта), Check design rules (Проверка соблюдения всех правил проектирования), Create DRC markers for warnings (Отображение символов DRC о возможных ошибках), Check unconnected nets (Проверка цепей, каждая из которых не соединена по крайней мере с двумя выводами компонентов или не подключена к источникам внешних сигналов), Report identical part references (Включение в отчёт списка компонентов, имеющих одинаковые позиционные обозначения), View Output (Просмотр на экране результатов проверки).

На закладке ERG Matrix можно дополнительно установить правила проверок, которые записываются в виде матрицы Electrical Rules Check. В строках и столбцах матрицы указаны типы выводов компонентов и различных портов. Незакрашенная ячейка означает разрешение соединения соответствующих выводов, предупреждения отмечаются символом W, ошибки – символом E.

После установки опций проверки нажмите **ОК**. На экране откроется окно с отчётом о проверке схемы. Одновременно отчёт о проверке заносится в файл *.drc и дублируется в файле протокола Session Log. В отчёты заносятся сообщения о нарушениях правил проектирования двух типов: Errors – ошибки, которые обязательно должны быть исправлены; Warnings – предупреждения, которые могут привести к ошибкам при моделировании проекта (реагировать на них необязательно). Для удобства найденные ошибки отображаются маркерами DRC на участках схемы, где определены ошибки. Исправьте найденные ошибки, сохраните проект и повторите команду **Tools – Design Rules Check (DRC)** для исключения ошибок.

Для продолжения проектирования после создания схемного описания проекта выполните команду **Tools – Create Netlist** менеджера проектов. При выполнении моделирования с помощью OrCAD PSpice эта команда загружается в дальнейшем автоматически.

2.2. Моделирование цепи постоянного тока

Все напряжения, которые вычисляет PSpice, являются напряжениями между отдельными точками электросхемы и одной опорной точкой, местоположение которой определяете вы сами, размещая на чертеже схемное обозначение «земли». Такие напряжения называются потенциалами. Для отображения величин потенциалов на размещённых элементах выполните команду **PSpice – Bias Points – Enable Bias Voltage Display** или нажмите кнопку  на панели инструментов. После этого отобразятся величины потенциалов во всех местах схемы, представляющих хоть какой-нибудь интерес. Иногда эта информация избыточна, что затрудняет чтение чертежа. Ненужные индикации потенциалов можно удалить, отметив эти данные с помощью мыши и затем нажав на клавишу **Delete**. При желании вы всегда сможете вернуть на экран удалённые данные, для этого нужно всего лишь отметить соответствующее место (нужный сегмент проводки) и затем нажать на кнопку  – **Toggle Voltages on Selected Nets** (Показать/скрыть напряжения для отдельных узлов).

Получите аналогичные данные для протекающего тока и рассеиваемой мощности, нажав соответственно кнопки панели инструментов или воспользовавшись командой **PSpice - Bias Points**.

2.3. Подготовка проекта для анализа цепи переменного тока

Подключите источник переменного тока или напряжения к выполненной схеме в соответствии с заданием. Создайте новый профиль моделирования командой **PSpice – New Simulation; Profile** или нажатием кнопки . В появившемся окне введите название профиля. После этого отобразится окно Simulation Setting (рис.2.1). В нём имеется 8 закладок:

General – задание имен файлов (профайла, текстового файла результатов моделирования и файла графических данных для программы построения графиков Probe);

Analysis – выбор директивы моделирования;

Include Files – подключение внешних файлов;

Libraries – загрузка библиотек математических моделей;

Stimulus – загрузка файлов описания внешних сигналов;

Options – задание параметров моделирования;

Data Collection – выбор переменных, заносимых в файл графических данных;

Probe Window – характер отображения данных в программе Probe.

Перейдите на вкладку Analysis для задания *директив моделирования*. PSpice рассчитывает следующие характеристики электронных цепей:

– режим цепи по постоянному току в «рабочей точке» (Bias Point);

– режим по постоянному току при вариации источников постоянного напряжения или тока, температуры и других параметров цепи (DC Sweep);

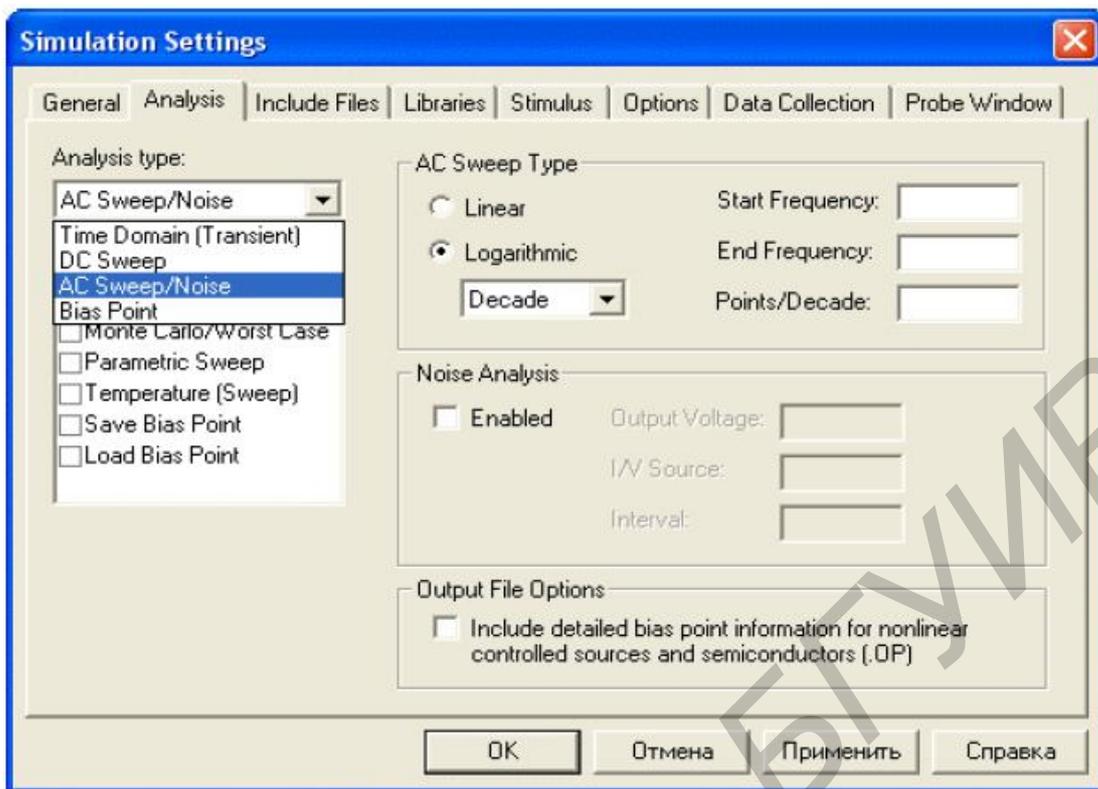


Рис. 2.1. Окно создания и редактирования профиля моделирования

- чувствительность характеристик цепи к вариации параметров компонентов в режиме по постоянному току (Sensitivity);
- малосигнальные передаточные функции в режиме по постоянному току (Transfer Function);
- характеристики линеаризованной цепи в частотной области при воздействии одного или нескольких сигналов (AC Sweep);
- спектральную плотность внутреннего шума (Noise Analysis);
- переходные процессы при воздействии сигналов различной формы (Transient Analysis);
- спектральный анализ (Fourier Analysis);
- статистические испытания по методу Монте-Карло и расчёт наихудшего случая (Monte Carlo/Worst Case);
- многовариантный анализ при вариации температуры (Temperature) и других параметров (Parametric).

Выберите директиву **AC Sweep**. В поле **AC Sweep Type** задайте шкалу выполнения анализа – Linear (Линейная шкала) или Logarithmic (Логарифмическая шкала), а также диапазон частот: Start Frequency (Начальная частота), End Frequency (Конечная частота) и Total Points (Общее количество точек расчёта). Опция **Noise Analysis** включается при анализе спектральной плотности внутреннего шума. При включении опции **Include detailed bias point information...** в выходной файл анализа запишутся значения потенциалов на всех нелинейных элементах схемы (полупроводниковые компоненты, зависимые источники сиг-

налов и др.). Нажмите кнопку **OK**. В дальнейшем для редактирования созданного профиля моделирования используйте команду **PSpice – Edit Simulations Profile** или нажмите кнопку .

2.4. Анализ цепи переменного тока постоянной частоты

Проведите анализ выходного напряжения и тока схемы для одной частоты. Для этого введите одинаковое значение для начальной и конечной частот и количество расчётных точек, равное 1, на закладке **Analysis** директивы **AC Sweep**. Опции **Noise Analysis** и **Include detailed bias point information** не включайте. На вкладке **Probe Window** отключите все опции **Display**.

Присвойте выходной цепи какое-либо имя, например **Out**. Для этого выполните команду **Place – Net Alias...** (Рабочий псевдоним) или щёлкните по соответствующей кнопке панели инструментов. В открывшемся окне задайте метку с именем **OUT** и нажмите кнопку **OK**. После этого метка **out** «приклеится» к курсору. Щелчком левой кнопки установите метку так, чтобы она соприкасалась с нужным сегментом проводки, а затем завершите режим позиционирования, нажав правую кнопку мыши и выбрав в всплывающем меню команду **End Mode**.

Подключите библиотеку **SPECIAL.sib** для своего проекта. Установите символ **VPRINT2**, подключив его к выходной нагрузке схемы, чтобы данные о разности потенциалов на нагрузке записывались в выходной файл. Теперь остается указать, какие именно сведения требуются для записи. Для этого надо открыть окно атрибутов символа **VPRINT2**.

Введите **yes** (да) в поле атрибута **AC**, указав тем самым, что речь идет о данных AC-анализа, а также введите «**yes**» в поле атрибутов **MAG** (Амплитуда) и **PHASE** (Фаза), чтобы определить положение по фазе и амплитуде (**MAGnitude**). Нажмите кнопку **Apply**. В заключение выведите на чертеж индикаторы введённых атрибутов, используя кнопку **Display**.

Сохраните проект. Запустите процесс моделирования командой **PSpice – Run** или щёлкните по соответствующей ей кнопке. Можно также использовать клавишу **F11**. Во время выполнения моделирования на экране появится окно программы **PSpice A/D**, где можно наблюдать за ходом выполнения расчётов.

Результаты анализа **PSpice A/D** в соответствии с установками записываются в выходной файл. Чтобы его просмотреть в **PSpice AD**, выполните команду **View – Output File** или нажмите соответствующую кнопку на правой панели инструментов справа. Выходной файл можно также просмотреть в **OrCAD Capture**, выполнив команду **PSpice – Mew Output File**.

Найдите в нижней части выходного файла интересующие результаты моделирования амплитуды выходного напряжения **VM(OUT, 0)** и угла фазы **VP(OUT, 0)** при заданной частоте **FREQ**. Добавьте к своему чертежу символ **IPRINT** для измерения тока в цепи нагрузки. Задайте для него атрибуты **AC = yes**, **MAG=yes** и **PHASE=yes**. Запустите процесс моделирования и найдите затем в выходном файле интересующие данные.

Лабораторная работа № 3 «Анализ переходных процессов»

Цель работы: научиться создавать профили моделирования и выполнять анализ переходных процессов в цепях постоянного и переменного тока.

3.1. Настройка профиля моделирования

Для исследования временной зависимости электрических процессов программа PSpice использует **Transient-анализ**. Графическое отображение результатов анализа переходных процессов осуществляется с помощью программы-осциллографа PROBE.

Загрузите свою схему. Если на чертеже присутствуют символы VPRINT и IPRINT, удалите их. В профиле моделирования выберите тип анализа **Transient Analysis** (рис.3.1). Задайте временные характеристики анализа:

Run to time (Выполнять до...) – конечная временная точка анализа;

Start saving data after (Начать сохранение данных после...) – в этом поле можно определить момент, с которого следует начать запись данных в выходной файл. Опция иногда используется для задания каких-либо строго определённых временных интервалов для уменьшения размеров выходного файла;

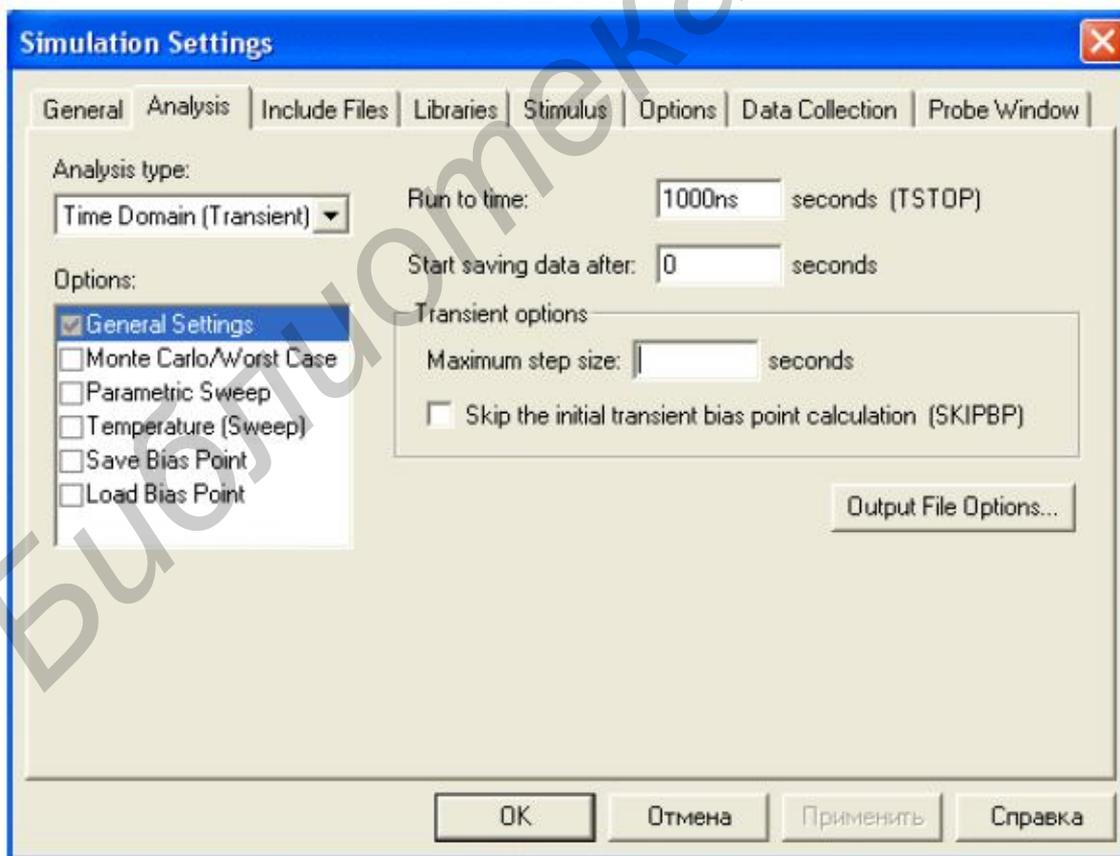


Рис. 3.1. Настройка профиля моделирования для анализа переходных процессов

Maximum step size (Максимальный размер шага) – PSpice автоматически определяет временной интервал между пунктами (т.е. между контрольными точками), для которых он проводит анализ схемы. Если токи и напряжения на определённых участках цепи изменяются слишком сильно, то PSpice автоматически выбирает меньшие интервалы, при незначительных изменениях – наоборот, большие. Это сокращает время проведения расчётов, не нанося ущерба качеству анализа. Однако максимально возможный интервал между контрольными точками определяется значением, которое вводится в это поле. Если оставить поле пустым, то PSpice устанавливает максимальную ширину шага, равную 2 % от заданного значения в поле **Run to time**, т.е. просчитывает как минимум 50 контрольных точек. Как правило, хороших результатов за приемлемое время можно добиться при расчёте 1000 - 2000 точек. Если волновые фронты на диаграмме получаются чересчур крутые, нужно увеличить количество контрольных точек.

Опцию **Skip the initial transient bias point calculation** (Пропустить расчёт начальной точки смещения) можно не устанавливать.

Выберите в окне **Simulations Settings** вкладку **Libraries**, чтобы открыть окно, в котором производится регистрация библиотек моделей. Убедитесь, что в полях **Filename** и **Library files** записана используемая библиотека вашего проекта. В противном случае введите в поле **Filename** название используемой библиотеки (*.lib) или укажите её, нажав кнопку **Browse**. Нажмите кнопку **Add as Global** (Добавить как глобальную), чтобы зарегистрировать библиотеку для всех последующих циклов моделирования.

Перейдите на вкладку **Options**. В поле **Category** выберите **Analog Simulation** и установите номинальную температуру работы схемы в поле **Default Nominal Temperature**. В дальнейшем здесь также можно задавать точность расчёта выходных характеристик. Перейдите в категорию **Output file** и включите опции **Device Summary** и **Node Summary (connections)** для записи общего описания схемы в выходной файл. Остальные опции, заданные по умолчанию, не отключайте.

На вкладке **Probe Window** установите опцию **Display Probe Window** с вариантом **after simulations has completed** (Показывать окно Probe после выполнения моделирования) и **Show nothing** (Ничего не показывать). Нажмите кнопку **OK**. Сохраните проект (**File – Save**).

3.2. Использование программы-осциллографа Probe

Для графического отображения результатов моделирования, например, для представления временной диаграммы напряжения, PSpice использует графическую программу Probe. Эта программа обладает гораздо большими возможностями, чем просто программа-осциллограф. С её помощью можно не только графически отображать результаты моделирования в виде диаграмм, но и математически связывать друг с другом различные результаты моделирования.

Запустите процесс моделирования командой **PSpice – Run (F11)** или кнопкой  панели инструментов. Программа Probe вызывается автоматически после завершения моделирования в PSpice. Расположенная в центре основная часть экрана предназначена для вывода результатов моделирования в графическом или текстовом виде на нескольких закладках. В левой нижней части экрана приводится информация о прохождении этапов моделирования. Здесь же отображаются сообщения об ошибках, которые также заносятся в файл данных (меню **View – Output File** или нажатием на кнопку ). Программа Probe выводит сообщение о количестве ошибок и предлагает просмотреть их на экране. Текст сообщений об ошибках содержит номер секции (Section), значение момента времени (Time), тип сообщения (Message-Type) и позиционное обозначение компонента (Device). В строке Minimum Severity выбирается класс просматриваемых сообщений об ошибках. В графе Sort by выбирается принцип сортировки сообщений: Section – по секциям, Time – по моментам времени, Type – по типам, Device – по устройствам.

Отображаемые при моделировании сообщения (табл. 3.1) подразделяются на следующие классы:

Таблица 3.1

Сообщения об ошибках, выдаваемые PSpice в ходе моделирования

Сообщение	Класс	Причина
SETUP	WARNING	Недостаточное время установки
HOLD	WARNING	Недостаточное время удерживания
RELEASE	WARNING	Недостаточное время нахождения сигнала в неактивном состоянии (обычно необходимого для выполнения контроля типа CLEAR)
WIDTH	WARNING	Недостаточна длительность импульса сигнала
FREQUENCY	WARNING	Частота переключения сигнала находится вне допустимых пределов
GENERAL	INFO	Обнаружение ошибки устройством контроля, заданного в секции GENERAL, примитива CONSTRAINT с помощью булевых выражений
AMBIGUITY CONVERGENCE	WARNING	Временная неопределённость, связанная с одновременным поступлением на один вход импульсов со спадающим и нарастающим фронтами
CUMULATIVE AMBIGUITY	WARNING	Неопределённости уровней сигналов, связанные с суммированием частично перекрывающихся фронтов импульсов
NET-STATE CONFLICT	WARNING	При подаче на один вход одновременно нескольких сигналов различного уровня программа PSpice заменяет его неопределённым сигналом X
DIGITAL INPUT VOLTAGE	SERIOUSE	Входной сигнал находится вне допустимого диапазона напряжений. Моделирование продолжается при замене входного напряжения граничным значением

FATAL – фатальные (моделирование прекращается); SERIOUS – серьезные; WARNING – предупреждения; INFO – информационные.

В правой нижней части окна Probe имеются три закладки последнего сеанса моделирования:

Analysis – детальная информация о ходе моделирования;

Watch – вывод текущих значений напряжении узлов, помеченных на схеме символами WATCH 1 (из библиотеки Special);

Devices – статистика состава компонентов проекта.

3.2.1. Построение диаграмм

После завершения моделирования на экране автоматически появится графическое окно Probe (по умолчанию с чёрным фоном), как было установлено в ходе предварительной настройки, но без диаграммы. Для этого нужно определить, какая именно диаграмма требуется для построения. Выполните команду **Trace – Add Trace...** или нажмите на кнопку , после чего откроется окно **Add Traces** (Добавить диаграммы), показанное на рис. 3.2.

В левой части окна **Add Traces** перечислены все токи и потенциалы узлов рассматриваемой схемы. В правой части находится список математических функций и связующих, которые программа Probe может применить к отдельным диаграммам. В центральной части окна можно указать, какие данные вы хотели бы видеть в списке диаграмм. Если проведён анализ, в котором были собраны как аналоговые, так и цифровые данные, тогда, отметив опции **Analog**

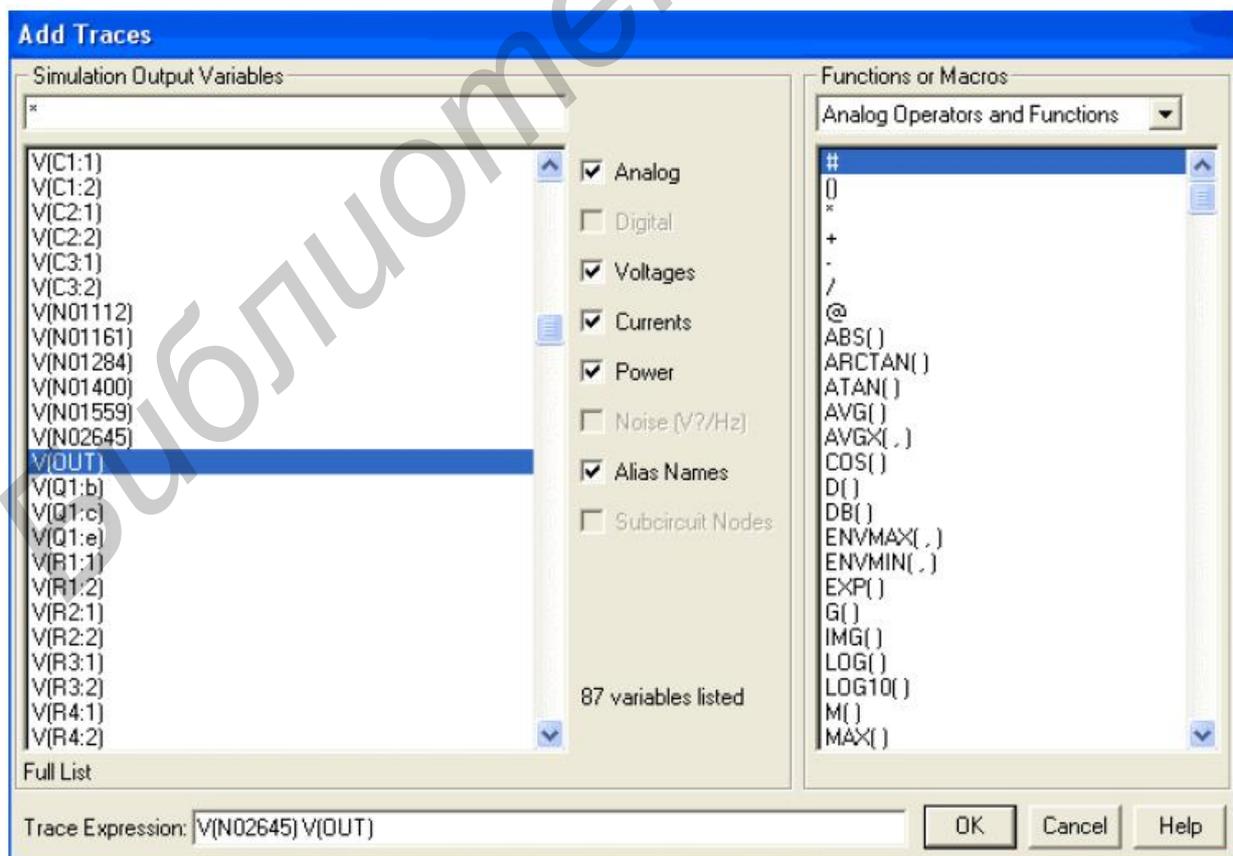


Рис. 3.2. Выбор диаграмм схемы

(Аналоговые) или **Digital** (Цифровые), можно выбрать, какие именно данные должен содержать список диаграмм. С помощью опций **Voltages** (Напряжения) и **Currents** (Токи) определяется, какие данные следует отразить в окне **Add Traces**: только напряжения, только токи либо и напряжения, и токи одновременно.

Формат записи списка диаграмм аналогичен записи цепей в выходном файле. Например, запись $V(C2:1)$ означает величину напряжения на первом контакте конденсатора $C2$.

Включите опцию **Alias Names** (Альтернативные имена), чтобы увидеть в списке диаграмм все альтернативные имена для вычисленных токов и напряжений. Выделите в списке диаграмм строку $V(OUT)$, чтобы затем получить величину напряжения в выходной цепи, которую вы задали ранее. При этом в строке **Trace Expression** запишется выбранная величина. Можно также самостоятельно указать имя одной или нескольких переменных или выражений. При вводе имени только одной переменной на оси Y автоматически проставляются единицы измерений в соответствии с типом переменной. Например, в режиме АС при построении графика модуля напряжения $V(1)$ ось Y получит размерность в вольтах, фазы этого напряжения $VP(1)$ – в градусах, а группового времени запаздывания $VG(1)$ – в секундах. На график можно вывести не только значения отдельных переменных, но и математические выражения. Нажмите кнопку **ОК**. В графическом поле отобразится величина напряжения $V(OUT)$. При этом по оси абсцисс указывается время (Time), а по оси ординат – величины напряжения. При желании всегда можно добавить новые диаграммы или удалить все имеющиеся (Ctrl+Delete).

При вводе переменных в программе Probe соблюдаются следующие правила. Символы в верхнем и нижнем регистрах не различаются, за исключением суффиксов $m = 10^{-3}$ и $M = 10^{-6}$, используемых при назначении масштабов по осям координат. Суффиксы используются только для обозначения масштаба осей переменных, и их нельзя применять в арифметических выражениях. Кроме того, в программе Probe пользуются следующими суффиксами для простановки единиц размерности на осях координат: V – вольты; d – градусы; A – амперы; s – секунды; W – ватты; H – герцы.

Если полученный результат не устраивает, можно задать новые настройки в профиле моделирования непосредственно в программе Probe через меню **Simulation – Edit Profile** или нажатием на кнопку . После редактирования профиля запустите заново процесс моделирования кнопкой  панели инструментов Probe.

Изучив начальную область диаграммы, можно убедиться в том, что анализ переходных процессов программы PSpice имеет одно важное качество: он представляет собой комбинацию анализа переходного процесса и стационарного состояния, т.е. показывает характеристики схемы в момент, когда переключение из закрытого состояния в открытое уже завершилось. Однако при отображении переходного процесса необходимо следить, чтобы не возникали проблемы со сходимостью.

3.2.2. Использование электронного курсора

Для более детального и наглядного анализа в Probe удобно использовать встроенный инструмент электронного курсора. Координаты точек на графиках считываются с помощью двух электронных курсоров. Дисплей переключается в режим считывания координат по команде **Trace – Cursor – Display** (или нажатием на кнопку ). В правом нижнем углу экрана располагается окно, в котором отображаются текущие координаты двух курсоров и расстояние между ними по двум осям ординат. Курсоры могут быть связаны с одним или двумя графиками аналоговых переменных. Одновременно на временных диаграммах считываются логические состояния всех цифровых переменных. В первый момент времени оба курсора помещены в начало первого аналогового графика. Первый курсор перемещается с одной кривой на другую нажатием клавиши Ctrl+4 и Ctrl+6, второй – Shift+Ctrl+4 и Shift+Ctrl+6. Первый курсор перемещается вдоль выбранной кривой с помощью клавиш 4 и 6 (или →, ←). Каждое нажатие на эти клавиши приводит к перемещению курсора по графику на один пиксел. Если клавиша удерживается в нажатом состоянии, то перемещение происходит блоками по 10 пикселей. Для перехода в начало или конец графика используются клавиши Home и End соответственно. Для перемещения второго курсора используются те же клавиши, но с добавлением Shift. Курсорами можно также управлять посредством мыши: левая кнопка управляет первым курсором, правая – вторым. Нажатие кнопки мыши перемещает электронный курсор к ближайшей по оси X точке на выбранном графике. Если график при данном значении X имеет несколько значений Y, то электронный курсор переключается в точку Y, ближайшую к положению курсора мыши. С помощью мыши можно также выбрать график, отмечая курсором его имя. Однако точность позиционирования электронного курсора при управлении с клавиатуры выше. При наличии на экране семейства кривых перемещение курсора в конец одного графика приведет к его переходу в начало следующего.

В меню **Cursor** имеются команды управления положением курсора: **Peak**, **Trough**, **Slope**, **Min**, **Max**, **Point** и **Search Commands**. Эти команды изменяют положение того курсора, который с помощью функциональных клавиш или мыши перемещался последним. Если до их выполнения оба курсора не перемещались, то эти команды изменяют положение первого курсора. Большинство команд перемещает курсор только в одном направлении, совпадающем с направлением его последнего перемещения. Если курсор был неподвижен, то он перемещается вперед. Исключение составляют команды поиска **Search Commands**, которые могут изменить направление поиска, и команды **Min** и **Max**, которые не обращают внимания на направление перемещения по умолчанию. За исключением команд **Min** и **Max** остальные команды перемещают курсор от его текущего положения в направлении, заданном по умолчанию:

Peak – перемещение курсора к следующему пику (с обеих сторон от пика имеется хотя бы по одной точке с меньшим значением Y);

Trough – перемещение курсора к следующей впадине (с обеих сторон от нее имеется хотя бы по одной точке с большим значением Y);

Slope – перемещение курсора к **следующему** максимуму огибающей (огибающие могут быть как положительными, так и отрицательными). Курсор обычно перемещается к точке, находящейся посередине между соседними точками данных;

Min – перемещение курсора к точке на графике, имеющей минимальное значение Y;

Max – перемещение курсора к точке на графике, имеющей максимальное значение Y;

Point – перемещение курсора к точке следующего отсчета;

Search Commands – ввод одной или нескольких команд для поиска определённой точки на графике и перемещения на неё курсора, например, **Search backward for peak** означает поиск следующего пика в обратном направлении.

3.2.3. Изменение имени переменной, откладываемой по оси X

По умолчанию по оси X откладывается независимая переменная. Изменение её имени производится в меню **Plot – Axis Settings** с помощью опции **Axis Variable**. Имя переменной вводится по приглашению программы по тем же правилам, что и в режиме Trace – Add Trace. Команда позволяет построить зависимость любой переменной, откладываемой по оси Y, от любой переменной, откладываемой по оси X.

3.2.4. Построение параметрических зависимостей

Если при моделировании проводился многовариантный анализ, возможно построение зависимости целевой функции от варьируемого параметра или температуры. Например, можно построить график зависимости резонансной частоты усилителя от температуры или ширины импульса от какого-нибудь варьируемого параметра. Графики этих зависимостей можно построить двумя способами. Во-первых, после выбора опции **Performance Analysis** команды **Plot – Axis Settings – X Axis** меню или щелчка мышью по пиктограмме на экране Probe появляется заготовка графика, на котором по оси X откладывается варьируемый параметр. Для выбора целевой функции, откладываемой по оси Y, выполняется команда **Trace – Eval Goal Function**, после этого открывается диалоговое окно для выбора целевой функции и ввода её параметров (графики «обычных» переменных в этом режиме построить нельзя). После повторного щелчка по пиктограмме восстанавливается прежний вид экрана.

По команде **Trace – Performance Analysis** можно также загрузить Мастер выбора целевых функций и заполнения их параметров. Нажатие на кнопку **Select Sections** Мастера позволяет из всех вариантов параметров выбрать необходимые. После нажатия на кнопку **Wizard** открывается диалоговое окно для выбора целевой функции. После выбора в открывшемся списке целевой функции и нажатия на кнопку **Next** открывается следующее окно для выбора имени переменной и числовых параметров целевой функции.

3.2.5. Нанесение меток на графики

По команде **Plot – Label** на графики аналоговых переменных наносятся метки в виде текстовых и графических символов, которые представляют собой отрезки линий, линейно-ломаные линии, стрелки, прямоугольники, окружности и эллипсы. Метки наносятся с помощью мыши. Методика нанесения всех меток одинакова: сначала в определенной точке поля графика щелчком левой кнопки мыши фиксируется начальный элемент метки и относительно него наносится остальная часть текстовой или графической метки. Повторный щелчок кнопкой мыши фиксирует метку. Нажатие правой кнопки мыши или клавиши **Esc** отменяет нанесение метки. Все операции с метками, за исключением редактирования заголовка графика, выполняются на текущем активном графическом окне. С помощью мыши можно, не прерывая процесса создания метки, сделать активным другое окно, переместив в его поле курсор мыши и нажав левую кнопку. Однако метки нельзя наносить в графическом окне построения цифровых сигналов. Метки можно наносить также вне пределов видимой части графика, они будут видны после изменения масштаба по осям ординат. Выбранные щелчком мыши метки можно перемещать и удалять. Метки наносятся с помощью следующих команд:

Text (также кнопка ) – ввод текста. Содержание текста вводится в специальном окне по приглашению «Enter text label» и после нажатия кнопки **Enter** переносится в нужное место на поле графика с помощью мыши или функциональных клавиш;

Line – проведение отрезка линии, соединяющей две точки, по приглашению программы в строке сообщений «Place the cursor at the start of the line»;

Poly-line – проведение линейно-ломаных линий, заданных точками излома. Ввод таких объектов завершается нажатием клавиши **Esc** и при выполнении команд сдвига и удаления они воспринимаются как единое целое;

Arrow – нанесение на график отрезка линии со стрелкой на конце. Точка привязки совмещена с началом отрезка, а стрелка перемещается вместе с курсором до момента фиксации;

Box – нанесение прямоугольника по заданным точкам противоположных углов;

Circle – нанесение окружности по заданному центру и произвольной точке на окружности;

Ellipse – нанесение эллипса с указанием его угла наклона, точки центра и длины большой и малой полуосей. По приглашению программы в командной строке вводится значение угла наклона эллипса в градусах: Enter the inclination of the ellipse: 0.0;

Mark – вывод на экран координат последней точки, помеченной курсором.

3.2.6. Сохранение атрибутов экрана

По команде **Windows – Display Control** сохраняются атрибуты экрана дисплея для последующей регенерации экрана графиков. К этим атрибутам от-

носятся количество окон на экране, выбор линейного или логарифмического масштаба по осям X и Y, наличие графиков цифровых сигналов и т.д. По умолчанию атрибуты экрана записываются в файл с именем текущей схемы и расширением .rgb, однако их можно записать в другой файл, указывая его имя в командной строке вызова программы Probe.

3.2.7. Копирование и печать графиков

Командой **Windows-Copy to Clipboard** содержание текущего окна скопируйте в буфер обмена для передачи в другие программы ОС Windows. Назначение опций окна копирования (рис.3.3) следующее:

make window and plot backgrounds transparent – сделать фон окна и графика прозрачным;

use screen colors – сохраняется палитра цветов экрана программы Probe;

change black and white – поменять местами белый и черный цвета (создать негатив);

change all colors to black – заменить все цвета чёрным (кроме белого).

Непосредственный вывод графиков на принтер или плоттер выполняется с помощью команд меню **File – Print...** Однако сначала рекомендуется выполнить предварительный просмотр расположения графиков на листе бумаги по команде **File – Print Preview**.

Таблицы данных выводятся также в текстовый файл результатов моделирования *.OUT, если на схему поместить символы PRINT1, VPRINT1, VPRINT2, IPRINT, PRITNTDGTGLHG из библиотеки Special.



Рис. 3.3 Фильтр цвета: опции настройки копирования графика в буфер

3.3. Перекрёстное исследование с помощью маркеров

Существует два способа, как получить на экране Probe изображение требуемых результатов анализа. Первый способ – выбрать необходимые для отображения диаграммы из списка диаграмм в окне **Add Traces**. Второй способ – устанавливать маркеры в тех местах схемы, данные которых следует отобразить в Probe, что очень удобно. Маркеры соответствуют цветам диаграмм, что позволяет при одновременно открытых окнах Probe и CAPTURE легко подчинять диаграммы соответствующим местам на схеме. Прежде чем разместить на схеме первый маркер, следует знать некоторые принципы так называемого кросс-пробинга в редакторе CAPTURE:

- размещённые на схеме маркеры отображаются на чертеже и приобретают свои свойства только в том случае, когда активизирован соответствующий профиль моделирования;

- размещённые на схеме маркеры становятся цветными только тогда, когда на экран Probe выведены соответствующие диаграммы. Если экран Probe не открыт или диаграмма, соответствующая определённому маркеру, удалена с экрана PROBE, то маркеры приобретают серый цвет;

- нужный профиль моделирования можно активизировать в окне организатора проекта, в котором папка **Simulation Profiles** содержит все профили моделирования, которые когда-либо были созданы и не удалялись. Активный в настоящий момент профиль отмечен восклицательным знаком. Чтобы активизировать другой профиль, надо его маркировать, затем открыть, нажав правую кнопку мыши, соответствующее ему всплывающее меню и выбрать опцию **Make Active** (Сделать активным).

Для удобства отображения маркеры можно вращать нажатием клавиши **R** клавиатуры. Активизируйте профиль моделирования, который был создан для Transient-анализа и разместите на чертеже схемы два маркера напряжения, чтобы отобразить в Probe потенциал коллектора конечного транзистора и выходное напряжение V(OUT) (рис. 3.4). Для этого нажмите кнопку .

Заново проведите моделирование схемы и создайте на экране Probe новое изображение. Передвиньте маркеры и убедитесь в том, что соответствующим образом меняется и изображение в окне Probe (рис. 3.5).

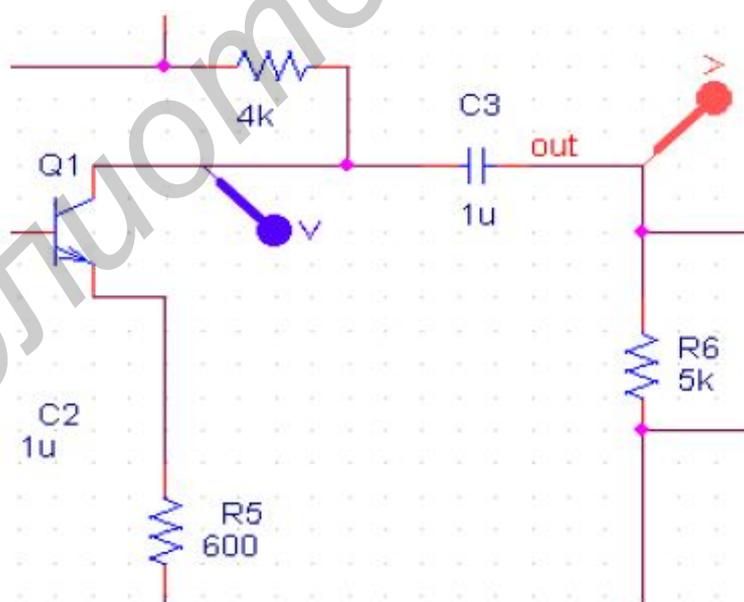


Рис. 3.4. Установка маркеров напряжения на фрагменте схемы

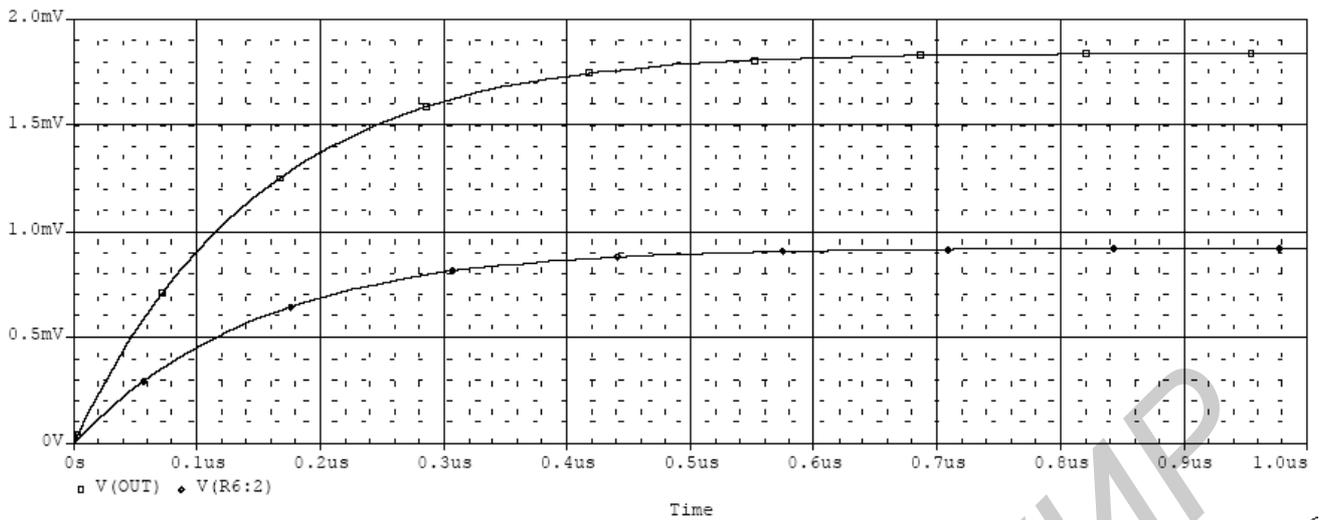


Рис. 3.5. Изменение вида графиков Probe при работе с маркерами

Помимо маркеров напряжения (а точнее маркеров потенциала) существует ещё маркеры тока и разности потенциалов, которые активизируются нажатием на соответствующие кнопки  и .

Выбрав в меню PSpice опцию **Markers – Advanced**, можно активизировать и другие маркеры (дБ, угол фазы, групповое время задержки реальной и воображаемой части).

Лабораторная работа №4

«Входные и выходные файлы моделирования в PSpice»

Цель работы: научиться создавать входные файлы для моделирования в PSpice и анализировать выходные файлы.

При графическом вводе схем как с помощью программы PSpice Schematics, так и с помощью OrCAD Capture создаются три *файла задания* с одним и тем же именем и различными расширениями имени: *.NET (таблица соединений), *.ALS (список подключения цепей к выводам компонентов) и *.CIR (список директив моделирования). При моделировании в PSpice непосредственно загружается файл *.CIR, в котором имеются ссылки на остальные файлы. Для его составления можно вручную сначала на бумаге нарисовать принципиальную схему моделируемого устройства и присвоить имена всем её узлам (при графическом вводе этого делать необязательно). После процесса моделирования создаётся *выходной файл* *.OUT, содержащий результаты моделирования и сообщения об ошибках. Его можно просмотреть как текстовый файл, а также открыть через меню **PSpice – View Output File** в OrCAD Capture или **View – Output File** (или нажатием на кнопку ) в программе Probe.

4.1. Структура текстового задания на моделирование

Задание на моделирование для PSpice заносится в текстовые файлы. Знание их форматов при графическом вводе схемы формально не является обязательным, но очень удобно, так как значительно облегчает поиск ошибок при отладке схемы, позволяет создавать шаблоны новых символов компонентов, а также позволяет составлять текстовые описания макромоделей (иногда это намного проще, чем рисовать их схемы замещения).

Запись текстового задания имеет обязательный формат. Имя файла произвольное, в качестве расширения имени рекомендуется использовать *.CIR, воспринимаемое программой PSpice по умолчанию. Первая строка файла – строка заглавия, которая затем выводится в виде заголовка в выходном файле. Строки комментариев содержат символ «*» в первой позиции. Конец любой строки после знака «;» также воспринимается как комментарий. Последняя строка файла записывается как .END. Порядок ввода промежуточных строк значения не имеет, за небольшим исключением: строка описания функции .FUNC должна быть помещена до ссылки на неё; директива .OPTIONS NOECHO запрещает запись в выходной файл расположенной после неё части описания схемы.

Строка продолжения начинается с символа «+» в первой позиции, максимальная длина строки 132 символа. Число пробелов между операторами в строке произвольное. Пробелы и запятые или знаки равенства эквивалентны.

► Программа PSpice не различает прописные и строчные буквы.

Предложения входного языка PSpice делятся на **описания** компонентов и **директивы**.

Описанием компонента считается любая строка, не начинающаяся с символа «.» (кроме первой строки и строк комментариев и продолжений). Описание компонента имеет следующую структуру: *<имя компонента> <номера двух или более узлов> [*<имя модели>*] <числовые данные >*.

Имя компонента состоит из последовательности символов латинского алфавита и цифр, общая длина имени не должна превосходить 13 символов (рекомендуется не более 8 символов). Первый символ – одна из букв латинского алфавита от A до Z, далее в любом порядке – алфавитно-цифровые символы и знаки \$, _, *, /, %. Первый символ имени компонента определяет его тип, например, R1, ROUT, Q12 (табл. 4.1).

Таблица 4.1

Первые символы в обозначении некоторых компонентов

Первый символ имени	Тип компонента
B	Арсенид-галлиевый полевой транзистор (GaAsFET) с каналом n-типа
C	Конденсатор
D	Диод
E	Источник напряжения, управляемый напряжением (ИНУН)
F	Источник тока, управляемый током (ИТУТ)
G	Источник тока, управляемый напряжением (ИТУН)
H	Источник напряжения, управляемый током (ИНУТ)
I	Независимый источник тока
J	Полевой транзистор с управляющим p-n-переходом (JFET)
K	Связанные индуктивности и линии передачи, ферромагнитные сердечники
L	Индуктивность
M	МОП-транзистор (MOSFET)
N	Аналого-цифровой преобразователь на входе цифрового устройства
O	Цифроаналоговый преобразователь на выходе цифрового устройства
Q	Биполярный транзистор
R	Резистор
S	Ключ, управляемый напряжением
T	Линия передачи
V	Независимый источник напряжения
W	Ключ, управляемый током
X	Макромодель (операционный усилитель, компаратор напряжения, регулятор напряжения, стабилизатор напряжения и др.)
Y	Цифровое устройство
Z	Статически индуцированный биполярный транзистор (IGBT)

При графическом вводе схем пользователь может вводить первый символ имени компонента по своему усмотрению, так как графические редакторы при составлении текстового описания схемы для передачи его в PSpice к именам всех компонентов в соответствии с табл. 4.1 автоматически добавляют префиксы, что выполняется в соответствии с шаблонами символов компонентов. Поэтому на схемах компоненты можно именовать, не придерживаясь приведенных в табл. 4.1 символов, но они должны быть учтены при составлении шаблонов символов. Например, транзисторы всех типов можно согласно ЕСКД именовать как V1, V2, V3..., а при составлении текстового описания схемы биполярный транзистор получит имя Q_V1, полевой – J_V2, МОП-транзистор – M_V3 и т.д.

Имена узлов могут быть целыми числами от 0 до 9990 или алфавитно-цифровыми символами длиной не более 131 символа. В качестве этих символов используются буквы латинского алфавита от A до Z, цифры 0, 1, ..., 9 и знаки «\$», «_», «*», «/», «%». Например, запись \$G_CD4000_VDD означает источник питания +5В КМОП ИС CD4000, а запись SG_CD4000_VSS – нулевую цепь.

4.2. Директивы моделирования

Директивы используются для непосредственного задания типа расчёта рассматриваемой схемы (см. разд. 2.3). Каждому виду моделирования соответствует определенная директива. Запись директивы начинается с точки, например, .INC, .AC. При работе с OrCAD Capture директивы моделирования задаются или редактируются по командам **PSpice – New – Edit Simulation Profile**. Рассмотрим запись основных директив моделирования.

AC Sweep – расчёт частотных характеристик и уровня шума. Частотные характеристики рассчитываются по директиве

.AC [LIN] [OCT] [DEC] <n> <начальная частота> <конечная частота>.

Эта директива задаёт диапазон частот в пределах <начальная частота> ... <конечная частота>. Параметр LIN устанавливает линейный шаг по частоте, при этом *n* – общее количество точек по частоте. Параметры OCT и DEC устанавливают логарифмический характер изменения частоты октавами и декадами соответственно. Параметр *n* определяет в таком случае количество точек по частоте на одной октаве или декаде. При этих расчётах возможен анализ спектральной плотности внутреннего шума, который производится по директиве

.NOISE Y(<узел>[,<узел>]) <имя> <n>.

DC Sweep – вариация параметров при расчёте режима по постоянному току. Расчёт режима по постоянному току производится при вариации одного или нескольких источников постоянного напряжения или тока, температуры, параметров моделей компонентов схемы и глобальных параметров по директивам:

.DC [LIN] <имя 1-й переменной> <начальное значение>

+ <конечное значение> <приращение>

+ [<имя 2-й переменной> <начальное значение>

+ <конечное значение> <приращение>];

.DC [OCT] [DEC] <имя 1-й переменной> <начальное значение> + <конечное значение> <количество точек>
+ [<имя 2-й переменной> <начальное значение> + <конечное значение> <количество точек>];

.DC <имя 1-й переменной> LIST <значение> + [<имя 2-й переменной> LIST <значение>].

Режим по постоянному току рассчитывается для нескольких значений варьируемых переменных, в качестве которых могут приниматься:

- имена независимых источников напряжения или тока;
- параметры моделей компонентов (указываются тип компонента, имя модели и в круглых скобках имя варьируемого параметра);
- температура (в качестве ее имени указывается TEMP);
- глобальные параметры (указывается ключевое слово PARAM и вслед за ним имя;
- варьируемого глобального параметра, определённого ранее.

Характер изменения переменных задаётся ключевыми словами:

LIN – линейный масштаб (ключевое слово LIN можно не указывать);

DEC, OCT – логарифмический масштаб декадами или октавами;

LIST – список значений.

Transient – расчёт переходных процессов. Переходные процессы рассчитываются по директиве

TRAN[/OP] <шаг вывода данных> <конечное время> + [<начальный момент времени вывода данных> + [<максимальный шаг>]] [SKIPBP].

Переходные процессы всегда рассчитываются с момента $t = 0$ до момента <конечное время>. Перед началом расчёта переходных процессов рассчитывается режим по постоянному току. Шаг интегрирования выбирается автоматически. Если задан параметр <начальный момент времени вывода данных>, то вывод результатов расчёта производится на интервале времени от $t = 0$ до указанного значения. Максимальное значение шага интегрирования устанавливается параметром <максимальный шаг>; если он не указан, то максимальный шаг интегрирования устанавливается равным <конечное время> /50. В частности, максимальное значение шага удобно использовать при выполнении спектрального анализа как с помощью директивы .FOUR, так и в программе Probe. Если исследуемая схема не имеет инерционностей, то шаг интегрирования равен величине <шаг вывода данных>.

Величина <шаг вывода данных> используется для вывода данных по директивам .PRINT и .PLOT. При этом для расчёта значений переменных применяется квадратичная интерполяция между дискретными отсчётами (это не относится к выводу графиков с помощью программы Probe, где применяется линейная интерполяция). Импульсные характеристики управляемых источников, заданных передаточными функциями, рассчитываются с помощью обратного преобразования Лапласа с <шагом вывода данных>.

Режим по постоянному току определяет начальные условия для расчёта переходных процессов. Это связано с тем, что значения источников сигналов в

момент $t = 0$ могут отличаться от их постоянных составляющих. При этом в выходной файл .out выводятся только значения узловых потенциалов в режиме по постоянному току. Указание в директиве .TRAN суффикса OP выводит в этот файл полную информацию о режиме по постоянному току.

Если в конце директивы .TRAN указать параметр SKIPBP (Skip Bias Point), то расчёт режима по постоянному току отменяется.

Temperature – вариация температуры. Вариация температуры производится по директиве

.TEMP <температура> .

Здесь указывается список значений температуры (по шкале Цельсия), для которых следует выполнить все указанные в задании директивы анализа характеристик. Если указано несколько значений температуры, то все виды анализа проводятся для каждой температуры. Если директива .TEMP не приведена, а в директиве .OPTIONS не указано другого значения температуры, то расчёты проводятся для номинальной температуры 27 °С.

Управление выдачей результатов. Результаты расчётов в виде таблиц выводятся в выходной файл с расширением *.OUT по директиве

.PPINT [/DGTLCHG] [DC] [TRAN] [AC] [NOISE] <выходная переменная>.

В одной директиве .PRINT можно выбрать только один вид анализа и привести список не более восьми выходных переменных. Одновременно в задании на моделирование можно поместить несколько таких директив. В таблицах каждая колонка соответствует одной переменной. В первой колонке помещается независимая переменная: постоянное напряжение (режим DC), время (режим TRAN) или частота (режим AC).

Результаты в виде графиков выводятся в выходной файл по директиве

.PLOT [DC] [AC] [NOISE] [TRAN] <выходная переменная> + [(<нижняя граница>, <верхняя граница>)].

Смысл параметров тот же, что и в директиве .PRINT. Графики выводятся с помощью буквенно-цифровых символов независимо от типа печатающего устройства, в частности, на старых ЭВМ, для которых была создана программа SPICE. На современных ПК директивой .PLOT пользоваться нецелесообразно. На одном графике помещается до восьми кривых, причём количество директив .PLOT в одном задании не ограничено. Диапазон по оси X указан в директиве, устанавливающей вид анализа, а диапазон по оси Y определяется с помощью параметров <нижняя граница>, <верхняя граница> или автоматически.

Графический постпроцессор Probe подключается директивой .PROBE [/CSDF] [<выходная переменная>] .

Если список выходных переменных не указан, то в файл результатов с расширением имени .DAT заносятся потенциалы всех узлов цепи и токи всех компонентов, разрешённых для помещения в список выходных переменных. При этом файл результатов может иметь большие размеры. Указание конкретного списка выходных переменных, передаваемых в программу Probe через файл с расширением .DAT, сокращает размер этого файла.

Основные директивы моделирования PSpice приведены в табл. 4.2.

Основные директивы моделирования

Обозначение	Назначение
Расчёт стандартных характеристик	
.AC	Расчёт частотных характеристик
.DC	Расчёт режима по постоянному току
.FOUR	Спектральный анализ
.NOISE	Расчёт уровня внутреннего шума
.OP	Передача в выходной файл параметров схемы, линеаризованной в окрестности рабочей точки
.SENS	Расчёт малосигнальных чувствительностей в режиме по постоянному току
.TF	Расчёт малосигнальных передаточных функций в режиме по постоянному току
.TRAN	Расчёт переходных процессов
Управление выдачей результатов	
.PLOT	Представление результатов расчёта в выходном файле в виде графиков, построенных в текстовом режиме
.PRINT	Представление результатов расчёта в выходном файле в виде таблиц
.PROBE	Передача данных в графический постпроцессор Probe
.VECTOR	Создание файла с результатами моделирования цифровых устройств
.WATCH	Выдача промежуточных результатов анализа на экран программы PSpice в текстовом виде
.WIDTH	Назначение длины строк выходного файла
Многовариантный анализ	
.STEP	Вариация параметров
.TEMP	Назначение температуры окружающей среды
Вспомогательные файлы, определение функций и параметров	
.END	Окончание задания
.FUNC	Определение функции
.INC	Включение во входной файл другого файла
.LIB	Подключение библиотеки моделей компонентов
.PARAM	Определение глобальных параметров
Статистический анализ	
.MC	Статистический анализ по методу Монте-Карло
.WCASE	Расчёт наихудшего случая
Модели устройств	
.ENDS	Конец описания макромодели
.DISTRIBUTION	Табличное определение закона распределения случайных величин
.MODEL	Описание моделей компонентов
.SUBCKT	Начало описания макромодели
Задание начальных условий	
.IC	Задание начальных условий

Обозначение	Назначение
.LOADBIAS	Считывание из файла узловых потенциалов схемы
.NODESET	Задание узловых потенциалов по постоянному току на начальной итерации
.SAVEBIAS	Запись в файл узловых потенциалов схемы
Прочие директивы	
.ALIASES	Начало списка соответствий имён выводов графических обозначений компонентов именам цепей схемы, к которым они подключены
.ENDALIASES	Конец списка соответствий имён
.EXTERNAL	Спецификация внешних портов
.OPTIONS	Установка параметров и режимов работы программы
.STIMLIB	Задание имени файла с описанием внешних воздействий
.STIMULUS	Задание внешних воздействий
.TEXT	Задание текстовых переменных, текстовых выражений или имён файлов, используемых в описании цифровых устройств
*	Комментарий
;	Комментарий в конце строки
+	Продолжение строки

4.3. Анализ выходного файла моделирования

Откройте созданный после моделирования схемы выходной файл .out через меню **PSpice – View Output File** в OrCAD Capture или View – Output File (также кнопка ) в программе Probe.

В открывшемся выходном файле найдите сведения о дате проведения моделирования и продолжительности процесса, об используемых библиотеках, о внутренних вспомогательных файлах, созданных специально для анализа, а также об условно принятой температуре окружающей среды для установления термозависимых значений компонентов схемы. Рассмотрим пример типового выходного файла:

```

**** 10/08/06 21:43:46 ***** PSpice 10.5 (Mar 2006) *****ID# 1
*****
** Profile: "SCHEMATIC1-2" [D:\Projects\eir.itter-schematic1-
2.sim]

****          CIRCUIT DESCRIPTION
*****
** Creating circuit file "emitter-schematic1-2.sim.cir"
** WARNING: THIS AUTOMATICALLY GENERATED FILE MAY BE OVERWRITTEN
BY SUBSEQUENT SIMULATIONS
*Libraries:
* Local Libraries :
.LIB ".\emitter.lib"
* From [PSPICE NETLIST] section of D:\Program Files\Orcad10.5\
PSpice\PSpice.ini file:

```

```

.lib "nom.lib"

*Analysis directives:
.TRAN 0 1000ns 0
.OPTIONS LIST
.OPTIONS NODE
.PROBE V(*) I(*) W(*) D(*) NOISE (*)
.INC ".\emitter-SCHEMATIC1.net"
**** INCLUDING emitter-SCHEMATIC1.net ****
* source EMITTER
V U1 $N 0001 0 10V
R RLO $N 0002 6.8k
R RV $N 0001 $N 0002 1. 5k

****RESUMING emitter.cir****
.INC "emitter.als"
****INCLUDING emitter.als****
*Schematics Aliases*
.ALIASES
V U1 U1(+=SN 0001 - = 0 )
R RL RL(1 = 02 = $N 0002)
R RvV RV(1 = $N 0001 2 = $N 0002)
.ENDALIASES
****RESUMING emitter.cir****
.probe
.END
NODE VOLTAGE NODE VOLTAGE NODE VOLTAGE NODE VOLTAGE
($N 0001) 10.0000 ($N 0002) 8.1928
VOLTAGE SOURCE CURRENTS
NAME CURRENT
V U1 -1.205E-03
TOTAL POWER DISSIPATION 1...20E-02 WATTS
**** 10/08/06 21:44:02 **** PSpice 10.5 (Mar 2006) **** ID# 1
****
** Profile: "SCHEMATIC1-2" [D:\Projects\emitter-SCHEMATIC1-2.sim]
****OPERATING POINT INFORMATION TEMPERATURE = 27.000 DEG C
JOB CONCLUDED
TOTAL JOB TIME .12

```

Информация о запуске. Под строкой *Analysis directives (Директивы анализа) содержится информация о том, какой тип анализа был проведён: в данном случае .TRAN (расчёт переходных процессов); .OP означает Operating-Point-Analysis (анализ цепи постоянного тока).

Сетевой список. Под строкой *INCLUDING emitter-SCHEMATIC1.net* (Сетевой список SCHEMATICS) находится сетевой список, т.е. список, куда заносятся данные о схеме, для того чтобы произвести её моделирование. При генерации сетевого списка PSpice автоматически присваивает условные

имена узлам электросхемы. Узлу аналоговой «земли» неизменно присваивается имя 0. Остальные узлы нумеруются согласно порядку их расположения на схеме, причём нумерация всегда начинается с \$N_0001\$. PSpice автоматически определяет порядок следования строк сетевого списка в зависимости от порядка расположения компонентов схемы. Изменение порядка расположения компонентов повлияет и на условные имена узлов, и на порядок следования строк в сетевом списке:

- первая строка сетевого списка содержит запись `V_U1 $N_0001 0 10V`. Это означает, что источник напряжения с именем U1 располагается между узлами \$N_0001\$ и 0. При этом речь идет об источнике напряжения со значением 10 В;

- во второй строке сетевого списка помещена запись `R_RL 0 $N0002 6.8k`. Данная строка сообщает о том, что резистор с именем RL и значением сопротивления 6,8 кОм находится между узлом 0 («земля») и узлом \$N_0002\$;

- в третьей строке есть запись `R_RV $N_0001 $N_0002 1.5k`. Из этой строки следует, что резистор с именем RV расположен между узлом \$N_0001\$ и узлом \$N_0002\$ и имеет значение сопротивления 1,5 кОм.

Список альтернативных обозначений. Под заголовком *SCHEMATICS Aliases* (Псевдонимы SCHEMATICS) находится список альтернативных имён узлов:

- первая строка списка альтернативных имён – `V_U1 U1 (+=$N_0001 -=0)` – означает, что положительный полюс источника напряжения U1 называется U1+ и располагается на узле \$N_0001\$. Отрицательный полюс называется U1– и находится на узле «земли»;

- вторая строка списка содержит запись `R_RLRL (1=02=$N_0002)`. Это расшифровывается так: вывод 1, которым всегда является левый или нижний вывод резистора RL, называется RL:1 и находится на узле 0. Вывод 2, которым всегда является правый или верхний вывод резистора RL, называется RL:2 и располагается на узле \$N_0002\$. Если далее в протоколе результатов указывается напряжение $V(RL:2)$ со значением 2 В, то это означает, что напряжение между правым (верхним) выводом резистора и «землёй» равно 2 В;

- в третьей строке имеется запись `R_RV RV (1=$N_0001 2=$N_0002)`. Из этой строки следует, что вывод 1, которым всегда является левый или нижний вывод резистора RV, имеет альтернативное имя RV:1 и находится на узле \$N_0001\$. Правый (верхний) вывод резистора RV носит альтернативное имя RV:2 и располагается на узле \$N_0002\$.

Потенциалы узлов. После списка альтернативных обозначений в выходном файле даются результаты моделирования. Под заголовком NODE VOLTAGE помещена информация о потенциалах узловых точек:

- узел 1 по отношению к «земле» имеет потенциал 10 В;
- узел 2 по отношению к «земле» имеет потенциал 8,1928 В.

Ток, проходящий через источник напряжения (при расчёте в прямом направлении, т.е. от положительного полюса к отрицательному), равен – 1,205 мА. Общая потребляемая мощность схемы равна 12 мВт.

Информация об используемых компонентах. В выходном файле также может содержаться таблица номеров цепей, связывающих элементы (Element node table) и резюме элементной базы (Circuit Element Summary), которое содержит информацию о наименовании элемента (NAME), номерах цепей, к которым он подключен (NODES), его модели описания (MODEL), значении номинала (VALUE) и т.п.

4.4. Изменение параметров моделирования и моделей элементов

Как уже указывалось, при моделировании PSpice непосредственно загружает файл *.CIR, в котором имеются директивы моделирования и ссылки на используемые файлы. Следовательно, параметры моделирования (профиль) можно задавать без помощи OrCAD Capture прямо во входном файле, используя программу PSpice AD (меню **File – New – Text File**) или любой текстовый редактор с последующим сохранением файла с расширением .cir.

Откройте входной файл своей схемы, сгенерированный ранее OrCAD Capture. Исходя из его содержимого, определите, какие библиотеки используются в проекте (**Libraries**) и директивы расчёта (**Analysis directives**). Задайте новые директивы или используйте новые параметры имеющихся директив. Сохраните файл под тем же именем.

Закройте OrCAD Capture, если он открыт. Запустите PSpice AD. Загрузите изменённый профиль моделирования *.cir или *.dat командой **File – Open...** В главном окне должен отобразиться изменённый ранее профиль. Если вы загрузили файл *.dat, вначале загрузится графическое окно. В этом случае для просмотра профиля используйте меню **View – Circuit File** или кнопку левой панели инструментов . Запустите процесс моделирования и посмотрите, как изменились результаты моделирования с новыми параметрами профиля.

4.4.1. Модели транзисторов и их редактирование

Используя правила описания параметров моделирования и моделей элементов схемы, можно значительно ускорить процесс получения необходимых выходных параметров устройства. Чаще всего используют изменённые модели активных элементов – транзисторов. Рассмотрим описание транзисторов во входных файлах PSpice.

Биполярный транзистор описывается выражением

$Qxxx <узел коллектора> <узел базы> <узел эмиттера> [<узел подложки>] <имя модели + [<коэффициент кратности A β >]>].$

В PSpice используются две модели биполярного транзистора: модель Эберса – Молла и модель Гуммеля – Пуна. При отсутствии всех параметров для модели Гуммеля – Пуна автоматически выбирается модель Эберса – Молла.

Модели биполярных транзисторов задаются в виде

.MODEL <имя моделн> NPN [(параметры модели)];
.MODEL <имя модели> PNP [(параметры модели)];
.MODEL <имя модели> LPNP[(параметры модели)].

Биполярный транзистор в PSpice выбирается или из библиотеки, или записывается в виде модели. Например, запись транзистора из библиотеки имеет вид

```
.LIB D:\PSPICE\LIB\QNM.LIB
```

Пример записи транзистора, представляемого в виде модели:

```
Q1 120 KT
```

```
.MODEL KT NPN (IS= VAF= BF= BR= CJC= CJE= TR= TF= RC= RB=),
```

где IS – ток насыщения (по умолчанию 10^{-14} А);

VAF – напряжение Эрли (по умолчанию 100 В);

BF – максимальный коэффициент усиления в схеме с общим эмиттером;

BR – максимальный коэффициент усиления в инверсном режиме;

CJC – ёмкость перехода коллектор – база при нулевом смещении;

CJE – ёмкость перехода эмиттер – база при нулевом смещении;

TR – время переноса заряда в инверсном режиме (рассчитывается исходя из времени рассасывания);

TF – время переноса носителей через базу в нормальном режиме (рассчитывается исходя из граничной частоты);

RC – сопротивление области коллектора;

RB – сопротивление области базы.

Кроме указанных, в модели можно использовать ещё ряд дополнительных параметров:

XTI – температурный коэффициент тока насыщения;

EG – ширина запрещённой зоны;

NE – коэффициент неидеальности эмиттерного перехода;

ISE – обратный ток эмиттерного перехода;

ISC – обратный ток коллекторного перехода;

IKF – ток начала спада характеристики $BF=f(I_k)$;

XTB – температурный коэффициент BF и BR;

NC – коэффициент неидеальности коллекторного перехода;

IKR – ток начала спада характеристики $BR=f(I_\alpha)$;

VJC и VJE – контактная разность потенциалов коллекторного и эмиттерного переходов;

MJC и MJE – коэффициенты, учитывающие плавность коллекторного и эмиттерного переходов;

FC – коэффициент нелинейности барьерных емкостей коллектор – база и эмиттер – база;

ITF – ток, характеризующий зависимость TF от тока коллектора;

VTF – напряжение, характеризующее зависимость TF от смещения напряжения на переходе база – коллектор;

XTF – коэффициент, определяющий зависимость TF от смещения напряжения на переходе база – коллектор.

Описание *полевых транзисторов* в PSpice является более сложным, чем биполярных, и зависит от типа транзистора и необходимой точности вычислений.

Полевой транзистор с управляющим р-п-переходом описывается предложением:

$Jxxx <узел стока> <узел затвора> <узел истока> <имя модели> + [<коэффициент кратности A_{gea}>]$.

Модели полевых транзисторов задаются в виде

.MODEL <имя модели> NJF [(параметры модели)];

.MODEL <имя модели> PJF [(параметры модели)].

Арсенид-галлиевый полевой транзистор с управляющим р-п-переходом и каналом п-типа описывается предложением:

$Exxx <узел стока> <узел затвор> <узел истока> <имя модели> + [<коэффициент кратности A_{gea}>]$

Модель арсенид-галлиевого полевого транзистора задаётся в виде

.MODEL <имя модели> GASFET [(параметры модели)] .

Для учёта различных эффектов в *МОП-транзисторе* применяется 6 уровней моделей. Схема замещения транзистора для всех уровней остаётся одной и той же, изменяются только системы уравнений, описывающих транзистор. Модель первого уровня LEVEL=1 применяется в «грубых» расчётах, когда не требуется высокая точность. Модели LEVEL=5 и LEVEL=6 (BSIM3) более точно описывают субмикронные МОП-транзисторы и непрерывно совершенствуются.

МОП-транзистор описывается предложением

$Mxxx <узел стока> <узел затвора> <узел истока> <узел подложки> + <имя модели> + [L=<значение>] [W=<значение>] [AD=<значение>] [AS=<значение>] [PD=<значение>] [PS=<значение>] [NRD=<значение>] [NRS=<значение>] [NRG=<значение>] [NRB=<значение>] [M=<значение>]$.

Параметры L и W могут быть заданы при описании модели МОП-транзистора по директиве .MODEL (табл.4.3). Кроме того, параметры L, W, AD и AS по умолчанию принимают значения, присваиваемые по директиве .OPTIONS.

Для создания или изменения модели транзистора и других элементов можно воспользоваться любым текстовым редактором. Однако в пакете OrCAD для этих целей имеется мощный встроенный редактор PSpice Model Editor (рис. 4.1).

Загрузите PSpice Model Editor из папки OrCAD. Выполните команду **File – Open**, найдите файл библиотеки *.lib в папке вашего проекта и откройте его. Если схема уже загружена в OrCAD Capture, можно прямо отсюда вызвать PSpice Model Editor, для чего выделите транзистор на схеме и выполните команду **Edit – PSpice Model**.

Необязательные параметры модели МОП-транзистора

Обозначение	Параметр	Значение по умолчанию	Размерность
L	Длина канала	DEFL	м
W	Ширина канала	DEFW	м
AD	Площадь диффузионной области стока	DEFAD	м
AS	Площадь диффузионной области истока	DEFAS	м
PD	Периметр диффузионной области стока	0	м
PS	Периметр диффузионной области истока	0	м
NRD	Удельное относительное сопротивление стока	1	–
NRS	Удельное относительное сопротивление истока	1	–
NRG	Удельное относительное сопротивление затвора	0	–
NRB	Удельное относительное сопротивление подложки	0	–
M	Масштабный коэффициент	1	–

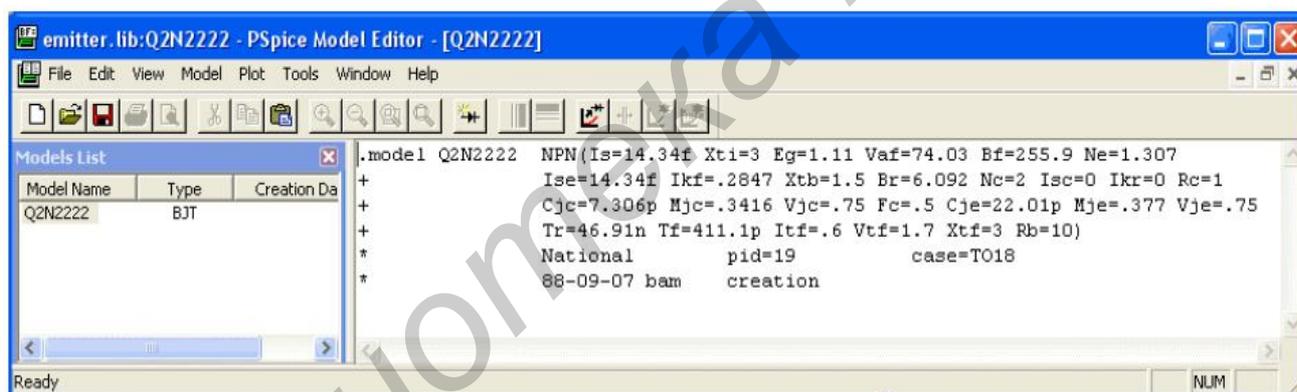


Рис. 4.1. Окно PSpice Model Editor для просмотра и редактирования параметров моделей

Слева в рабочем окне редактора находится список используемых в проекте моделей, справа – их описание с возможностью редактирования. Измените требуемые параметры, сохраните текущую модель командой **File – Save** и снова запустите процесс моделирования. При этом редактор моделей можно не закрывать для оперативного выполнения дальнейших изменений.

Литература

1. Хайнеман Р. PSPICE. Моделирование работы электронных схем. – М.: ДМК, 2005. – 336 с.
2. Tront J. G. PSpice for Basic Circuit Analysis. – McGraw-Hill Science, 2005. – 141 p.
3. Разевиг В. Д. Система схемотехнического моделирования Micro-Cap 6. – М.: Горячая линия, 2001. – 344 с.
4. Rashid M. H. Introduction to PSpice Using OrCAD for Circuits and Electronics. – Prentice Hall, 2003. – 480 p.
5. Галузо В. Е. Компьютерное проектирование интегральных схем. Учеб. пособие по курсу «Компьютерное проектирование интегральных схем». – Мн.: БГУИР, 1998. – 60 с.
6. Грушвицкий Р., Мурсаев А., Угрюмов Е. Проектирование систем на микросхемах программируемой логики. – СПб.: БХВ-Петербург, 2002. – 608 с.
7. Sedra A. S., Smith K. C. Microelectronic Circuits. – Oxford University Press, 2003. – 1392 p.

Учебное издание

Будник Артур Владимирович,
Журавлёв Вадим Игоревич,
Галузо Валерий Евгеньевич

Проектирование и САПР интегральных схем

Лабораторный практикум
для студентов специальности
«Моделирование и компьютерное проектирование радиоэлектронных средств»
дневной формы обучения

Редактор Е.Н. Батурчик

Подписано в печать 10.05.2006.
Гарнитура «Гаймс».
Уч.-изд. л. 2,5.

Формат 60x84 1/16.
Печать ризографическая.
Тираж 200 экз.

Бумага офсетная.
Усл. печ. л. 2,79.
Заказ 58.

Издатель и полиграфическое исполнение: Учреждение образования
«Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»
ЛИ №02330/0056964 от 01.04.2004. ЛП №02330/0131518 от 30.04.2004.
220013, Минск, П. Бровки, 6