Д.Е. ГРОШЕВ, В.К. МАКУХА

ПРИМЕНЕНИЕ ПАКЕТА OrCAD ДЛЯ КОМПЬЮТЕРНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОННЫХ СХЕМ

Часть II

МОДЕЛИРОВАНИЕ B OrCAD PSpice

Утверждено Редакционно-издательским советом университета в качестве учебного пособия

> НОВОСИБИРСК 2004

УДК 004.9(075.8) Г 899

Рецензенты:

Л.И. Гуськов, канд. физ.-мат. наук, доцент кафедры ЭП НГТУ, *А.В. Шалагинов*, канд. техн. наук, доцент кафедры ВТ НГТУ

Работа выполнена на кафедре электронных приборов НГТУ

Грошев Д.Е., Макуха В.К.

Г 899 Применение пакета OrCAD для компьютерного проектирования электронных схем: Учеб. пособие. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2004. – Ч. II: Моделирование в OrCAD PSpice. – 84 с.

Настоящим изданием авторы продолжают разработку темы первой части одноименного пособия, вышедшего в 1999 г. Вторая часть посвящена изучению системы компьютерного моделирования электронных схем PSpice. В частности, рассмотрены особенности версии 10.0 – самой последней версии OrCAD PSpice на момент выхода пособия.

Книга изложена живым, доступным языком и может быть полезна в качестве наглядного учебного пособия для студентов и инженеров, занимающихся разработкой электронных схем.

УДК 004.9(075.8)

© Новосибирский государственный технический университет, 2004

оглавление

Введение		5
Глава 1. Оби	цее описание возможностей OrCAD PSpice	
Глава 2. Созд	дание проекта в OrCAD PSpice	13
2.1. Me	неджер проекта	15
2.2. Me	ню Place	17
2.3. Me	ню PSpice	20
2.4. Фо	рмат файла Netlist	
2.5. Cos	здание задания на моделирование	
Глава 3. Наз рования	значение и возможности режимов модели-	
3.1. Pex	ким цепи по постоянному току (Bias Point)	
3.2. Реж параме	ким цепи по постоянному току при вариации тров (DC Sweep)	30
3.3. Ан	ализ переходных процессов (Time Domain)	
3.4. Спе	ектральный анализ (Fourier)	
3.5. Ан	ализ частотных характеристик (AC Sweep)	
3.6. Сп (Noise)	ектральная плотность внутреннего шума Analysis)	
3.7. Чу ции пар ному т точные (Transfe	вствительность характеристик цепи к вариа- раметров компонентов в режиме по постоян- току (Sensitivity) и малосигнальные переда- е функции в режиме по постоянному току er Function)	
3.8. Ста Монте-	атистические испытания по методу Карло (Monte Carlo)	41
3.9. Pac (Worst	счет чувствительности и наихудшего случая Case)	43

3.10. Многовариантный анализ при вариации температуры (Temperature) 44
3.11. Многовариантный анализ при вариации параметров (Parametric)45
Глава 4. Отображение результатов моделирования 46
Глава 5. Расширенный анализ (Advanced Analysis) 51
5.1. Требования к схеме для расширенного анализа 51
5.2. Пример расширенного анализа 53
Литература
Приложение А. Библиотеки PSpice 59
Библиотека analog.olb 59
Библиотека special.olb 60
Приложение Б. Директивы и опции моделирования
Директивы моделирования63
Опции, имеющие численные значения
Приложение В. Независимые источники сигналов
Импульсная функция67
Экспоненциальная функция
Кусочно-линейная функция 69
Синусоидальная функция 70
Синусоидальная функция с частотной модуляцией 71
Приложение Г. Определения специальных функций, включенных в PSpice
Приложение Д. Англо-русский словарь основных терминов 74

введение

Традиционная (докомпьютерная) отладка электронного устройства заключалась в следующем. Собирался макетный (breadboard, prototype) вариант устройства. На него подавалось питание, производилась проверка правильности поступления питания ко всем компонентам устройства. (Обратите внимание, что среди специалистов очевидным считается, что на любую микросхему следует подавать питание. Но для некоторых студентов это совершенно не очевидно. Поэтому, пользуясь случаем, напоминаем: чтобы микросхема работала, на нее нужно подать питание. Пусть Вас не смущает, что на принципиальной схеме не всегда в явном виде показан подвод питания – ведь принципиальные схемы, вообще говоря, рассчитаны на специалистов.) Потом проверялось функционирование устройства в отсутствие входных сигналов (по постоянному току). Если при этом не было дыма, то Вы могли считать себя удачливым разработчиком. На данном этапе за измерительный прибор вполне мог сойти тестер. Дальше надо было проверять влияние входных и управляющих сигналов. Здесь Вас мог выручить только осциллограф или (для цифровых схем) логический анализатор. Надо сказать, что стоят эти приборы несколько дороже тестера, да и квалификация требуется повыше. Подавая входные сигналы (Reset, Clock, некоторую синусоиду и т.д.) и наблюдая за поведением устройства в определенных точках, Вы могли бы найти неисправности и ликвидировать их. Главное в этом процессе – знать, какие входные сигналы следует подавать, и сигналы каких точек схемы нужно отображать на осциллографе. Кстати, на экране осциллографа мы видим след движения электронного пучка – как-никак, осциллограф – это электронный прибор. На английском языке «след» – track, trace. Физики давно пользуются словом трек, когда говорят о следах движения элементарных частиц. Представляется, что и нам будет удобно называть осциллограммы треками. Хочется верить, что к этому времени Вы уже точно избавились от щенячьего оптимизма и твердо усвоили: что бы Вы ни сделали – схему, программу, компьютер, расчет – с первого раза все равно это работать не будет. Но это не повод для беспокойства, ведь Вы уже столько знаете и умеете, что со временем Вам и окружающим кажется, что устройство функционирует нормально. Но тут ктото открыл окно и, к всеобщему изумлению, устройство снова перестало работать. Вы смекнули – надо проверить влияние температуры. Включается осциллограф, паяльник... – жизнь идет! Проблемы часто в том, что схемы имеют широкий разброс параметров, и изменение входного сигнала на несколько наносекунд для одних устройств никак не повлияет на выход, для других – существенно изменит выходной сигнал, а для третьих – сделает схему совершенно неработоспособной. На самом же деле не все так плохо и когда-нибудь это чертово устройство действительно заработает. «Товарищ, верь...»

К сожалению, применение компьютера качественно ничего не меняет, но количественно можно существенно сократить время, затрачиваемое на отладку. А нас учили, что иногда количество переходит в качество! Итак, пришло время разбираться, как можно существенно сэкономить время и, следовательно, что такое симуляция? Симуляция (Simulation) – это имитация функций схемы. Симуляция начинается переводом схемы в программную модель, затем модель тестируется с приложением определенных входных сигналов. Симулятор рассчитывает и отображает выходные сигналы устройства, когда на вход устройства подаются специальные сигналы, называемые стимулами (stimuli).

Симуляция позволяет узнать характеристики устройства перед его сборкой в виде макета. Симулятор анализирует разработку, основываясь на базе данных соединений: списка соединений, сети соединений, списка сети, сетевого списка (последнее по-английски можно написать как net list) и принимает во внимание спецификацию каждого прибора, входящего в устройство. Симулятор строит программную модель цепи, основываясь на этой информации. Динамическая модель предполагает отображение результатов действия стимулирующих сигналов, которые прилагаются к входам схемы. Разработчики утверждают, что симуляция быстрее, легче, дешевле и глубже, чем аппаратная отладка.

Логика работы симулятора не отличается от логики аппаратной отладки. Стимулы играют роль входных сигналов, треки играют роль треков осциллографа или логического анализатора. Но симулятор имеет ряд принципиальных преимуществ. С помощью симулятора можно просто:

• видеть, как ведет себя устройство при особых условиях испытаний, когда, например, параметры сигналов изменяются во времени;

• изменять начало, конец и интервал симуляции. При аппаратной отладке бывает трудно повторить результат и «держать» его постоянно на экране. Программа же может многократно в любые моменты времени повторять любые участки сценария испытаний; • проводить анализ типа «а что, если...». В любые цепи можно подать любые сигналы.

2004 год можно считать годом 40-летия EDA (Electronic Design Automation – Автоматизация разработки электроники), поскольку первые публикации, посвященные этой теме, появились в 1964 году. При этом одной из самых важных компонент EDA было моделирование электронных схем. Первыми программами для моделирования интегральных схем, получившими признание, были программы Astap (advanced statistical analysis program), созданная в IBM, и Spice (simulation program for integrated circuits emphasis), разработанная в университете Беркли (UCB – University of California at Berkeley) [1]. Исторически так случилось, что в СССР и позже в России программа Astap не получила широкого распространения, в то время как Spice и ее клоны чрезвычайно популярны.

Сейчас почти во всех программах симуляции в качестве системного ядра используется программа Spice. При создании она была ориентирована на компьютеры IBM-360 с алфавитно-цифровыми дисплеями, которые предопределили использование текстовых файлов в качестве объектов, где могла бы храниться служебная информация. Применяемые в Spice модели хорошо соответствовали реальным объектам, что обеспечило пакету долгую жизнь, подтвердившую правильность выбранных алгоритмов. В настоящее время под названием Spice известен ряд программ различных фирм: HSpice (фирмы MetaSoftware), PSpice (MicroSim), IS Spice (Intusoft), Micro-Cap (Spectrum Software), Analog Workbench (Cadence), Saber (Analogy), Dr.Spice и ViewSpice (Deutsch Research). В силу использования единого вычислительного алгоритма все программы имеют схожую функциональность, отличаясь графическим интерфейсом и дополнительными возможностями представления и обработки результатов анализа. Пожалуй, наиболее широкое распространение на сегодняшний день получили программы PSpice и Dr.Spice. Первые версии PSpice вплоть до 4.03 имели возможность только текстового ввода схем. Начиная с версии 5.1 (Design Center) и выше (8.0 – Design Lab) обеспечивается возможность графического ввода принципиальных схем. Программа Design Lab входит как составная часть PSpice в пакет OrCAD, начиная с версии 9.1, а программа Dr.Spice – в пакет AccelEDA14.0, образуя мощные системы сквозного проектирования аппаратуры.

Авторы работали с пакетом OrCAD, начиная с версии 3.Х. В этой версии в комплект программ не входил инструмент для симуляции, но вместе с пакетом распространялась библиотека Pspice.lib, на основе которой можно было создавать принципиальные схемы для анализа с помощью программы PSpice. Следующая версия

OrCAD 4.X (1993 год) содержала специальный набор инструментов Digital Simulation Tools VST 386+ для симуляции только цифровых схем. Несмотря на довольно удобный интерфейс и большой набор тестируемых параметров, отсутствие возможности работать с аналоговыми схемами существенно ограничивало его применение. Наконец, начиная с версий для Windows (версии 6 OrCAD Design Desktop 7, 9 OrCAD Unison Suite) в состав пакета OrCAD включается OrCAD PSpice.

9 сентября 2003 года фирма Cadence анонсировала выход 10-й версии пакета OrCAD [2], выпускаемого в следующих конфигурациях:

• OrCAD Unison EE – состоит из OrCAD Capture® для создания принципиальных схем и PSpice® A/D для аналогового и аналогоцифрового моделирования;

• OrCAD Unison PCB – включает OrCAD Capture для создания принципиальных схем, OrCAD Layout® для размещения компонентов и разводки (трассировки) печатных плат, и SPECCTRA® for OrCAD для автотрассировки;

• OrCAD Unison Ultra – система сквозного проектирования от создания принципиальных схем и моделирования до разводки печатных плат.

В зависимости от комплектации стоимость пакета составляет от 1,355 до 7,996 долл. Cadence продолжает работу над пакетом и к IV кварталу 2004 года анонсирует выпуск 4 сервисных пакетов и доведение версии до OrCAD Unison 10.5.

Далее в нашем учебном пособии речь будет идти о версиях PSpice для OrCAD 9 и OrCAD Unison Suite 10 (ЕЕ или Ultra) [3–9]. Эти версии имеют много общего, что позволяет рассматривать их вместе, несмотря на то, что по сравнению с PSpice 9 в 10-ю версию внесено много изменений. Часть новых возможностей PSpice 10 будет рассмотрена ниже. Из общих изменений 10-й версии хотелось бы отметить существенно улучшенную навигацию и поиск по OnLine документации. Для этого используется система CDSDoc, состоящая из следующих компонентов:

• библиотечное окно (Library window) – java-приложение для навигации по OnLine документации с возможностью сортировки по продуктам, семействам и типу документов (рис. 1).

• Flow Documentation Gateway – HTML-документ, отображающий структуру продукта и облегчающий доступ к нужной документации (рис. 2).

• локальный http сервер, выполняющий функции полнотекстного поиска по документации.



Рис. 1. Библиотечное окно PSpice



Puc. 2. Flow Documentation Gateway

Глава 1

ОБЩЕЕ ОПИСАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ OrCAD PSpice

Серия PSpice состоит из следующих модулей: Pspice, Pspice A/D, Pspice A/D Basics, Pspice Optimiser, Pspice Advanced Analisis, Pspice Model Editor, Pspice Stimulus Editor.

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

Система обеспечивает полуавтоматическое описание компонентов устройств на основе данных производителя, позволяет выполнять различные расчеты и использовать различные методы анализа:

• расчет режима по постоянному току;

• расчет чувствительности схемы к разбросу параметров компонентов и проверка работоспособности при наихудшей комбинации отклонений от номинала;

- метод частотных характеристик;
- метод переходных процессов;
- многовариантный и статистический анализ по методу Монте-Карло;
 - возможность аналитического задания входных воздействий;
 - графический анализ формы сигнала;
 - графическое редактирование входных сигналов;
 - анализ производительности по результатам моделирования.

Библиотеки аналоговых моделей содержат более 12 000 устройств (биполярные, полевые и МОП-транзисторы, диоды, нелинейные магнитные устройства, операционные усилители, оптоэлектронные приборы, регуляторы и компараторы напряжения, стабилизаторы, тиристоры и др.).

PSpice A/D – программа моделирования поведения схемы, содержащей любую комбинацию аналоговых и цифровых устройств, имеющих сигналы разных форм и величины. PSpice A/D автоматически распознаёт и обрабатывает аналого-цифровые и цифроаналоговые интерфейсы благодаря взаимоувязанным встроенным алгоритмам аналогового и цифрового моделирования с циклической обратной связью. Программа позволяет проводить:

• описание функциональных блоков схем с использованием математических выражений и функций;

• исследование аналоговых, цифровых и совмещенных схем с проверкой ответа схемы на различные входные воздействия;

• параметрический анализ, анализ по методу Монте-Карло и исследование чувствительности при наихудшей комбинации отклонений параметров элементов от номинала (worst-случай);

• изучение поведения схемы при изменении значений параметров сигналов;

• анализ и устранение проблем синхронизации в цифровых схемах при самых редких комбинациях исследуемых сигналов.

PSpice A/D, начиная с версии 9.2, предлагает несколько дополнительных возможностей, отсутствовавших в предыдущих версиях:

• 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. при работе через внешний интерфейс с уровнями иерархического проекта;

• внесение дополнений к параметрам устройств для ограничения количества данных на больших моделях;

• возможность сохранения часто используемых графических окон с представлением множества контролируемых параметров внутри них;

• приоритетное моделирование, которое обеспечивается соответствующим Администратором, предназначенным для полного управления многократными процессами моделирования;

• интерактивное моделирование, которое по заданным настройкам обеспечивает приостановку моделирования, изменение некоторых параметров и возобновление процесса с новыми параметрами.

В версию 10.0 внесены следующие изменения:

• добавлена возможность импорта профилей моделирования из другого проекта;

• изменено окно задания на моделирование: вкладки Include Files, Libraries и Stimulus объединены в одну – Configuration Files;

• структура директорий проекта теперь соответствует внутренней структуре, видимой в менеджере проектов.

Добавлена новая модель BSIM3 версии 3.2 – глубокая субмикронная модель MOSFE транзистора, разработанная в университете Беркли для использования в субмикронных цифровых и аналоговых интегральных схемах.

PSpice A/D включает библиотеки более чем 16 000 аналоговых и аналого-цифровых моделей устройств, созданных в Северной Аме-

рике, Японии и Европе. Так, моделирование выполняется не только для резисторов, катушек индуктивности, конденсаторов, биполярных транзисторов, линий задержки, нелинейных магнитных устройств с учетом насыщения материала и гистерезиса, но и для цифровых интегральных схем (ЦИС) – например, серии 7400, ТТЛ ИС с диодами Шоттки, ИС на КМОП-структурах, на программируемых логических матрицах; а также для цифровых компонентов с аналоговыми моделями ввода-вывода и др.

PSpice A/D Basics – упрощенная версия пакета PSpice A/D за меньшую цену. Этот инструмент идеален, если Вам необходимо осуществлять моделирование несложных аналоговых или аналогоцифровых схем, в том числе схем элементов библиотек. Модуль не налагает никаких ограничений на размер схемы, позволяет моделировать цифровую часть смешанных схем, дает представление об основных методах анализа в системе PSpice.

PSpice Optimizer. Этот модуль работает в сочетании с PSpice или PSpice A/D и позволяет оптимизировать параметры элементов для достижения заданных характеристик смешанных устройств. Осуществляет оптимизацию на основе градиентных методов при наличии линейных и нелинейных ограничений, поддерживает оптимизацию с нелинейными целевыми функциями. Программа запускается из оболочки программы Capture. Предусмотрена как автоматическая оптимизация, так и интерактивная, с возможностью подстройки к проекту до достижения полного соответствия условиям, заданным пользователем.

PSpice Advanced Analysis (только в PSpice 10.0) – это четыре инструмента (метода) расширенного анализа, позволяющие улучшить надежность, стабильность и выходные параметры схемы. Метод Sensitivity позволяет выявить компоненты, разброс параметров которых оказывает наибольшее влияние на работу устройства. Метод Optimizer позволяет подобрать параметры ключевых компонентов, чтобы схема удовлетворяла заданным требованиям. Поддерживает аппроксимацию по точкам (метод оптимизации схем и параметров устройств) так, чтобы результаты моделирования соответствовали целевой функции, представленной в виде таблицы значений X, Y. Этот метод применяется в случаях, когда функционирование устройства лучше описывается эпюрами или не может быть представлено в терминах функций или значений. Метод Smoke выявляет возможные критические режимы работы компонентов (рассеиваемая мощность, температура, напряжение, ток). Метод Monte Carlo оценивает поведение схемы при статистическом разбросе параметров компонентов.

PSpice Model Editor – рассчитывает по паспортным данным на компоненты параметры математических моделей, которые записываются в библиотечные файлы или в файлы отдельных моделей. С помощью Model Editor можно создать модели для диодов, биполярных транзисторов, МОП-транзисторов, полевых транзисторов с управляющим *p*–*n*-переходом, операционных усилителей, компараторов, источников опорного напряжения, нелинейных магнитных сердечников.

PSpice Stimulus Editor – программа для создания аналоговых или цифровых входных сигналов или стимулов.

PSpice 10.0 предоставляет доступ к библиотекам моделей для расширенного анализа, содержащим свыше 4300 аналоговых компонентов. Эти библиотеки содержат параметрические и обычные компоненты. В модели параметрических компонентов включены параметры: допуск или отклонение (tolerance), закон распределения (distribution), возможность изменения параметра при оптимизации (optimizable) и критические параметры (smoke), необходимые для проведения расширенного анализа.

Глава 2

СОЗДАНИЕ ПРОЕКТА В OrCAD PSpice

Для создания проекта схем необходимо запустить OrCAD Capture, где в меню File Вам необходимо выбрать New Design, после чего открывается страница для выбора типа проекта (рис. 3). Вы можете выбрать один из четырех типов проектов:

• Analog or Mixed-Signal Circuit – моделирование аналоговых, цифровых и цифро-аналоговых схем;

• PC Board – создание печатных плат с возможностью моделирования схем в PSpice A/D и цифровых схем в Express Plus;

• Programmable Logic – моделирование цифровых схем и синтез программируемой логики (использовался в старых версиях, исключен, начиная с 9-й);

• Schematic – создание и документирование принципиальных схем.

При выборе типа проекта PC Board, для анализа схемы с помощью PSpice, необходимо в следующем окне разрешить подключение ресурсов для моделирования, для чего установить Enable Project simulation и указать тип моделирования: Analog or Mixed-Signal simulation или VHDL-based digital simulation. После этого появляется окно для выбора подключаемых библиотек (рис. 4).



Рис. 3. Выбор типа проекта

PCB Project Wizard			X
Select the PSpice Part symbol libraries that you wish to include in your project. 1_shot.olb 7400.olb 74ac.olb 74ac.olb 74ac.olb 74as.olb 74as.olb 74f.olb 74h.olb 74be.olb	Add >> << Remove	Use these libraries analog.olb source.olb sourcstm.olb special.olb	
	Готово	Отмена Спр	авка

Рис. 4. Подключение библиотек OrCAD PSpice

По умолчанию предлагается подключить четыре библиотеки:

• analog.olb – содержит условные графические обозначения (УГО) и PSpice Template для базовых компонентов;

- sourcse.olb источники напряжения, тока и стимулы;
- sourcstm.olb цифровые стимулы;
- special.olb управляющие директивы.

В приложении А приведен список элементов библиотек analog.olb и sourcse.olb.

При необходимости подключаем дополнительные библиотеки. Например, библиотека anlg_dev.olb содержит УГО и модели микросхем производства Analog Device. Burr_brn.olb – производства Burr Broun; 7400.olb, 74act.olb,..., 74s.olb – цифровые устройства, bipolar.olb – биполярные транзисторы. Специализированная библиотека Abm.olb содержит константы (пи, е) и функции-преобразователи сигналов (sin, cos, exp, модуль, сумма, ограничение, умножение, фильтр, среднее значение и т.д.), которые могут быть использованы при построении моделей.

Заметим, что библиотеки PSpice находятся в папке Capture (OrCAD\Capture\Library\ PSpice*.olb), а не в папке PSpice. Также уместно отметить, что эти библиотеки в исходном виде не подходят для оформления отчетов студентами России, по крайней мере, студентами кафедры электронных приборов НГТУ – точно, поскольку эти библиотеки не соответствуют стандартам, принятым в России, и, следовательно, на кафедре электронных приборов. Поэтому Вам, несомненно, пригодится умение создавать и редактировать библиотеки так, чтобы они соответствовали принятым в РФ обозначениям.

Теперь у нас все готово и можно приступать к построению графического изображения схемы, так как любой анализ начинается с создания описания схемы, которую нужно проанализировать. В первых версиях PSpice отсутствовал графический интерфейс, и список соединений создавался в специализированном текстовом редакторе. В OrCAD 9 и 10 схему можно создать как с помощью программы PSpice Schematics, так и с помощью OrCAD Capture. Работа с OrCAD Capture и PSpice Schematics достаточно подробно описана в литературе [10–13]. Поэтому лишь кратко воспроизведем процесс создания принципиальной схемы в OrCAD Capture.

2.1. МЕНЕДЖЕР ПРОЕКТА

После создания проекта автоматически создается одна схема (по умолчанию она называется SCHEMATIC1), состоящая из одной страницы (PAGE1). В левой части экрана располагается менеджер проекта, отображающий структуру проекта: схемы, подключенные библиотеки, Cash проекта, выходные файлы (NetList, список деталей, результаты проверки схемы и т.д.), задания на моделирование и другие ресурсы проекта. Из менеджера проектов Вы можете создавать, копировать, переименовывать или открывать схемы и страницы схем, подключать, отключать или редактировать библиотеки.

Для добавления схемы к проекту нужно выбрать проект и в меню **Design** либо из контекстного меню, вызываемого нажатием правой кнопки мыши при выделенном объекте *.dsn, выбрать команду **New Schematic**. Для добавления страницы к схеме нужно выбрать схему и в меню **Design** либо из контекстного меню, вызываемого при нажатии правой кнопки мыши, выбрать команду New Schematic Page.

В меню Tools менеджера проекта собраны инструменты для работы со схемами. Все инструменты работают только с корневой (root) схемой (папка отмечена \). Чтобы сделать схему корневой, нужно выбрать ее в менеджере проектов и выполнить команду Make Root.

Рассмотрим назначение некоторых инструментов из меню Tools.

Design Rules Check – контроль за соединениями. Для контроля ошибок создан инструмент проверки соединений – DRC (Design Rules Check). У каждого вывода элемента в атрибутах можно задать тип вывода: вход, выход, открытый коллектор, открытый эмиттер, пассивный, 3 состояния, питание, вход-выход. В соответствии с правилами, устанавливаемыми в настройках инструмента, производится проверка допустимости соединения выводов, что значительно снижает вероятность случайной ошибки в соединениях.

Annotate – аннотация схемы. При аннотации схемы производится расстановка значений ссылок (reference) на схеме. Можно задать следующие режимы аннотации:

• Incremental reference update (инкрементальная) – расставляются только незаданные ссылки.

• Unconditional reference update (безусловная) – заново расставляются все ссылки. Нумерация идет слева направо, сверху вниз;

• Reset part references to «?» – сброс ссылок;

• Add (Delete) intersheet references – добавление к проекту (удаление из проекта) межстраничных ссылок.

По умолчанию при размещении нового элемента значение ссылки присваивается автоматически. Этот режим устанавливается (отменяется) в меню Options – Preferences – Miscellaneous – Auto Reference.

Update Properties – обновление значений свойств. Используя специальный файл, имеющий расширение *.UPD, можно устанавливать значения свойств для заданных элементов. Файл *. UPD текстовый и имеет следующую структуру: первая строка – названия свойств элементов (первое – по которому ищется элемент, второе – которое будет обновляться). Следующие строки – значения соответствующих свойств. После идет текст комментария.

Пример файла *.UPD, который для всех элементов, имеющих значение свойства Value = 10 К, установит значение свойства Tolerance = 10 %:

"{Value}" «Tolerance» «10 K»

«10 %» ; Комментарий

Cross reference – перекрестные ссылки. Этот инструмент создает список элементов, включающий следующие свойства: номер по порядку (Item), имя или номинал элемента (Part), ссылку (Reference), название схемы (Schematic Name), название страницы схемы (Sheet), имя и путь к библиотеке (Library), координаты элемента (X, Y).

Bill Of Materials (BOM) – спецификация компонентов. Данный инструмент создает список элементов со свойствами: номер по порядку (Item), количество элементов на схеме (Quantity), ссылку (Reference) (если элементов несколько, ссылки идут через запятую), имя или номинал элемента (Part). Используя окно ввода «Combined property string:» можно включать в BOM все имеющиеся свойства компонента (например, тип корпуса – footprint).

2.2. МЕНЮ PLACE

Основные элементы схемы выбираются из меню Place:

Part – выбор компонента из библиотеки для размещения его символа на схеме;

Parameterized Part – открытие диалогового окна для определения параметров макрофункций;

Database Part – размещение на схеме компонентов из базы данных;

Wire – проводник;

Bus – шины;

Junction – точка соединения двух цепей;

Bus Entry – ввод в шину;

Net Alias – имена цепей;

Power – размещение символов выводов источников питания;

Ground – размещение символов выводов земли;

Off Page Connector – межстраничные соединители;

Hierarchical Block – иерархические блоки;

Hierarchical Part – иерархические порты;

Hierarchical Pin – иерархические выводы;

No Connect – подключение к выводу символа отсутствия соединения;

Title Block – размещение углового штампа;

Bookmark – метки для быстрого перехода в указанные точки;

Text – текст;

Line – рисование линии;

Rectangle – рисование прямоугольников;

Ellipse – рисование эллипса и окружности;

Arc – рисование дуги;

Polyline – рисование ломаной линии;

Picture – ввод рисунка из растрового графического файла.

Большая часть команд меню Place дублируется на панели инструментов с правой стороны окна (рис. 5).



Рис. 5. Выбор компонента из библиотеки (PSpice 10)

По команде Place Part из подключенных библиотек выбираем необходимые компоненты и размещаем их на схеме (см. рис. 5). В версии 10.0 при выборе компонента в правом нижнем углу появляются пиктограммы, отображающие наличие у компонента PSpice модели . Footprint w или параметрической модели . Соединяем компоненты проводниками или с использованием шин. При необходимости присваиваем проводникам имена. Заметим, что одноименные проводники будут соединены, даже если они явно не соединяются проводником на принципиальной схеме. Кроме этого, OrCAD Сарture налагает жесткие правила наименования шин и цепей, входящих в шину. Шина обязательно должна иметь имя с указанием (в квадратных скобках) количества сигналов, входящих в нее, и их номеров. Например: Adr[1-8]. Имя цепи, входящей в шину, состоит из имени шины и номера цепи. Например: Adr3.

Довольно часто возникает необходимость редактировать свойства элементов. Для редактирования свойств нужно либо выполнить двойной клик левой кнопкой мыши по нужному элементу, либо из контекстного меню, вызываемого при нажатии правой кнопки мыши, выбрать команду Edit Properties. В появившемся окне свойств элемента на вкладке Part (рис. 6) можно просматривать и редактировать свойства, относящиеся к элементу в целом, а на вкладке Pin (рис. 7) –

	A		
	E SCHEMATIC1 : PAGE1 : R2		
BiasValue Power	0vV		
Color	Default		
Designator			
DIST	FLAT		
Graphic	R_0.Normal		
ID			
Implementation			
Implementation Path			
Implementation Type	<none></none>		
ocation X-Coordinate	250		
ocation Y-Coordinate	90		
MAX_TEMP	RTMAX		
Name	100052		
Part Reference	R2		
PCB Footprint	AX/RC05		
POWER	RMAX		
Power Pins Visible			
Primitive	DEFAULT		
PSpiceTemplate	R^@REFDES %1 %2 ?TOLERANCEIR^@REFDESI @VALUE ?TO		
Reference	R2		
SLOPE	RSMAX		
Source Library	E\DEG\PSPICE\PROJECT\10_1.DSN		
Source Package	R_0		
Source Part	R_0.Normal		
TOLERANCE			
Value	1k		
VOLTAGE	RVMAX		

Рис. 6. Окно редактирования свойств элемента

New Row	Apply Display Delete	Property Filter by: < Current	prope
	A	B	
	SCHEMATIC1 : PAGE1	E SCHEMATIC1 : PAGE1	
BiasValue Current	0A		
Is No Connect	Π		
Name	1	2	
Net Name	0	N00133	
Number	1	2	
Order	0	1	
Swap Id	-1	-1	
Туре	Passive	Passive	

Рис. 7. Окно редактирования свойств выводов элемента свойства выводов элемента, например тип вывода и имя цепи, к которой он подключен. Кнопка Display позволяет изменять режим отображения свойств (Do Not Display – не отображать, Value only – только значение свойства, Name and Value – название свойства и его значение, Name Value only – только название свойства). С помощью команды Pivot (появилась в 10 версии) можно менять режим отображения таблицы свойств (переворачивать таблицу). Доступ к этой команде можно получить через правую кнопку мыши, если указатель мыши расположен в верхней левой (безымянной) ячейке электронной таблицы. Выполнить эту команду можно двойным «кликом» левой кнопки мыши по этой же ячейке.

2.3. MEHIO PSpice

Все команды, связанные с моделированием схемы в OrCAD Capture, собраны в контекстно-зависимое меню PSpice (рис. 8). Рассмотрим основные команды этого меню.



Рис. 8. Меню PSpice OrCAD Capture 9

New Simulation Profile – создание нового профиля (задания) на моделирование;

Edit Simulation Profile – редактирование задания на моделирование;

Run – старт моделирования;

View Simulation Results – просмотр результатов анализа;

View Output File – просмотр выходного файла моделирования;

Create Netlist – создание описания схемы в формате Pspice;

View Netlist – просмотр описания схемы;

Place Optimizer Parameters (для PSpice 9) – размещение на схеме параметров оптимизации;

Run Optimizer (для PSpice 9) – запуск оптимизатора;

Advanced Analysis (для PSpice 10) – запуск режимов расширенного анализа и размещение на схеме параметров оптимизации;

Markers – расстановка маркеров напряжения, тока и еще приблизительно 10 различных типов маркеров;

Bias Points – установка отображения токов и напряжений в режиме по постоянному току (в 10-й версии добавлена возможность отображения мощности).

Большинство команд дублируется кнопками панели инструментов (на рис. 9 приведена панель для 9-й версии). В OrCAD 10 добавлено поле со списком для выбора задания на моделирование, кнопки для включения отображения рассеиваемой мощности в режиме по постоянному току и для установки маркеров мощности.

– Новое задание на моделирование
– Редактирование задания на моделирование
– Запуск
– Просмотр результатов моделирования
– Маркер напряжения
– Маркер тока
– Дифференциальный маркер напряжения
– Разрешить отображения напряжений в режиме по постоянному току
– Запретить отображение напряжений в режиме по постоянному току
– Разрешить отображения токов в режиме по постоянному току
– Запретить отображение токов в режиме по постоянному току

Рис. 9. Панель инструментов PSpice OrCAD Capture 9

Перед началом любого моделирования необходимо создать описание схемы в формате PSpice. Для этого используется команда Create Netlist, доступная только в контекстно-зависимом меню PSpice. Если в Вашем проекте несколько страниц схем, то будет создан Netlist и в дальнейшем – задание на моделирование для корневой схемы. Корневая схема выбирается нажатием правой кнопки мыши на нужной схеме и выборе команды Make Root.

В результате выполнения команды Create Netlist создаются два текстовых файла с одним и тем же именем (строится в виде: Имя Проекта тире Имя Схемы) и различными расширениями: *.net (список соединений), *.als (список подключения цепей к выводам компонентов, сокращение от alIASEs).

2.4. ФОРМАТ ФАЙЛА NETLIST

При графическом вводе схемы знание форматов этих файлов необязательно, но, как уже говорилось, оно существенно может облегчить поиск ошибок и позволяет составлять текстовые описания макромоделей.

Приведем пример файла *. NET для схемы, показанной на рис. 10.

* source PICTURE C_C2 N826211 0 1u TC=0 V_V2 N82789 0 15Vdc V V3 N83379 15Vdc 0 V V1 N82777 0 +SIN 0 1 3000 0 0 0 R R4 0 N82693 1k X U1A N82645 N82657 N82789 0 N82693 OP-482G/AD R R1 0 N82645 10k C C1 N82645 N82777 {CapValue} TC=0 N826211 N82657 5k6 R R2 R R3 N82693 N82657 100k .PARAM CapValue=10n



Рис. 10. Усилитель переменного тока

Формат файлов *.NET подробно описан в [4, 10, 13, 15]. Здесь мы приведем лишь самую необходимую информацию.

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.

Предложения входного языка программы PSpice делятся на описания компонентов и директивы. Описание компонента – любая строка, не начинающаяся с символа «.» (кроме первой строки и строк комментариев и продолжений). Структура описания компонента:

<имя компонента> <номера двух или более узлов> [<имя модели>] < числовые данные >

Имя компонента состоит из последовательности символов латинского алфавита и цифр. Первый символ имени компонента определяет его тип (табл. 1). При графическом вводе схем графические редакторы для составления текстового описания схемы и передачи его в PSpice к именам всех компонентов автоматически добавят префиксы. 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.

При графическом вводе номера узлов присваиваются автоматически и начинаются с буквы N, от слова Net (сеть). Исключение составляют цепи, имена которым присвоены с помощью Net Alias, и глобальные узлы, например, «земля» – 0.

Имя модели не обязательно для базовых компонентов, таких как резисторы, конденсаторы и т.д. Для них используется идеальная модель, в которой резистор – это идеальный элемент, обладающий только заданным сопротивлением, конденсатор – только емкостью. В заключение указываются численные значения параметров компонента. Числа масштабируются с помощью суффиксов (табл. 2). Для наглядности допускается к масштабным суффиксам дописывать буквенные символы. Например, сопротивление 5.1 кОм можно записать так: 5100, 5.1 К, 5.1 КОМ, 5.1 КОНМ, 5.1е3.

Помимо числовых значений в предложениях входного языка программы могут использоваться идентификаторы параметров, которые заключаются в фигурные скобки {}. В нашем примере емкость конденсаторов задается параметром {CapValue}. Внутри фигурных скобок допускаются символы арифметических выражений и стандартных функций.

Если при моделировании необходимо учитывать температурные характеристики компонента или отклонения от номинальных значений, нужно указать имя модели, а в описании модели (задается директивой .model) указать нужные параметры.

Таблица 1

Первый	
символ	Тип компонента
имени	
В	Арсенид-галлиевый полевой транзистор (GaAsFET) с каналом <i>n</i> -типа
С	Конденсатор
D	Диод
E	Источник напряжения, управляемый напряжением (ИНУН)
F	Источник тока, управляемый током (ИТУТ)
G	Источник тока, управляемый напряжением (ИТУН)
Н	Источник напряжения, управляемый током (ИНУТ)
Ι	Независимый источник тока
J	Полевой транзистор с управляющим <i>p–n</i> -переходом (JFET)
К	Связанные индуктивности и линии передачи, ферромагнитные сердечни-
	КИ
L	Индуктивность
Μ	МОП-транзистор (MOSFET)
Ν	Аналого-цифровой преобразователь на входе цифрового устройства
Ο	Цифроаналоговый преобразователь на выходе цифрового устройства
Q	Биполярный транзистор

Первые символы имен компонентов

R	Резистор
S	Ключ, управляемый напряжением
Т	Линия передачи
V	Независимый источник напряжения
W	Ключ, управляемый током
Y	Цифровое устройство
Х	Макромодель (операционный усилитель, компаратор напряжения, регу-
	лятор напряжения, стабилизатор напряжения и др.)
Z	Статически индуцированный биполярный транзистор (IGBT)

Таблица 2

Суффикс	Масштабный коэффициент	Наименование
f	10 ⁻¹⁵	Фемто
Р	10 ⁻¹²	Пико
n	10 ⁻⁹	Нано
U	10-6	Микро
mil	25,4.10-6	Мил (0,001 дюйма)
m	10 ⁻³	Милли
k или К	10 ³	Кило
MEG	106	Мега
G	10 ⁹	Гига
Т	1012	Тера
С	—	Признак целого числа тактов
		цифровых сигналов

Масштабные коэффициенты

В реальной модели сопротивление резистора рассчитывается по формуле:

```
<сопротивление>*R [1 + TC1(T - T0) + TC2(T - T0)<sup>2</sup>],
```

где R – масштабный множитель сопротивления; TC1, TC2 – линейный и квадратичный температурный коэффициенты сопротивления (TKC); T0 – номинальная температура окружающей среды (по умолчанию 27 °C); T – текущая температура.

Если же указан экспоненциальный температурный коэффициент сопротивления TCE, то сопротивление резистора рассчитывается по формуле:

<coпротивление>·R·1,01 ^{TCE (T - T0)},

где TCE – экспоненциальный температурный коэффициент. Реальная емкость конденсатора:

```
< e_{MKOCTb} > *C*(1+VC1*V+VC2*V2)*[1+TC1*(T-T0)+TC2*(T-T0)^2],
```

где С – масштабный множитель емкости; VC1 и VC2 – линейный и квадратичный коэффициенты напряжения; TC1 и TC2 – линейный и квадратичный температурные коэффициенты емкости.

Значения параметров компонентов с учетом разброса *X* рассчитывается по формуле:

$$X = X_{\text{HOM}}(1 + \xi \Delta),$$

где $X_{\text{ном}}$ – номинальное значение параметра; Δ – относительный разброс параметра X; ξ – центрированная случайная величина, принимающая значение на отрезке (-1, +1). Генераторы случайных чисел для расчета вариации параметров могут быть независимые (DEV) или коррелированные (LOT).

При размещении на схеме резистора со следующими свойствами: ссылка (reference) R1, сопротивление (VALUE) 1k, отклонение от номинала (TOLERANCE) 10 %, подключенного к цепям N00023, N00011, в Netlist будут помещены следующие строки:

R_R1	N00023 N00011 R_R1 1k
.model	R_R1 RES R=1 DEV=10%,

где R R1 – имя модели, RES – тип модели (резистор).

Если Вы посмотрите список библиотек (приложение A), то увидите, что для каждого элемента задан PSpice Template, который определяет, как при формировании Netlist будут описаны компоненты. Так, символ ^ заменяется на полный иерархический путь для данного элемента. Последовательность символов \n приводит к переносу на следующую строку, обычно используется для перехода от описания символа к описанию модели и за ней стоит .model. Последовательность %<pin name> определяет имена выводов.

Свойства элементов начинаются с @. Свойство @REFDES – ссылка на компонент на схеме (reference). Конструкция ?<имя свойства>| фрагмент Template |. означает, что если свойство элемента задано, то в Netlist переносится фрагмент Template, находящийся между символами | |.

PSpice Template является одним из свойств компонента (рис. 6) и может быть изменен как любое другое свойство.

В качестве примера рассмотрим PSpice Template резистора из библиотеки analog.lib:

R^@REFDES%1%2?TOLERANCE|R^@REFDES|@VALUE?TO LERANCE|\n.modelR^@ REFDES RES R=1 DEV=@TOLERANCE%|

В стандартных моделях резистора, конденсатора заложены температурные коэффициенты, но в стандартных Template они не указываются. Поэтому, если Вам необходимо анализировать влияние температурных свойств компонентов на работу схемы, Вы можете, используя любой текстовый редактор, внести соответствующие изменения в файл Netlist (более подробно модели стандартных компонентов описаны [4, 10, 13, 15]). Другой вариант – изменить Template и добавить компоненты свойств, определяющие зависимость номинала от температуры, либо создать библиотечные элементы со своим Template для компонентов с разными температурными коэффициентами и точностью. Ниже приводится Template для резистора с TC1 = 0.1 % на °C, и точностью 10 %.

R^@REFDES %1 %2 @VALUE \n.model R^@REFDES RES R=1 DEV=10% TC1=0.001

Если резистор с таким Template подключить к цепям N00023, N00011, задать сопротивление (value) 10к и ссылку (refdes) R1, в Netlist будут помещены следующие строки:

R R1 N00023 N00011 R R1 10k

.model R R1 RES R=1 DEV=10% TC1=0.001

А вот Template для резистора, у которого точность задается через значение свойства TOLERANCE, значение линейного коэффициента сопротивления (TC1) задается через значение свойства TC1:

R^@REFDES%1%2?TOLERANCE|R^@REFDES|@VALUE?TC1|TC 1=@TC1| ?TOLERANCE|\ n.model R^@REFDES RES R=1 DEV=@TOLERANCE%|

2.5. СОЗДАНИЕ ЗАДАНИЯ НА МОДЕЛИРОВАНИЕ

Если создание Netlist прошло успешно – а в противном случае будет выдано сообщение об ошибке – можно приступать к формированию задания на моделирование.

Прежде чем начать анализ, необходимо подумать и сформулировать, что же Вы хотите анализировать. Определились? Если Вас интересует анализ только цифровой схемы, возьмите в библиотеке литературу [12, 14]. Если Ваша схема содержит аналоговые компоненты, тогда продолжаем.

Вид анализа и его параметры устанавливаются в задании на моделирование. Для создания задания на моделирование используется команда **New Simulation Profile** из меню PSpice. В открывшемся окне вводится имя задания, после чего появляется окно, в котором выбирается вид задания, варьируемые параметры, опции моделирования, режим отображения результатов.

Задание на моделирование для программы PSpice заносится в текстовый файл с расширением *.CIR (список директив моделирования, CIR – сокращение от circuit). При моделировании в PSpice за-

гружается именно этот файл, а в нем имеются ссылки на остальные файлы.

Глава З

НАЗНАЧЕНИЕ И ВОЗМОЖНОСТИ РЕЖИМОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ

3.1. РЕЖИМ ЦЕПИ ПО ПОСТОЯННОМУ ТОКУ (BIAS POINT)

Режим цепи по постоянному току в «рабочей точке» (Bias Point – точка смещения) всегда рассчитывается в начале моделирования перед выполнением других видов анализа без указания специальных директив. При расчете режима по постоянному току принимаются во внимание параметры DC (Direct Current – постоянный ток) всех независимых источников напряжения и тока. Т.е., если проводить аналогию с традиционной отладкой электронного устройства, Вы подключаете схему к источникам питания без подачи сигналов и измеряете напряжения во всех точках и токи, потребляемые от источников питания. Результаты расчетов выводятся в текстовый файл *.OUT в виде таблицы узловых потенциалов и списка токов независимых источников.

Уже с помощью этого анализа можно многое сказать о работе схемы: правильно ли подано питание, верно ли рассчитаны номиналы резисторов, правильно ли подобраны активные компоненты. Недаром на грамотно составленных схемах приводятся значения напряжений в контрольных точках и часто для поиска неисправности достаточно пробежаться тестером по этим точкам. Как уже говорилось, обычная последовательность при анализе работоспособности схемы состоит в следующем: проверить подачу напряжения питания и проверить напряжение на выходе схемы. Если все в порядке, переходим к дальнейшим испытаниям, если нет – то идем от выхода ко входу и отыскиваем каскад, который не работает. PSpice позволяет Вам сразу увидеть всю необходимую информацию. Причем можно проанализировать не только напряжения в любой точке, но и ток, и мощность, потребляемую схемой. В качестве примера возьмем две схемы из раздела «Негодные схемы» классического учебника П. Хоровица и У. Хилла [17]. Схема повторителя со связью по переменному току приведена на рис. 11, а схема стабилизатора напряжения – на рис. 12. Почему они «негодные», определите сами.



Рис. 11. Схема повторителя со связью по переменному току



Рис. 12. Схема стабилизатора напряжения

Как и при любом моделировании, при расчете режима по постоянному току (рассчитывается итерационным методом Ньютона– Рафсона) возможны проблемы со сходимостью. Если расчет не произведен, рекомендуется на вкладке Options окна задания на моделирование (рис. 13) увеличить максимальное количество итераций в режиме по постоянному току: DC and bias «blind» iteration limit (ITL1). По умолчанию ITL1 = 40. Для повышения скорости сходимости и при анализе схем, имеющих несколько устойчивых состояний, с помощью директивы.NODESET рекомендуется установить начальные значения узловых потенциалов, максимально близкие к ожидаемым, иначе эти потенциалы окажутся равными нулю. Для установки начальных значений узловых потенциалов из библиотеки Special выбираем элементы NODESET1 или NODESET2, подключаем их к нужному участку цепи и задаем начальное значение напряжения. В файл задания директива записывается в виде:

.NODESET <имя узла> = <значение ЭДС>.

eneral Analysis Inclu	de Files Libraries Stimulus Options D	ata Collec	tion P	obe Window
ategory				(.OPTION)
Analog Simulation	Relative accuracy of V's and I's:	0.001		(RELTOL)
Gate-level Simulation	Best accuracy of voltages:	1.0u	volts	(VNTOL)
Uutput hie	Best accuracy of currents:	1.0p	amps	(ABSTOL)
	Best accuracy of charges:	0.01p	coulomb	s (CHGTOL)
	Minimum conductance for any branch:	1.0E-12	1/ohm	(GMIN)
	DC and bias "blind" iteration limit:	150		(ITL1)
	DC and bias "best guess" iteration limit:	20		(ITL2)
	Transient time point iteration limit:	10		(ITL4)
	Default nominal temperature:	27.0	°C	(TNOM)
	Use GMIN stepping to improve convergence. (STEPGMI			
	Use preordering to reduce matrix fill-	in.		(PREORDE
	MOSFET Options	anced Opl	ions	Reset

Рис. 13. Задание опций моделирования

eneral Analysis Include F Analysis type:	Files Libraries Stimulus Options Data Collection Probe Windov
DC Sweep 📃 💌	C Voltage source Name:
Options: Primary Sweep Monte Carlo/Worst Case Parametric Sweep Temperature (Sweep) Save Bias Point Load Bias Point	C Current source Model type: Global parameter Model name: Model parameter Parameter name: ResValue
	Sweep type Start value: 600 Image: Linear End value: 1000 Image: Linear Increment: 200
	C Value list

Рис. 14. Задание на анализ схемы по постоянному току при вариации параметров

Если после этого сходимость все равно не достигается, рекомендуется включить опцию STEPGMIN, по которой в отсутствие сходимости методом Ньютона–Рафсона сначала применяется метод вариации минимальной проводимости GMIN, а затем, в случае его неудачи, программа автоматически переходит к методу вариации напряжений источников питания, который ценой увеличения затрат машинного времени обеспечивает сходимость решения в большинстве случаев.

Для сложных схем расчет режима по постоянному току может занимать много времени, поэтому, чтобы не повторять его перед каждым анализом, результаты расчета можно сохранить в файле и в дальнейшем считывать из файла. Для этого в окне редактирования задания на моделирование нужно установить режимы Save Bias point и Load Bias point соответственно (рис. 14).

3.2. РЕЖИМ ЦЕПИ ПО ПОСТОЯННОМУ ТОКУ ПРИ ВАРИАЦИИ ПАРАМЕТРОВ (DC SWEEP)

Первые ошибки устранены (в это так хочется верить!), устройство по постоянному току работает нормально и можно приступать к следующему анализу: расчет режима по постоянному току при вариации одного или двух параметров схемы (DC Sweep). Суть анализа очевидна из названия – Вы производите серию расчетов режима по постоянному току, изменяя один или два параметра. В качестве параметров могут выступать напряжения источников питания, ток источника тока, параметры моделей компонентов, температура, глобальные параметры (глобальный параметр в PSpice – это переменная, принимающая численное значение, после определения глобального параметра он может использоваться для задания любых значений в схеме на любом уровне иерархии). С помощью анализа режима по постоянному току при вариации параметров можно (не прибегая к расчетам) подобрать коэффициент усиления усилителя, проверить поведение устройства при изменении напряжения питания или сопротивления нагрузки.

Если указаны два варьируемых параметра, то первый параметр изменяется в заданных пределах для каждого значения второго параметра. Такой цикл удобно использовать, например, для построения статических вольтамперных характеристик полупроводниковых приборов.

В задании на моделирование для данного расчета используется директива .DC с различными параметрами:

.DC LIN <имя первой переменной> <начальное значение> <конечное значение> <приращение>[<имя второй переменной> <начальное значение> <конечное значение> <приращение>]

.DC DEC <имя первой переменной> <начальное значение> <конечное значение> <количество точек > [<имя второй переменной> <начальное значение> <конечное значение> <количество точек>]

.DC <имя первой переменной> LIST <значение> ... [<имя второй переменной> LIST <значение> ...],

где LIN – линейный масштаб изменения значений переменных, DEC – логарифмический масштаб, LIST – список значений.

В качестве примера рассмотрим стабилизатор напряжения на базе стабилитрона (рис. 15) и проведем анализ изменения напряжения на выходе от напряжения источника и сопротивления нагрузки.



Рис. 15. Стабилизатор напряжения на базе стабилитрона

Задаем: **Primary Sweep** (первичное изменение) \rightarrow Voltage Source Name (название источника напряжения, V1 изменяется от 7 до 10 В с шагом 1 В) \rightarrow Secondary Sweep (вариация второго параметра) \rightarrow Global Parameter Name ResValue, который изменяется от (Start value) 600 до (End value) 1000 Ом с шагом (Increment) 200 (см. рис. 14).

Далее с помощью кнопки New нужно создать новое свойство; в качестве имени свойства ввести имя Вашего глобального параметра.

При задании изменяемых параметров во всех режимах можно выбрать линейный инкремент (задается начальное, конечное значение и шаг), логарифмический (задается начальное, конечное значение и количество точек), либо список значений.

Для создания глобального параметра необходимо из библиотеки Special выбрать элемент PARAM и разместить его на схеме. Затем открыть окно редактирования свойств этого элемента (правая кнопка мыши и команда Edit Properties). Потом нужно создать новое свойство (кнопка New): имя свойства – имя Вашего глобального параметра. Установите значение свойства равным значению параметра и, если необходимо, установите «видимость» для этого свойства (установить указатель мышки на свойство, нажать кнопку Display и выбрать режим отображения).

На рис. 16 представлен результат анализа. Определите, какая кривая соответствует 600 Ом, а какая 1000 Ом.



Рис. 16. Зависимость выходного напряжения стабилизатора напряжения на базе стабилитрона от входного напряжения при вариации сопротивления нагрузки

Истинный вид окна специализированного графического редактора Probe, предназначенного для просмотра и анализа результатов моделирования, приведен, например, на рис. 26, на всех остальных рисунках для улучшения наглядности приводятся только эпюры напряжений с инверсией изображения с негатива на позитив.

3.3. АНАЛИЗ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ (TIME DOMAIN)

Следующий этап традиционной отладки обычно заключается в подаче на вход устройства тестовых или реальных сигналов и наблюдении на осциллографе сигналов в характерных точках. Анализируя эти сигналы, можно делать заключение о функционировании изделия. Причем часто нужно одновременно наблюдать несколько сигналов, используя двух- или четырехканальные осциллографы и внешнюю синхронизацию. Нередко подобрать тестовые сигналы достаточно сложно, например, если предыдущие схемы или датчики еще не готовы. Не говоря уже о том, что некоторые редко повторяющиеся сигналы можно увидеть только на цифровом осциллографе, если повезет настроить синхронизацию. Все эти проблемы легко решаются с помощью анализа переходных процессов при воздействии сигналов различной формы (Time Domain (Transient)). Вы можете подавать к любым точкам Вашего устройства любые сигналы сколько угодно раз и смотреть, сохранять и распечатывать эпюры напряжений в любых точках в любой момент времени. Но и в этом случае нужно выбрать характерные точки, чтобы по минимальному количеству треков определить, где в схеме могут происходить сбои. Это к тому, что использование PSpice не избавляет Вас от необходимости думать. Иначе, даже используя самые современные компьютеры, Вы можете потратить слишком много времени, анализируя отклик на входной сигнал во всех точках сложного электронного устройства.

Пример окна задания на моделирование приведен на рис. 17. Задаются следующие параметры: *Maximum step size* – максимальный шаг вычислений, *Run to time* – конечное время анализа, *Start saving data* – начальное время вывода данных. В текстовом файле для данного анализа используется директива .TRAN <шаг вывода данных> <конечное время анализа>[<начальное время вывода данных> <максимальный шаг вычислений>].

Simulation Settings - tran				×		
General Analysis Include Fil	es Libraries Stimulus	Options E	ata Collection	Probe Window		
Analysis type: Time Domain (Transient) 💌	Run to time: 1m seconds (TSTOP)					
Options:	Start saving data af	er: 0	seconds			
General Settings Monte Carlo/Worst Case Parametric Sweep Temperature (Sweep)	Transient options Maximum step size: seconds Skip the initial transient bias point calculation (SKIPBP)					
Load Bias Point	Dutput File Options					
Print va	lues in the output file ev	ery:	_ seconds [
Perf Cen Nun	orm Fourier Analysis ter Frequency: 500 nber of Harmonics: 20	D hz	,			
Out	out Variables: V(R	4:2)				
	ude detailed bias point ir trolled sources and semi	formation for r conductors (/(nonlinear JP)			

Рис. 17. Задание на анализ переходных процессов

В качестве примера рассмотрим еще одну схему повторителя со связью по переменному току из раздела «Негодные схемы» замечательной книги П. Хорвица и У. Хилла [17]. Схема приведена на рис. 18, а эпюры напряжения на входе и выходе – на рис. 19.



Рис. 18. «Негодная» схема повторителя со связью по переменному току



Рис. 19. Эпюры входного и выходного напряжений схемы, приведенной на рис. 18

Теперь добавим в схему один резистор (рис. 20) и проведем анализ еще раз. Полученный после этого результат работы схемы приведен на рис. 21.



Рис. 20. Исправленная схема повторителя со связью по переменному току



Рис. 21. Эпюры входного и выходного напряжений в исправленной схеме

3.4. СПЕКТРАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ (FOURIER)

Спектральный анализ производится с помощью дискретного преобразования Фурье после завершения расчета переходного процесса. Для проведения этого анализа нужно в задании на моделирование (см. рис. 17) установить следующие опции выходного файла (Output File Options):

• Perform Fourier Analysis – разрешить выполнение Фурьеанализа;

• Center Frequency – основная частота;

• *Number of Harmonics* – число гармоник, на которые будет выполнено разложение сигнала;

• Output Variables – выходной сигнал.

В программе рассчитываются амплитуды постоянной составляющей A_0 и заданного числа гармоник. Спектральному анализу подвергается участок длительностью $T_n = 1/f_1$ в конце интервала анализа (чтобы завершились переходные процессы). Кроме того, рассчитывается коэффициент нелинейных искажений. Результаты расчетов записываются в выходной файл.

Ниже приведены фрагменты выходных файлов с результатами спектрального анализа входного и выходного сигналов схемы полосового фильтра (рис. 22) при подаче на вход прямоугольных импульсов. На рис. 23 приведены результаты анализа переходных процессов для этой схемы.

FOURIER COMPONENTS OF TRANSIENT RESPONSE V(OUT) DC COMPONENT = -8.800130E-04

HARMONIC FREQUENCY FOURIER NORMALIZED PHASE NORMALIZED NO (HZ) COMPONENT COMPONENT (DEG) PHASE (DEG) 1 5.000E+03 7.297E+00 1.000E+00 -1.429E+02 0.000E+00 2 1.000E+04 7.949E-01 1.089E-01 9.592E+01 3.817E+02 3 1.500E+04 2.106E-01 2.886E-02 5.052E+01 4.792E+02 4 2.000E+04 1.604E-02 2.198E-03 -7.928E+01 4.923E+02

•	_	1.00.10.01	_ , of of	/./ _ 0 _ 01	
5	2.500E+04	8.995E-02	1.233E-02	1.330E+02	8.475E+02
6	3.000E+04	7.524E-02	1.031E-02	7.176E+01	9.291E+02
7	3.500E+04	2.411E-02	3.304E-03	3.622E+01	1.036E+03
8	4.000E+04	6.408E-03	8.781E-04	1.640E+02	1.307E+03

 8
 4.000E+04
 6.408E-03
 8.781E-04
 1.640E+02
 1.307E+03

 9
 4.500E+04
 2.789E-02
 3.822E-03
 1.319E+02
 1.418E+03

10 5.000E+04 2.750E-02 3.769E-03 6.437E+01 1.493E+03 TOTAL HARMONIC DISTORTION = 1.140269E+01 PERCENT FOURIER COMPONENTS OF TRANSIENT RESPONSE V(IN)

DC COMPONENT = 5.000000E-01 HARMONIC FREQUENCY FOURIER NORMALIZED PHASE NORMALIZED NO (HZ) COMPONENT COMPONENT (DEG) PHASE (DEG) 1 5.000E+03 9.005E-01 1.000E+00 4.320E+01 0.000E+00 2 1.000E+04 6.370E-01 7.075E-01 -3.600E+00 -9.000E+01 3 1.500E+04 3.006E-01 3.338E-01 -5.040E+01 -1.800E+02
4	2.000E+04	6.087E-10	6.760E-10	1.580E+01	-1.570E+02
5	2.500E+04	1.808E-01	2.008E-01	3.600E+01	-1.800E+02
6	3.000E+04	2.135E-01	2.371E-01	-1.080E+01	-2.700E+02
7	3.500E+04	1.297E-01	1.440E-01	-5.760E+01	-3.600E+02
8	4.000E+04	1.198E-09	1.330E-09	1.866E+01	-3.269E+02
9	4.500E+04	1.014E-01	1.126E-01	2.880E+01	-3.600E+02
10	5.000E+04	1.294E-01	1.438E-01	-1.800E+01	-4.500E+02
TO	TAL HARM	ONIC DISTC	RTION = 8	8.732060E+01	I PERCENT

Спектральный анализ может быть произведен также при обработке данных в графическом постпроцессоре PROBE (см. гл. 4).



Рис. 22. Схема полосового фильтра второго порядка при подаче на вход прямоугольных импульсов



Рис. 23. Эпюры входного и выходного напряжений схемы полосового фильтра

3.5. АНАЛИЗ ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК (АС SWEEP)

Если фазовые сдвиги, переходные процессы, параметры импульсов удобно анализировать, используя Transient Analysis, то для исследования амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) предназначен анализ характеристик линеаризованной цепи в частотной области при воздействии одного или нескольких сигналов (AC Sweep). Суть этого анализа заключается в следующем: Вы подаете на вход устройства синусоидальный сигнал заданной частоты, вольтметром или осциллографом измеряете действующее значение или амплитуду напряжения в нужных точках, записываете показания, после чего изменяете частоту входного сигнала с заданным шагом и повторяете измерения во всем интересующем Вас диапазоне частот. В результате получаете зависимость амплитуды сигналов в выбранных точках от частоты, т.е. АЧХ. При традиционной отладке кроме генератора и вольтметра для этих целей применяются специальные приборы – измерители АЧХ, характериографы, которые обычно рассчитаны на определенный частотный диапазон, и нужно держать под рукой несколько ящиков немалых размеров, да и стоят они недешево.

Для получения АЧХ с использованием программы PSpice в задании на моделирование выбираем AC Sweep, задаем начальную, конечную частоту и количество точек. Для этого анализа используется директива .AC (LIN/DEC) <n> <начальная частота <конечная частота>.

На рис. 24 приведено задание на расчет АЧХ полосового фильтра (рис. 25) в диапазоне частот от 2 до 10 кГц с шагом 40 Гц (200 точек). Результат моделирования приведен на рис. 26. Этот рисунок повторяет вид экрана реального измерителя АЧХ.

AC Sweep/Noise	AC Sweep Type	Start Frequency: 2000
Options:	C Logarithmic	End Frequency: 10000
General Settings Monte Carlo/Worst Case	Decade 💌	Total Points: 200
☐ rainleut Sweep ☐ Temperature (Sweep) ☐ Save Bias Point ☐ Load Bias Point	- Noise Analysis I Enabled Outp I /√ :	out Voltage: V(R19) Source: V6
	Inte	rval:

Рис. 24. Задание на анализ частотных характеристик



Рис. 25. Схема полосового фильтра второго порядка



Рис. 26. АЧХ схемы полосового фильтра, приведенного на рис. 25

3.6. СПЕКТРАЛЬНАЯ ПЛОТНОСТЬ ВНУТРЕННЕГО ШУМА (NOISE ANALYSIS)

При проведении анализа AC Sweep в разделе Noise Analysis можно установить параметры расчета спектральной плотности внутреннего шума:

• Noise Enabled — включение режима расчета уровня шума;

• *Output Voltage* — выходное напряжение, указывается элемент или участок схемы, на котором измеряется спектральная плотность внутреннего шума на выходе устройства;

• *I/ V Source* — имя входного источника напряжения или тока;

• Interval — интервал *n* расчета парциальных уровней шума. Если *n* указан, то он определяет количество частот в заданном диапазоне, на которых будет дополнительно рассчитываться вклад в выходной сигнал каждого источника шума.

Если к входу подключается источник напряжения, то рассчитывается спектральная плотность выходного напряжения S_u вых (f) B^2/Γ_{II} , а если источник тока, то спектральная плотность выходного тока S_i вых (f) A^2/Γ_{II} .

В качестве выходных параметров используются ONOISE = $\sqrt{S_{\text{RMX}}(f)}$ и INOISE = $\sqrt{S_{\text{RX}}(f)}$.

Графики спектральных плотностей можно построить с помощью программы Probe. Причем помимо суммарных спектральных плотностей выходного и входного напряжения шума доступны и парциальные спектральные плотности напряжения выходного шума, обусловленные отдельными источниками шума.

3.7.ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ ХАРАКТЕРИСТИК ЦЕПИ К ВАРИАЦИИ ПАРАМЕТРОВ КОМПОНЕНТОВ (SENSITIVITY) И МАЛОСИГНАЛЬНЫЕ ПЕРЕДАТОЧНЫЕ ФУНКЦИИ (TRANSFER FUNCTION) В РЕЖИМЕ ПО ПОСТОЯННОМУ ТОКУ

Данные расчеты устанавливаются как опции при задании расчета базовой точки активизацией пунктов Perform Sensitivity Analysis для чувствительности к вариации параметров и Calculate Small signal Gain передаточных функций (рис. 27).

Bias Point Diptions: General Settings Temperature (Sweep) Save Bias Point Load Bias Point	Include detailed bias point information for nonlinear controlled sources and semiconductors (.OP) Perform Sensitivity analysis (.SENS) Output variable(s): [V(R2)) Calculate small-signal DC gain (.TF) From Input source name: [V1 To Output variable: [V(R2)]

Рис. 27. Задание на анализ чувствительности характеристик цепи к вариации параметров и малосигнальные передаточные функции в режиме по постоянному току В первом анализе задаются выходные переменные, и после линеаризации цепи в окрестности рабочей точки рассчитывается чув-



ствительность каждой из указанных выходных переменных к изменению параметров всех компонентов и моделей. Объем результатов расчета чувствительностей может быть очень большим. Результаты расчета выводятся в файл.out. В файл задания для этого расчета добавляется директива:

Рис. 28. Резистивный делитель напряжения

.SENS <выходная переменная>.

В качестве примера возьмем простейший резистивный делитель напряжения (рис. 28). Фрагмент выходного файла с результатами расчета чувствительностей приведен ниже.

DC SENSITIVITIES OF OUTPUT V(R R2)

ELEMENT	ELEMEN	IT ELEM	ENT 1	NORMALIZED
NAME	VALUE	SENSITIVIT	Y SEN	ISITIVITY
	(VOLTS	/UNIT) (VOL'	TS/PERC	ENT)
R_R1	1.000E+03	1.250E-03	1.250E-	02
R_R2	1.000E+03	-1.250E-03	-1.250E-	-02
VV1	5.000E+00	-5.000E-01	-2.500E	-02

Из результатов видно, что напряжение на резисторе R2 при изменении на 1 % напряжения источника питания изменится на 25 мВ, а при изменении на 1 % сопротивления любого из резисторов – на 12.5мВ. Можете проверить это утверждение, вспомнив школьный курс физики или теоретические основы электротехники.

Для анализа передаточных функций в окне задания на моделирование (см. рис. 27) нужно установить Calculate small-signal DC gain, задать входной источник тока или напряжения (From Input source name) и выходные переменные (ток или напряжение в выбранных точках – To Output variable). При этом в файл задания будет добавлена директива .TF <выходная переменная> <имя источника напряжения или тока>, по которой рассчитывается передаточная функция (коэффициент усиления) по постоянному току или напряжению, а также входное и выходное сопротивления схемы.

Фрагмент выходного файла с результатами расчета передаточной функции резистивного делителя напряжения приведен ниже:

**** SMALL-SIGNAL CHARACTERISTICS V(R_R2)/V_V1 = -5.000E-01 INPUT RESISTANCE AT V_V1 = 2.000E+03 OUTPUT RESISTANCE AT V(R_R2) = 5.000E+02

3.8. СТАТИСТИЧЕСКИЕ ИСПЫТАНИЯ ПО МЕТОДУ МОНТЕ-КАРЛО (MONTE CARLO)

При изготовлении любой схемы используются реальные элементы, и резистор с номиналом 10 К реально может иметь сопротивление 9.2 К или 10.9 К, и отлаженная схема при сборке следующего экземпляра может вести себя совершенно иначе. Чтобы оценить влияние разброса параметров компонентов на работу устройства, используются статистические испытания по методу Монте–Карло и расчет наихудшего случая. Эти испытания проводятся при расчете режима по постоянному току, частотных и переходных характеристик. Значения параметров компонентов X с учетом разброса рассчитываются по формуле:

$$X = X_{\text{HOM}}(1 + \xi \Delta),$$

где $X_{\text{ном}}$ – номинальное значение параметра; Δ – относительный разброс параметра X; ξ – центрированная случайная величина, принимающая значение на отрезке (-1,+1).

Окно задания на моделирование приведено на рис. 29.

Simulation Settings - MonteCarlo					
General Analysis Include File Analysis type: DC Sweep	Libraries Stimulus Options Data Collection Probe Window Monte Carlo Worst-case/Sensitivity Output variable: V(R2) Monte Carlo options				
✓ Primary Sweep Secondary Sweep ✓ Monte Carlo/Worst Case Parametric Sweep Temperature (Sweep) Save Bias Point Load Bias Point	Number of runs: [200 [1400] Use distribution: Uniform I Distributions Random number seed: [132767] Save data from <none> I runs Worst-case/Sensitivity options</none>				
Used Bias Point Workedser densitivity options Vary devices that have both DEV and LOT I tolerances Limit devices to type(s): Save data from each sensitivity run					
	ОК Отмена Применить Справка				

Рис. 29. Задание на статистические испытания по методу Монте-Карло

Задаем:

Output Variable – выходная переменная в формате V (<имя цепи> [,<имя цепи >]).

Устанавливаем опции моделирования:

• Number of runs – число испытаний;

• Use distribution – выбираем тип распределения: равномерное (Uniform), гауссово (Gaussian) или задаваемый пользователем (кнопка distributions);

• Random number – номер генератора случайных чисел от 1 до 32767 (в нескольких испытаниях с одним генератором Вы получите одинаковые результаты);

• Save data from – какие данные сохранять (All – все, first – первые n, Every – каждое n-е испытание).

По кнопке More Settings задается тип расчета:

• YMAX – расчет максимального значения текущей реализации от номинальной;

• МАХ – расчет максимального значения в каждой реализации;

• MIN – расчет минимального значения в каждой реализации;

• FALL EDGE (<значение>) – определение момента пересечения заданного уровня сверху вниз, RISE EDGE – снизу вверх.

После завершения анализа, чтобы просмотреть его результаты из меню PSpice, выбираем View Output File.

В схемах с десятками и сотнями компонентов оценить влияние на конечный результат отдельных элементов довольно сложно. Поэтому если в результате анализа по методу Монте-Карло всей схемы разброс параметров получается больше допустимого, целесообразно разбивать схему на функциональные блоки, анализировать их, находить наиболее критичные компоненты и заменять их более прецизионными.

Для упрощения интерпретации результатов статистических испытаний по методу Монте-Карло проведем их для резистивного делителя напряжения (см. рис. 28). Отклонение величины сопротивления резисторов от номинала задано равным ± 10 %. Ниже приведен фрагмент выходного файла с результатами.

Здесь для первой строки результатов: Pass 10 – номер испытания, .1591 – отклонение выходного параметра (в данном случае V (R2) от номинала в абсолютных единицах, (1.85 sigma) – отклонение составляет 1.85 от среднеквадратического, (106.36 % of Nominal) – значе-

ние выходного параметра 106.36 % от номинала (номинальное значение напряжения на R2 = 2.5B).

В табл. 3 приведены результаты статистических испытаний по методу Монте-Карло для различного числа испытаний.

Таблица З

Количество испытаний	10	20	100	400
Mean Deviation (среднее отклонение)	3.2394E-03	-0.0105	1.1707E-03	4.6836E-03
Sigma (среднее квадратическое отклонение)	0.0861	0.1041	0.1079	0.1028

Результаты статистических испытаний по методу Монте-Карло

Таким образом, для делителя из двух одинаковых резисторов с отклонением сопротивлений ± 10 % при питании 5 В выходное напряжение составит 2.5 ± 0.103 В.

3.9. РАСЧЕТ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ И НАИХУДШЕГО СЛУЧАЯ (WORST CASE)

В этом виде анализа выявляется наихудшее сочетание параметров компонентов и параметры схемы при данной комбинации. После запуска моделирования сначала проводятся расчеты характеристик схемы при вариации параметров, имеющих опции DEV или LOT. При этом по очереди изменяются все указанные параметры, что позволяет оценить чувствительность характеристик. Затем рассчитываются характеристики схемы при одновременном изменении всех параметров по методу наихудшего случая.

Расчет наихудшего случая имеет ряд общих установок с моделированием по методу Monte Carlo (имя выходной переменной, обработка результатов). Кроме указанных ранее установок в окне редактирования задания на моделирование задаем опции:

• Vary Devices That Have – выбираем тип вариации параметров моделей: DEV – независимые, LOT – коррелированные вариации параметров;

• Limit Devices to Type (s) – список устройств (по первым символам имен компонентов), включаемых в анализ.

По кнопке More Settings тип расчета задается аналогично симуляции по методу Monte Carlo, кроме поля Worst-Case direction, где выбирается направление поиска наихудшего случая (Hi – вверх, or Low – вниз).

В задании на моделирование может быть директива Monte Carlo либо Worst-Case, но не обе вместе.

В качестве примера проведем расчет наихудшего случая для того же делителя.

Фрагмент файла результатов анализа приведен ниже.

Mean Deviat	tion = 0					
Sigma = 1.2496E-03						
RUN MAX DEVIATION FROM NOMINAL						
R_R1 R_R1	R 1	.2496E-	03 (1.00 sigma)	higher at $V_V 1 = 5$		
	(4998	3% char	nge per 1% change	in Model Parameter)		
R_R2 R_R2	R 1	.2496E-	03 (1.00 sigma)	lower at $V_V 1 = 5$		
	(4998	3% char	nge per 1% change	in Model Parameter)		
	WORST	CASE .	ALL DEVICES			
DEVICE	MODE	EL	PARAMETER	NEW VALUE		
R_R1	R_R1	R	1.1	(Increased)		
R_R2	R_R2	R	.9	(Decreased)		
	WORST	CASE	SUMMARY			
********	******	*****	*****	******		
RUN	MAX	K DEVL	ATION FROM N	OMINAL		
ALL DEVIC	ES	.25 ł	nigher at V_V1 =	5		
	(90 %	6 of Noi	ninal)			

По результатам анализа видно, что изменение сопротивления каждого резистора на 1 % изменяет выходное напряжение на 0.5 %. Наихудшим случаем будет увеличение R1 на 10 % т.е. до 1К1 и уменьшение R2 до 900 Ом. При этом выходное напряжение уменьшится на 0.25 В или на 10 %. При выборе другого направления поиска наихудшего случая получим соответственно R1 = 900 Ом, R2 = = 1K1, при этом выходное напряжение увеличится на 0.25 В.

Заметим, что если в модели резистора использовать связанные генераторы случайных чисел (LOT), то при поиске наихудшего случая выходное напряжение не меняется.

3.10. МНОГОВАРИАНТНЫЙ АНАЛИЗ ПРИ ВАРИАЦИИ ТЕМПЕРАТУРЫ (TEMPERATURE)

При проведении любого анализа можно установить температуру (или несколько температур), при которых будет производиться анализ. Для этого в окне задания на моделирование нужно выбрать опцию Temperature (Sweep) и задать одно или несколько значений температуры.

При температурном анализе необходимо внимательно подбирать модели активных компонентов, так как не во всех моделях заложена зависимость параметров от температуры. В PSpice Template пассивных компонентов по умолчанию также не заложены температурные коэффициенты, и для проведения корректного анализа при вариации температуры их нужно дополнить, как было указано ранее.

В качестве примера проанализируем частотную характеристику фильтра (см. рис. 25) при T = 20 °C и T = 80 °C. Для резисторов



Рис. 30. АЧХ полосового фильтра при температуре 20 и 80 °С

установим ТКС = -500 ppm/°C (ppm (part per million) – доля на одну миллионную). Для конденсаторов ТКЕ = -750 ppm/°C. Результаты анализа приведены на рис. 30. Из графиков видно, что при изменении температуры центр полосы пропускания сдвигается очень значительно (примерно на 300 Гц) и этот сдвиг вызван изменением емкости конденсаторов и сопротивления резисторов (это можно увидеть, проанализировав *.OUT файл, где приведены значения температурно-зависимых компонентов), а значит, при проектировании фильтров нужно обратить внимание на температурные параметры используемых компонентов.

3.11. МНОГОВАРИАНТНЫЙ АНАЛИЗ ПРИ ВАРИАЦИИ ПАРАМЕТРОВ (PARAMETRIC)

Опция вариации параметров может быть установлена при проведении анализа переходных процессов и частотных характеристик.



Рис. 31. Схема интегратора



Рис. 32. Эпюры напряжений на входе и выходе интегратора

Варьируются напряжение источников питания, ток источника тока, параметры моделей компонентов и глобальные параметры. Параметры задаются так же, как и в режиме DC-Sweep. Моделирование производится для каждого значения параметра. Для примера проведем анализ переходного процесса в схеме интегратора (рис. 31) при варьировании постоянной времени интегрирования (через изменение сопротивления R1, заданное через параметр {RVAL}). На рис. 32 приведены эпюры напряжений на входе и выходе интегратора.

Глава 4

ОТОБРАЖЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ

В состав PSpice входит специализированный графический редактор для анализа графиков (например, частотных характеристик) и временных диаграмм. По сути, он представляет собой цифровой осциллограф с очень широкими возможностями.

С помощью графических средств PSpice Вы можете:

• просматривать результаты моделирования в нескольких окнах Probe;

• сравнивать результаты моделирования нескольких схем в одном окне;

• отображать эпюры напряжения, тока, мощности и шумов;

• использовать арифметические операторы, математические и специальные функции для создания целевых функций (измерений), характеризующих работу схемы;

• отображать результаты Фурье-преобразования напряжений и токов;

• для смешанных схем отображать аналоговые и цифровые сигналы в одной временной шкале.

Когда из OrCAD Capture Вы запускаете задание на моделирование, автоматически запускается PSpice или PSpice A/D и открывается соответствующее окно (см., например, рис. 26). Режим отображения графиков в окне PSpice задается при редактировании задания на моделирование на вкладке Probe Window (рис. 33). Вы выбираете, когда будет отображаться график: во время симуляции (during simulation) или после завершения (after simulation has completed). Какие графики будут выведены: все помеченные маркерами (all markers on ореп schematics), в соответствии с настройками последнего отображенного окна (last plot), или никакие (Nothing).

Simulation Settings - tran
General Analysis Include Files Libraries Stimulus Options Data Collection Probe Window
 Display Probe window: during simulation. after simulation has completed.
All markers on open schematics. Last plot.
C Nothing.
ОК Отмена Применить Справка

Рис. 33. Установка режима отображения результатов анализа

Для отображения треков в PSpice нужно выбрать команду Add **Trace** из меню **Trace** или нажать кнопку тов. Отображаемые типы переменных определятся положением выключателей (рис. 34):

- Analog аналоговые переменные;
- Digital цифровые переменные;
- *Voltages* напряжения;
- Currents токи;

• Power – рассеиваемая мощность;

• *Noise* (V²/Hz) – спектральная плотность напряжения выходного шума;

Alias Names – псевдонимы;

• *Subcircuit Nodes* – внутренние узлы макромоделей (только напряжения).



Рис. 34. Добавление треков в PSpice

Вам предоставляется возможность выбрать несколько переменных и использовать математические и специализированные функции.

Для анализа графиков Вы можете использовать курсоры – команда **Cursor**. В PSpice используются два курсора, управляемых левой (первый) и правой (второй) кнопками мыши. Для привязки курсора к треку нужно навести указатель мыши на название трека (в нижней части экрана) и нажать на соответствующую этому курсору кнопку. Для установки курсора в нужную точку трека используется либо указатель мыши, либо одна из команд позиционирования (рис. 35). При активизированных курсорах в отдельном окне выводятся координаты курсоров и разность между ними.

Используя специальные функции, Вы можете определить измерения, характеризующие наиболее важные свойства анализируемых

графиков (например, ширина полосы пропускания, период, максимальное или минимальное значение и многие другие) и просмотреть результаты этих измерений.



Рис. 35. Работа с курсорами

Для создания измерения из меню **Trace** выберите пункт **Measurements**. В появившемся окне выберите функцию и нажмите **Eval** (evaluate). Для указания аргумента функции нажмите на кнопку **Name of trace to search** и после выбора нажмите OK. На графике будет отображено значение функции и показано, как оно найдено. На рис. 36 показан результат выполнения функции Period ().



Рис. 36. Измерение периода сигнала

Также Вы можете создать одно или несколько вычисляемых измерений (Evaluate Measurement). Для этого из меню Trace выберите пункт Evaluate Measurement. В открывшемся окне в правой части выберите нужную функцию, а в левой – аргумент и нажмите ОК. Под графиками появится окно с назначенными измерениями и их значениями (рис. 37). В приложении Г приведен список и назначение специальных функций, встроенных в PSpice.



Рис. 37. Создание вычисляемого измерения

PSpice позволяет проводить Фурье-анализ (команда Fourier меню Trace). При этом спектральному анализу подвергается целиком весь график, изображенный на экране. Чтобы этот анализ был более точным, необходимо выбрать временной интервал так, чтобы на графике размещалось целое число периодов.

Параметрический анализ позволяет в графическом виде получить зависимость характеристик схемы от выбранного параметра (это возможно, если при моделировании проводился многовариантный анализ). Для проведения анализа из меню Trace выбираем команду **Performance Analysis**. Нажимаем Wizard, нажимаем Next, выбираем нужную целевую функцию. Нажимаем Next. Задаем параметры функции и нажимаем Finish.

В качестве примера на рис. 38 представлен результат выполнения Performance Analysis – зависимость центральной частоты полосового фильтра от температуры.



Puc. 38. Performance Analysis. Зависимость центральной частоты полосового фильтра от температуры

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ АНАЛИЗА

Вы можете отобразить несколько графиков одновременно, для этого в меню Plot по команде Add Plot to Window добавляется дополнительное окно, где можно размещать графики. По команде Label на график можно нанести произвольные метки. По команде Axis setting открывается окно, в котором задаются параметры осей (шкала линейная/логарифмическая, диапазон) и сеток, по кнопке Axis Variable в этом окне выбирается переменная, которая будет отображена по оси X.

Глава 5

РАСШИРЕННЫЙ АНАЛИЗ (ADVANCED ANALYSIS)

5.1. ТРЕБОВАНИЯ К СХЕМЕ ДЛЯ РАСШИРЕННОГО АНАЛИЗА

Как уже говорилось, введенные в версии 10.0 OrCAD, Advanced Analysis tools поддерживают четыре вида анализа: Sensitivity, Optimizer, Smoke и Monte Carlo.

Для проведения расширенного анализа необходимо при создании принципиальной схемы использовать компоненты, содержащиеся в библиотеках с поддержкой расширенного анализа. Эти библиотеки находятся в каталоге OrCAD_10.0\tools\capture\library\pspice\ advanls*.olb. Базовые параметрические элементы находятся в библиотеке pspice_elem.olb (состав компонентов примерно соответствует стандартной библиотеке analog.olb). Библиотеки расширенного анализа недоступны в PSpice A/D Basics.

Параметры или Свойства (property) отражают физические характеристики компонента и управляют поведением его модели. Свойства задаются числовыми значениями или через переменные. Наиболее часто используемые свойства в библиотечных компонентах задаются через переменные. Для присвоения значений этим переменным в библиотеке Special есть специальный элемент VARIABLES.

Параметры компонентов, необходимые для расширенного анализа, и виды анализа, в котором они используются, приведены в табл. 4.

Таблица 4

Виды расширенного анализа	Параметры компонентов
Sensitivity	Tolerance parameters
Optimizer	Optimizable parameters
Smoke	Smoke parameters
Monte Carlo	Tolerance parameters,
	Distribution parameters

Параметры компонентов, необходимые для расширенного анализа

• Параметры допуска (Tolerance) определяют положительное (POSTOL) или отрицательное (NEGTOL) отклонение значения компонента от номинального. Отклонение задается как процент или как абсолютное значение.

• Распределение (Distribution) определяет тип функции распределения. При моделировании по методу Monte Carlo с использованием функции распределения и генератора случайных чисел определяется значение компонента внутри заданного диапазона.

Оптимизируемым параметром (**Optimizable parameters**) может быть любая характеристика модели, которая может изменяться в процессе моделирования.

• Критические параметры (Smoke parameters) определяют максимально допустимые условия для работы компонента. Критические параметры различны для разных типов компонентов. Список критических параметров можно просмотреть, используя online PSpice library list. Например, для резистора могут быть заданы следующие параметры: рассеиваемая мощность (POWER) и максимальная температура (MAX_TEMP).

До проведения расширенного анализа производится моделирование схемы с помощью PSpice (в табл. 5 приведены виды расширенного анализа и режимы PSpice моделирования, на базе которых они могут быть произведены) и определяются измерения, характеризующие работу схемы (см. гл. 4).

Таблица 5

Виды расширенного анализа	PSpice анализ
Sensitivity	Time Domain (transient)
	DC Sweep
	AC Sweep/Noise
Optimizer	Time Domain (transient)
	DC Sweep
	AC Sweep/Noise
Smoke	Time Domain (transient)
Monte Carlo	Time Domain (transient)
	DC Sweep
	AC Sweep/Noise

Соответствие видов расширенного и обычного анализа

Выбирая измерения, имейте в виду, что расширенный анализ работает с аппроксимацией по точкам (**curve-fit** – метод оптимизации схем и параметров устройств), так чтобы результаты моделирования соответствовали целевой функции, представленной виде таблицы значений *X*, *Y*. Этот метод применяется в случаях, когда функционирование устройства лучше описывается эпюрами или не может быть представлено в терминах функций или значений.

5.2. ПРИМЕР РАСШИРЕННОГО АНАЛИЗА

Основные файлы, использующиеся при расширенном анализе: задание на моделирование *.sim и задание на расширенное моделирование *.aap (Advanced Analysis profiles).

На рис. 39 представлена блок-схема одного из вариантов проведения расширенного анализа [18].

В качестве примера рассмотрим простейшую схему инвертирующего усилителя на базе операционного усилителя (рис. 40). При создании схемы были выбраны параметрические компоненты: резисторы из библиотеки pspice_elem.olb, а операционный усилитель – из ора.olb. Для задания значений параметров компонентов использован специальный элемент VARIABLES (расположен в левой части схемы).

Создаем задание на моделирование и анализ переходных процессов (Time Domain (transient)), проводим моделирование и создаем необходимые измерения. Для нашего примера в качестве измерения возьмем коэффициент усиления, рассчитываемый с помощью специальной функции **ConversionGain** (трек1, трек2). Результаты моделирования с созданными измерениями приведены ранее на рис. 37.

Анализ чувствительности (Sensitivity). Теперь запускаем инструменты расширенного анализа (Capture, меню PSpice, пункт Advanced Analysis). Начинаем с анализа чувствительности (Sensitivity). Результаты работы инструмента приведены на рис. 41. Проанализировать их Вы можете самостоятельно. По результатам видно, что 10 %-ный разброс номиналов резисторов R1 и R2 в наихудшем случае может привести к изменению коэффициента усиления на 20 %. Надеемся, Вы догадались, что если 20 %-ный разброс параметров схемы Вас не устраивает, нужно подобрать резисторы с меньшим допуском.



Рис. 39. Блок-схема варианта использования расширенного анализа

Advanced Analysis Properties



Рис. 40. Схема инвертирующего усилителя на ОУ



Рис. 41. Результаты анализа чувствительности

На первый взгляд анализ чувствительности из расширенного анализа дублирует аналогичный базовый анализ PSpice и анализ наихудшего случая (Worst Case), но это не так. Основное отличие расширенного анализа: он позволяет использовать целевые функции для анализа **формы сигналов** и Вы можете, например, проанализировать влияние изменений компонентов схемы не на выходное напряжение, как в базовом анализе Sensitivity, а на период сигнала, длительность импульса, ширину полосы пропускания и т.д. Кроме того, графическая форма представления результатов значительно облегчает анализ результатов моделирования. Сравните представление результатов базового анализа чувствительности, приведенное в п. 3.7, и расширенного анализа – на рис. 41.

Optimizer. Коэффициент усиления (K_{yc}) нашей схемы ≈ 8 . Представим, что нам нужно обеспечить $K_{yc} = 10$ и предоставим PSpice Optimizer подобрать номиналы резисторов. Запускаем Optimizer (Capture меню Pspice, пункт Advanced Analysis Optimizer). В от-

крывшемся окне импортируем измерения из PSpice «кликнуть» мышкой на поле Click here to import measurement) и параметры, которые хотим подбирать «кликнуть» мышкой на поле Click here to import parameters). Из предыдущего анализа мы помним, что на K_{yc} влияют R1 и R2, поэтому выбираем только их. Задаем границы, в которых можно менять параметры компонентов (в колонках Min и Max таблицы Parameters).

Выбираем метод оптимизации или «движок» (engine). Optimizer использует четыре метода. *Метод наименьших квадратов (Least Square (LSQ))* – обеспечивает быструю сходимость на оптимальном решении. *Модифицированный LSQ (MLSQ)* – используется, если метод LSQ не дает точного решения. *Метод случайных чисел (Random)* устраняет проблему сходимости, связанную с зацикливанием в районе локального минимума. *Дискретный метод (Discrete)* при оптимизации использует только коммерчески доступные номиналы компонентов.

Выбираем метод MLSQ и запускаем анализ. Результаты работы оптимизатора приведены на рис. 42. Получен $K_{yc} = 9.983$ при R1 = 8.026 K и R2 = 805.908 K. Результат анализа для любого запуска можно просмотреть, выбирая на графике ошибок (Error graph) его номер.



Рис. 42. Оптимизация схемы

Smoke. Следующий анализ, который мы проведем – это поиск компонентов в критическом режиме (Smoke). Запускаем Smoke (Capture меню PSpice, пункт Advanced Analysis Smoke). После заверше-

ния анализа появляется окно, приведенное на рис. 43. Состав параметров, которые будут проанализированы, определяется наличием Smoke-параметров у библиотечных компонентов.

jie <u>E</u> dit	<u>View Run Analysis Window Help</u>						
8	👗 🖻 💼 🗍 Smoke	💌 tran.si	m	-		R R 🕮 📗 🦉 🙋	
			Smoke -	tran.sim [No D	erating]		
Com	Parameter	Туре	% Derating	Max Derating	Measured Value	% Max	
U1A	Max input current(-)	Average	100	50m	-40.8976n	0	
U1A	Max input current(-)	Peak	100	50m	15.9022p	1	
U1A	Max input current(+)	Average	100	50m	-49.0919n	0	
U1A	Max input current(+)	Peak	100	50m	14.9999p	1	
U1A	Max output current	Average	100	40m	2.2305m	6	
U1.A	Max output current	Peak	100	40m	29.1770m	73	
U1A	Max differential VIN	Average	100	32	92.6045m	1	
U1A	Max differential VIN	Peak	100	32	899.7746m	3	
U1A	Max inp volt(-)	Average	100	-1.5000	-14.9073	0	
U1A	Max inp volt(-)	Peak	100	-1.5000	-14.1001	0	
U1A	Min inp volt(-)	Average	100	300m	-15.0927	0	
U1A	Min inp volt(-)	Peak	100	300m	-14.4438	0	
U1A	Max inp volt(+)	Average	100	-1.5000	-15.0000	0	
U1A	Max inp volt(+)	Peak	100	-1.5000	-14.9999	0	
U1A	Min inp volt(+)	Average	100	300m	-15.0000	0	
U1A	Min inp volt(+)	Peak	100	300m	-15.0000	0	
U1A	Max supply volt diff	Average	100	32	30		
U1A	Max supply volt diff	Peak	100	32	30	94	
U1A	Min supply volt diff	Average	100	-3	-30	0	
U1A	Min supply volt diff	Peak	100	-3	-30	0	
R1	Maximum power dissipation	Average	100	250m	11.3715m	5	
R1	Maximum power dissipation	Peak	100	250m	20.7943m	9	
R1	Maximum breakdown temperature	Average	100	200	29.2743	15	
R1	Maximum breakdown temperature	Peak	100	200	31.1589	16	
R4	Maximum power dissipation	Average	100	250m	214.5549m	86	
R4	Maximum power dissipation	Peak	100	250m	384.5774m	154	
R4	Maximum breakdown temperature	Average	100	200	69.9110	35	
R4	Maximum breakdown temperature	Peak	100	200	103.9155	52	
R2	Maximum power dissipation	Average	100	250m	1.1372m	1	-
R2	Maximum power dissipation	Peak	100	250m	2.0797m	1	

Рис. 43. Результаты Smoke-анализа

ЛИТЕРАТУРА

1. Sangiovanni-Vincentelli A. The Tides of EDA. IEEE Design & Test of Computers. – V. 20. – N 6. – Nov.–Dec. 2003. – P. 59–75.

2. http://www.cadence.com/company/newsroom/press_releases/pr.aspx?xml=090 903_orcad10.

3. User's Guide includes PSpice A/D, PSpice A/D Basics, and PSpice. – Cadence Design Systems, 2000. – 610 p.

4. PSpice Reference Guide. - Cadence Design Systems, 2000. - 374 p.

5. PSpice® A/D Schematics version User's Guide Release 9.2 online edition. – Cadence Design Systems, 2000. – 589 p.

6. PSpice® User's Guide includes PSpice A/D, PSpice A/D Basics, and PSpice Product. Version 10.0, June 2003. – 766 p.

7. PSpice® Quick Reference Product. Version 10.0, June 2003. – 22 p.

8. PSpice A/D Reference Guide includes PSpice A/D, PSpice A/D Basics, and PSpice Product. Version 10.0 June 2003. – 426 p.

9. PSpice® Advanced Analysis User's Guide Product. Version 10.0, June 2003. – 310 p.

10. Разевиг В.Д. Система проектирования OrCAD 9.2. – М.:«Солон-Р», 2001. – 519 с.

11. Афанасьев А.О., Кузнецова С.А. OrCAD 7.0...9.0. Проектирование электронной аппаратуры и печатных плат. – СПб: «Наука и Техника», 2001. – 464 с.

12. Шалагинов А.В. Цифровое моделирование в САПР OrCAD 9.1. Учебное пособие. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2002. – 104 с.

13. Лукьяненко Е.Б. Математическое моделирование в микроэлектронике. Учеб. пособие. – Таганрог, 2002. Ч. 1. – (http://www.fep.tsure.ru/russian/kes/books/lukyanenko/lek1_mmm.pdf).

14. Шалагинов А.В. Цифровое моделирование в САПР DesignLab 8. Уроки для beginner'a. Учеб. пособие. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2000. – 87 с.

15. *Разевиг В.Д.* Применение программ P-CAD и PSpice для схемотехнического моделирования на ПЭВМ: В 4 вып. – М.: Радио и связь, 1992. – Вып. 3: Моделирование аналоговых устройств. – 120 с.

16. *Разевиг В.Д.* Система сквозного проектирования электронных устройств Design Lab 8.0 – М.: «Солон-Р», 2000.

17. *Хоровиц П., Хилл У.* Искусство схемотехники: В 3 т. – М.: Мир, 1993. – Т. 1. – 413 с.

18. PSpice® Advanced Analysis Optimizer User's Guide Product Version 10.0, June 2003. – 162 c.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

БИБЛИОТЕКИ PSpice

Библиотека analog.olb

Имя	Ссылка	Описание	Шаблон (PSpiceTemplate)
1	2	3	4
С	C?	Конденсатор	C^@REFDES %1 %2?TOLERANCE C^@REFDES @VALUE?IC/IC=@IC/? TOLERANCE \n.model C^@REFDES CAP C=1 DEV=@TOLERANCE%
C_elect	C?	Электролитиче- ский конденсатор	C^@REFDES %+ %-?TOLERANCE C^@REFDES @VALUE?IC/IC= @IC/?TOLERANCE \n.model C^@ REFDES CAP C=1 DEV= @ TOLERANCE%
C_var	C?	Переменный кон- денсатор	C^@REFDES %1 %2 {@VALUE*@SET+.001p}
E	E?	Линейный источ- ник напряжения, управляемый напряжением	E^@REFDES %3 %4 %1 %2 @GAIN
EPOLY	E?	Нелинейный ис- точник напряже- ния, управляемый напряжением	E^@REFDES %3 %4 POLY (1) %1 %2 0.0 @COEFF
F	F?	Линейный источ- ник тока, управ- ляемый током	F^@REFDES %3 %4 VF^@REFDES @GAIN\nVF^@REFDES %1 %2 0V
FPOLY	F?	Нелинейный ис- точник тока, управляемый то- ком	F^@REFDES %3 %4 POLY (1) VF^@REFDES @COEFF\nVF^@ REFDES %1 %2 DC 0V
G	G?	Линейный источ- ник тока, управ- ляемый напряже- нием	G^@REFDES %3 %4 %1 %2 @GAIN
GPOLY	G?	Нелинейный ис- точник тока, управляемый напряжением	G^@REFDES %3 %4 POLY (1) %1 %2 0.0 @COEFF
Н	H?	Линейный источ- ник напряжения, управляемый то- ком	H^@REFDES %3 %4 VH^@REFDES @GAIN\nVH^@REFDES %1 %2 0V
HPOLY	H?	Нелинейный ис- точник напряже- ния, управляемый током	H^@REFDES %3 %4 POLY (1) VH^@REFDES @COEFF\nVH^@ REFDES %1 %2 DC 0V
K_Linear	K?	Взаимная индук- тивность	Kn^@REFDES L^@L1?L2 L^@L2 ?L3 \n+ L^@L3 ?L4 L^@L4 ?L5 \n+ L^@L5 ?L6 L^@L6 @COUPLING

1	2	3	4
L	L?	Индуктивность	L^@REFDES %1 %2?TOLERANCE
			L^@REFDES @VALUE?IC/IC=@IC/
			?TOLERANCE \n.model l^@REFDES
			IND L=1 DEV=@TOLERANCE%
R	R?	Резистор	R^@REFDES %1 %2?TOLERANCE
			R^@REFDES @VALUE?T
			OLERANCE \n.model R^@REFDES
			RES R=1 DEV=@TOLERANCE%
R_var	R?	Переменный ре-	R^@REFDES %1 %2
		зистор	{@VALUE*@SET+.001}
S	S?	Ключ, управляе-	S^@REFDES %3 %4 %1 %2
		мый напряжением	^@REFDES\nRS^@REFDES %1 %2
		_	1G\n.MODEL ^@REFDES VSWITCH
			Roff=@ROFF Ron=@RON
			Voff=@VOFF Von=@VON
Т	T?	Линия передачи	T^@REFDES %A+ %A- %B+ %B-
		-	Z0=@Z0?TD/TD=@TD/?F/F=@F/?NL/
			NL=@NL/
TLOSSY	T?	Линия передачи с	T^@REFDES %A+ %A- %B+ %B-
		потерями	LEN=@LEN R=@R L=@L G=@G
		-	C=@C
W	W?	Ключ, управляе-	W^@REFDES %3 %4 VW^@REFDES
		мый током	^@REFDES\nVW^@REFDES %1 %2
			0V\n.MODEL ^@REFDES ISWITCH
			Roff=@ROFF Ron=@RON
			Ioff=@IOFF Ion=@ION
XFRM L	TX?	Трансформатор	K^@REFDES L1^@REFDES
INEAR		*	L2^@REFDES
			@COUPLING\nL1^@REFDES %1 %2
			@L1_VALUE\nL2^@REFDES %3 %4
			@L2_VALUE

Библиотека special.olb

Имя	Ссылка	Шаблон (PSpiceTemplate)	
1	2	3	
CD4000_PWR	X?	X^@REFDES %AGND %VDD %VSS @MODEL	
		PARAMS: VOLTAGE=@VOLTAGE	
		REFERENCE=@REFERENCE	
DIGIFPWR	X?	X^@REFDES %AGND %PWR %GND @MODEL	
		PARAMS: VOLTAGE=@VOLTAGE	
		REFERENCE=@REFERENCE	
ECL_100K_PWR	X?	X^@REFDES %AGND %VEE %VCC1 %VCC2	
		%VTT @MODEL PARAMS: VEE=@VEE	
		VCC1=@VCC1 VCC2=@VCC2 VTT=@VTT	
ECL_10K_PWR	X?	X^@REFDES %AGND %VEE %VCC1 %VCC2	
		%VTT @MODEL PARAMS: VEE=@VEE	
		VCC1=@VCC1 VCC2=@VCC2 VTT=@VTT	
IC1	IC?	.IC V (%+)=@Value	
IC2	IC?	.IC V (%+,%-)=@Value	
INCLUDE	IN?	.INCLUDE @FILENAME»"	

IDI OT	DI OTO	
IPLOT	PLOT?	V^{0} REFDES %1 %2 0V\n~AC ~DC/~TRAN!?
		PRINT*\n@PRINT* TRAN I (V^@REFDES)
		!/ ?TRAN ?PRINT/n @PRINT/ TRAN I
		(V^@REFDES) ?DC ?PRINT/n@PRINT/DC I
		(V^@REFDES)/?AC/?PRINT\\n@PRINT
		$\Delta C^2 M \Delta G \ln t IM (V^{\circ} REFDES) PH \Delta SE \ln t IP$
		$(V \land @ D \in D \in S \land 2 D \in A \land x_0 + D \land (V \land @ D \in D \in S \land 2 D \in A \land x_0 + D \land (V \land @ D \in D \in S \land 2 D \in A \land x_0 + D \land (V \land @ D \in D \in S \land 2 D \in A \land x_0 + D \land x_0 + x_0 + $
		$(v \cdot (w \text{REFDES}))$ (REAL/ u + IR $(v \cdot (w \text{REFDES}))$)
		IMAG (n+II)(V'(@REFDES))?DB (n+IDB)
		(V^@REFDES) ~MAG ~PHASE*~REAL
		<~IMAG!~DB. IM (V^@REFDES).!<*//
IPRINT	PRINT?	V^@REFDES %1 %2 0V\n~AC ~DC/~TRAN!?
		PRINT*\n@PRINT* TRAN I (V^@REFDES)!/ ?
		TRAN ?PRINT/n@PRINT/ TRAN I (V^@
		REFDES) ?DC ?PRINT/n@PRINT/DCI(V^@
		REFDES) ?AC/?PRINT \n@PRINT AC?MAG \n+
		IM $(V^{\wedge} \otimes REFDES)$ PHASE $h + IP (V^{\wedge} \otimes REFDES)$
		$ 2\text{REAL} _{n+1}$ IR (V/@REFDES)/2IMAG/(n+1)
		$(V \land @ DEEDES) : INVICE UP II(V \land @ DEEDES) : INVICE UP II$
		$(v^{(i)}(W, EFDES))$
		~MAG ~PHASE*~KEAL<~IMAG!~DB. IM (V^
		@REFDES).!<*/
LIB	LIB?	.LIB @FILENAME»"
NODESET1	NS?	.NODESET V ([%+])=@Value
NODESET2	NS?	.NODESET V (%+,%-)=@Value
PARAM	PM?	
PRINT1	PRINT?	.PRINT?ANALYSIS @ANALYSIS ~ANALYSIS T
		RAN V ([%1])
PRINTDGTI CHG	PRINT?	PRINT/DGTI CHG2ANAI YSISI@ANAI YSISI~A
TRIVIDOILEIIO	I KINI .	
VECTOP1	VEC2	VECTOD 1
VECTORI	VEC?	
		%SIG?FILE/FILE=@FILE»/?POS/POS=@POS/?SI
		GNAMES/SIGNAMES=@SIGNAMES/
		#RADIX/RADIX=@RADIX/?BIT/BIT=@BIT/"
VECTOR16	VEC?	.VECTOR 16 %SIG0 %SIG1 %SIG2 %SIG3 %SIG4
		%SIG5 %SIG6 %SIG7 %SIG8 %SIG9 %SIG10
		%SIG11 %SIG12 %SIG13 %SIG14 %SIG15?
		FILE/FILE=@FILE»/?POS/POS=@POS/?SIGNAM
		FS/SIGNAMES = @SIGNAMES / #RADIX/RADIX
		$-@P \land DIY/2DIT/DIT-@DIT/"$
VECTOD	VEC9	$-(\mu RADIA' : DI1/DI1-(\mu DI1))$
VECTOR2	VEC?	.VECTOR 2 %SIGU %SIGT?FILE/FILE=@FILE»/?
		POS/POS=@POS/?SIGNAMES/SIGNAMES=@SI
		GNAMES/ #RADIX/RADIX=@RADIX/? BIT/BIT
		=@BIT/"
VECTOR32	VEC?	.VECTOR 32 %SIG0 %SIG1 %SIG2 %SIG3 %SIG4
		%SIG5 %SIG6 %SIG7 %SIG8 %SIG9 %SIG10 %
		SIG11 %SIG12 %SIG13 %SIG14 %SIG15 %SIG16
		%SIG17 %SIG18 %SIG19 %SIG20 %SIG21 %
		SIG22 %SIG23 %SIG24 %SIG25 %SIG26 %SIG27
	1	_ 51322 /051323 /051327 /051323 /051320 /05132/
i i i i i i i i i i i i i i i i i i i		% SIG28 % SIG20 % SIG20 % SIG212EH E/EH E-
		%SIG28 %SIG29 %SIG30 %SIG31?FILE/FILE=
		%SIG28 %SIG29 %SIG30 %SIG31?FILE/FILE= @FILE»/?POS/POS=@POS/?SIGNAMES/SIGNA
		%SIG28 %SIG29 %SIG30 %SIG31?FILE/FILE= @FILE»/?POS/POS=@POS/?SIGNAMES/SIGNA MES=@SIGNAMES/ #RADIX/RADIX= @RADIX/

1	2	3
VECTOR4	VEC?	.VECTOR 4 %SIG0 %SIG1 %SIG2
		%SIG3?FILE/FILE=@FILE»/?POS/POS=@POS/?S
		IGNAMES/SIGNAMES=@SIGNAMES/
		#RADIX/RADIX=@RADIX/?BIT/BIT=@BIT/"
VECTOR8	VEC?	.VECTOR 8 %SIG0 %SIG1 %SIG2 %SIG3 %SIG4
		%SIG5 %SIG6 %SIG7?FILE/FILE=@FILE»
		/?POS/POS=@POS/?SIGNAMES/SIGNAMES=@S
		IGNAMES/ #RADIX/RADIX=@RADIX/?
		BIT/BIT=@BIT/"
VPLOT1	PLOT?	~AC ~DC/~TRAN!?PRINT*\n@PRINT* TRAN V
		([%1])!/ ?TRAN ?PRINT/n@PRINT/ TRAN V
		([%1]) ?DC ?PRINT/n@PRINT/ DC V ([%1]) ?
		AC/?PRINT \n@PRINT AC?MAG \n+ VM ([%1])
		?PHASE \n+ VP ([%1]) ?REAL \n+ VR ([%1]) ?I
		MAG \n+ VI ([%1]) ?DB \n+ VDB ([%1]) ~MAG
		~PHASE*~REAL<~IMAG!~DB. VM ([%1]).!<*//
VPLOT2	PLOT?	~AC ~DC/~TRAN!?PRINT*\n@PRINT* TRAN V
		([%1],[%2])!/ ?TRAN ?PRINT/\n@PRINT/ TRAN V
		([%1],[%2]) ([%1], ([%1), ([%1], ([%1), ([%1], ([%1), ([%1], ([%1), ([%1], ([%1), (([%1), (([%1), (([%1), (([%1), (([%1), (([%1), ((([%1), ((((((((((((((((((((((((((((((((((((
		$[\%2])$?AC/?PRINT \n@PRINT AC?MAG \n+VM
		$([\%1],[\%2])$?PHASE[\n+ VP ([\%1],[\%2])]?REAL
		n+VR([%1],[%2]) ?IMAG $ n+V1([%1],[%2]) $?
		$DB (n+VDB([\%1],[\%2])) \sim MAG \sim PHASE*\sim REAL$
	DDDJTO	$\frac{\langle -\text{IMAG} -\text{DB}, \text{VM}([\%1], [\%2]) \cdot \langle * \rangle}{\langle -\text{DB}, \text{VM}([\%1], [\%2]) \cdot \langle * \rangle}$
VPRINTI	PRINT?	\sim AC \sim DC \sim IRAN!?PKINI*\n@PRINI* IRAN V
		([%1])!/[?TKAN]?PKINT/m@PKINT/TKAN V
		([%1])(DC)(PRINT/M@PRINT/DC) ([%1])(
		$ AC / PKIINI M(U)PKIINI AC/ MAO M^+ VM([701])$ 2DHASE n+VD([701]) 2DEAI n+VD([701]) 2
		$ (FIASE ^+ \vee F([?01]) (REAE ^+ \vee K([?01]) (I = MAG _{p+})) = MAG _{p+} = VDB([?01]) (I = MAG _{p+})$
		$\frac{ \mathbf{M} \mathbf{A} \mathbf{G} _{\mathbf{M}}}{ \mathbf{M} \mathbf{A} \mathbf{G} _{\mathbf{M}}} = \frac{ \mathbf{M} \mathbf{A} \mathbf{G} _{\mathbf{M}}}{ \mathbf{M} \mathbf{A} \mathbf{G} _{\mathbf{M}}} = \frac{ \mathbf{M} \mathbf{A} \mathbf{G} _{\mathbf{M}}}{ \mathbf{M} \mathbf{M} \mathbf{G} _{\mathbf{M}}} = \frac{ \mathbf{M} \mathbf{A} \mathbf{G} _{\mathbf{M}}}{ \mathbf{M} \mathbf{G} _{\mathbf{M}}} = \frac{ \mathbf{M} \mathbf{A} \mathbf{G} _{\mathbf{M}}}{ \mathbf{M} \mathbf{G} _{\mathbf{M}}} = \frac{ \mathbf{M} \mathbf{A} \mathbf{G} _{\mathbf{M}}}{ \mathbf{M} \mathbf{G} _{\mathbf{M}}} = \frac{ \mathbf{M} \mathbf{A} \mathbf{G} _{\mathbf{M}}}{ \mathbf{M} \mathbf{G} _{\mathbf{M}}} = \frac{ \mathbf{M} \mathbf{A} \mathbf{G} _{\mathbf{M}}}{ \mathbf{M} \mathbf{G} _{\mathbf{M}}} = \frac{ \mathbf{M} \mathbf{A} \mathbf{G} _{\mathbf{M}}}{ \mathbf{M} \mathbf{G} _{\mathbf{M}}} = \frac{ \mathbf{M} \mathbf{A} \mathbf{G} _{\mathbf{M}}}{ \mathbf{M} \mathbf{G} _{\mathbf{M}}} = \frac{ \mathbf{M} \mathbf{A} \mathbf{G} _{\mathbf{M}}}{ \mathbf{M} \mathbf{G} _{\mathbf{M}}} = \frac{ \mathbf{M} \mathbf{A} \mathbf{G} _{\mathbf{M}}}{ \mathbf{M} \mathbf{G} _{\mathbf{M}}} = \frac{ \mathbf{M} \mathbf{A} \mathbf{G} _{\mathbf{M}}}{ \mathbf{M} \mathbf{G} _{\mathbf{M}}} = \frac{ \mathbf{M} \mathbf{A} \mathbf{G} _{\mathbf{M}}}{ \mathbf{M} \mathbf{G} _{\mathbf{M}}} = \frac{ \mathbf{M} \mathbf{A} \mathbf{G} _{\mathbf{M}}}{ \mathbf{M} \mathbf{G} _{\mathbf{M}}} = \frac{ \mathbf{M} \mathbf{A} \mathbf{G} _{\mathbf{M}}}{ \mathbf{M} \mathbf{G} _{\mathbf{M}}} = \frac{ \mathbf{M} \mathbf{A} \mathbf{G} _{\mathbf{M}}}{ \mathbf{M} \mathbf{G} _{\mathbf{M}}} = \frac{ \mathbf{M} \mathbf{A} \mathbf{G} _{\mathbf{M}}}{ \mathbf{M} \mathbf{G} _{\mathbf{M}}} = \frac{ \mathbf{M} \mathbf{A} \mathbf{G} _{\mathbf{M}}}{ \mathbf{M} \mathbf{G} _{\mathbf{M}}} = \frac{ \mathbf{M} \mathbf{A} \mathbf{G} _{\mathbf{M}}}{ \mathbf{M} \mathbf{G} _{\mathbf{M}}} = \frac{ \mathbf{M} \mathbf{A} \mathbf{G} _{\mathbf{M}}}{ \mathbf{M} \mathbf{G} _{\mathbf{M}}} = \frac{ \mathbf{M} \mathbf{A} \mathbf{G} _{\mathbf{M}}}{ \mathbf{M} \mathbf{G} _{\mathbf{M}}} = \frac{ \mathbf{M} \mathbf{M} \mathbf{G} _{\mathbf{M}}}{ \mathbf{M} \mathbf{G} _{\mathbf{M}}} = \frac{ \mathbf{M} \mathbf{M} \mathbf{G} _{\mathbf{M}}}{ \mathbf{M} \mathbf{G} _{\mathbf{M}}} = \frac{ \mathbf{M} \mathbf{M} \mathbf{G} _{\mathbf{M}}}{ \mathbf{M} \mathbf{G} _{\mathbf{M}}} = \frac{ \mathbf{M} \mathbf{M} \mathbf{G} _{\mathbf{M}}}{ \mathbf{M} \mathbf{G} _{\mathbf{M}}} = \frac{ \mathbf{M} \mathbf{M} \mathbf{G} _{\mathbf{M}}}{ \mathbf{M} \mathbf{G} _{\mathbf{M}}} = \frac{ \mathbf{M} \mathbf{M} \mathbf{G} _{\mathbf{M}}}{ \mathbf{M} \mathbf{G} _{\mathbf{M}}} = \frac{ \mathbf{M} \mathbf{M} \mathbf{G} _{\mathbf{M}}}{ \mathbf{M} \mathbf{G} _{\mathbf{M}}} = \frac{ \mathbf{M} \mathbf{M} \mathbf{G} _{\mathbf{M}}}{ \mathbf{M} \mathbf{G} _{\mathbf{M}}} = \frac{ \mathbf{M} \mathbf{M} \mathbf{G} _{\mathbf{M}}}{ \mathbf{M} \mathbf{G} _{\mathbf{M}}} = \frac{ \mathbf{M} \mathbf{M} \mathbf{G} _{\mathbf{M}}}{ \mathbf{M} \mathbf{G} _{\mathbf{M}}} = \frac{ \mathbf{M} \mathbf{M} \mathbf{G} _{\mathbf{M}}}{ \mathbf{M} \mathbf{G} _{\mathbf{M}}} = \frac{ \mathbf{M} \mathbf{M} \mathbf{G} _{\mathbf{M}}}{ \mathbf{M} \mathbf{G} _{\mathbf{M}}} = \frac{ \mathbf{M} \mathbf{M} \mathbf{G} _{\mathbf{M}}}{ \mathbf{M} \mathbf{G} _{\mathbf{M}}} = \frac{ \mathbf{M} \mathbf{M} \mathbf{G} _{\mathbf{M}}}{ \mathbf{M} \mathbf{G} _{\mathbf{M}}} = \frac{ \mathbf{M} \mathbf{M} \mathbf{G} _{\mathbf{M}}}{ \mathbf{M} \mathbf{G} _{\mathbf{M}}} = \frac{ \mathbf{M} \mathbf{M} \mathbf{G} _{\mathbf{M}}}{ \mathbf{M} \mathbf{G} _{\mathbf{M}}} = \frac{ \mathbf{M} \mathbf{M} \mathbf{G} _{\mathbf{M}}}{ \mathbf{M} \mathbf{G} _{\mathbf{M}}} = \frac{ \mathbf{M} \mathbf{M} \mathbf{G} _{\mathbf{M}}}{ \mathbf{M} \mathbf{G} _{\mathbf{M}}} = \frac{ \mathbf{M} \mathbf{M} \mathbf{G} _{\mathbf{M}}} = \frac{ \mathbf{M} \mathbf{M} \mathbf{G} _{\mathbf{M}}}{ \mathbf{M} \mathbf{G} _{$
VPRINT2	PRINT?	111111111111111111111111111111111111
VI KII VI Z	TRUCT.	([%1] [%2])!/(2TR AN)/2PRINT/n@PRINT/TRAN V
		([%1],[%2]) $([%1],[%2])$ $(([%1],[%2])$ $(([%1],[%2]))$ $(([%1],[%2]))$ $((((((((((((((((((((((((((((((((((($
		([%1],[%2]) $([%1],[%2])$ $(([%1],[%2])$ $(([%1],[%2]))$ $(([%1],[%2]))$ $(([%1],[%2]))$ $(([%1],[%2]))$ $((([%1],[%2]))$ $(((((([%1],[%2]))))$ $((((((((((((((((((((((((((((((((($
		VM ([%1],[%2])/PHASE (n+VP ([%1],[%2]))?
		REAL VR ([%1], [%2]) IMAG VI ([%1], [%2]) IMAG VI ([%1], [%2]) VI ((%1), [%2)) VI
		[%2]) ?DB \n+ VDB ([%1],[%2]) ~MAG ~PHASE*
		~REAL<~IMAG!~DB. VM ([%1],[%2]).!<*//
WATCH1	.WATCH?	.WATCH?ANALYSIS
		TRAN V ([%1])?LO(@LO,@HI

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

ДИРЕКТИВЫ И ОПЦИИ МОДЕЛИРОВАНИЯ

Директивы моделирования

Имя	Назначение			
1	2			
Расчет стандартных характеристик				
.AC	Расчет частотных характеристик			
.DC	Расчет режима по постоянному току			
.FOUR	Спектральный анализ			
.NOISE	Расчет уровня внутреннего шума			
.OP	Передача в выходной файл параметров схемы, линеаризован-			
	ной в окрестности рабочей точки			
.SENS	Расчет малосигнальных чувствительностей в режиме по посто-			
	янному току			
.TF	Расчет малосигнальных передаточных функций в режиме по			
	постоянному току			
.TRAN	Расчет переходных процессов			
	Управление выдачей результатов			
.PLOT	Представление результатов расчета в выходном файле в виде			
	графиков, построенных в текстовом режиме			
.PRINT	Представление результатов расчета 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 про-			
	граммы 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	Конец 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	Расчет 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			
.LOADBIAS	Считывание из файла узловых потенциалов схемы			
.NODESET	Задание узловых потенциалов по постоянному току на началь-			
	ной итерации			
.SAVEBIAS	Запись в файл узловых потенциалов схемы			

1	2
	Прочие директивы
.ALIASES	Начало списка соответствий имен выводов графических обо-
	значений компонентов именам цепей схемы, к которым они
	подключены
.ENDALIASES	Конец списка соответствий
.EXTERNAL	Спецификация внешних портов
.OPTIONS	Установка параметров и режимов работы программы
.STIMLIB	Задание имени файла с описанием внешних воздействий
.STIMULUS	Задание внешних воздействий

Обратим внимание, что в меню схемных редакторов задаются не все возможные директивы программы PSpice. Не вошедшие в меню директивы (.LIB,.INC и др.) задаются с помощью атрибутов, присваиваемых на схеме в виде специальных символов из библиотеки Special.olb (приложение A), каждой директиве – отдельный символ.

Имя опции	Наименование	Размерность	Значение по умолча- нию
1	2	3	4
ABSTOL	Допустимая ошибка расчета токов в режиме TRAN	А	10 ⁻¹²
CHGTOL	Допустимая ошибка расчета заря- да в режиме TRAN	Кл	10 ⁻¹⁴
CPTIME*	Максимальное время работы про- цессора, разрешенное для выпол- нения данного задания	с	0**
DEFAD	Диффузионная площадь стока МОП-транзистора (AD)	M ²	0
DEFAS	Диффузионная площадь истока МОП-транзистора (AS)	M ²	0
DEFL	Длина канала МОП-транзистора (L)	М	10-4
DEFW	Ширина канала МОП-транзистора (W)	М	10-4
DIGDRVF	Минимальное выходное сопро- тивление цифровых устройств (для моделей UIO)	Ом	2
DIGDRVZ	Максимальное выходное сопро- тивление цифровых устройств (для моделей UIO)	кОм	20
DIGERRDEFAULT	Максимальное количество кон- тролируемых ошибок цифровых устройств	_	20
DIGERRLIMIT	Максимальное количество сооб- щений об ошибках в цифровых устройствах	_	0**
DIGFREQ	Частота дискретизации при ана- лизе цифровых устройств	Гц	10 10

Опции, имеющие численные значения

1	2	3	4
DIGINITSTATE		6	•
DIGHUIDIIIL	ров: $0 - сброс: 1 - vстановка: 2 - X$	_	2
DIGIOLVL	Уровень интерфейса А/П. П/А по умолча-		
	нию	—	1
DIGMNTYMX***	Селектор выбора задержки шифрового		
	устройства по умолчанию: 1 — минимум:		
	2 – типичное значение; 3 — максимум;		2
	4 – мин/макс		
DIGMNTYSCALE	Масштабный коэффициент для расчета		0.4
	минимальной задержки	_	0,4
DIGTYMXSCALE	Масштабный коэффициент для расчета		
	максимальной задержки	-	1,6
DIGOVRDRV	Отношение выходных сопротивлений		
	цифровых устройств, при которых изменя-		3
	ется состояние общего выходного узла		_
DISTRIBUTION	Закон распределения отклонений парамет-		UNIFO
	ров от номинальных значений	-	RM
GMIN	Иинимальная проводимость ветви цепи		
	(проводимость ветви, меньшая GMIN,	См	10-12
	считается равной нулю)		-
ITL1	Максимальное количество итераний в ре-		
	жиме DC	—	150
ITL2	Максимальное количество итераций при		
	расчете перелаточных функций по посто-		• •
	янному току при переходе к последующей	—	20
	точке		
ITL4	Максимальное количество итераций при		
	переходе к следующему моменту времени	_	10
	в режиме TRAN		
ITL5*	Общее максимальное количество всех		
	итераций в режиме TRAN (установка ITL5	_	0**
	= 0 означает бесконечность)		
LIMPTS*	Максимальное количество точек, выводи-		0**
	мых в таблицу или на график	—	0**
NUMDGT	Количество значащих цифр в таблицах		4
	выходных данных (не более 8)	_	4
PIVREL*	Относительная величина элемента строки		
	матрицы, необходимая для его выделения		10-3
	в качестве ведущего элемента (режим АС)		
PIVTOL*	Абсолютная величина элемента строки		
	матрицы, необходимая для его выделения	_	10-13
	в качестве ведущего элемента (режим АС)		
RELTOL	Допустимая относительная ошибка расче-		10-3
	та напряжений и токов в режиме TRAN	—	10 5
TNOM	Номинальная температура	°C	27
VNTOL	Допустимая ошибка расчета напряжений в	D	10-6
	режиме TRAN	В	10 %

WIDTH Длина строки выходного файла (аналогич-		80
	но директиве.WIDTH)	80

Начинающим пользователям рекомендуется применять установки параметров директивы .OPTIONS по умолчанию и изменять их по мере надобности после приобретения опыта моделирования.

Опции, не имеющие численного значения – их можно назвать флагами, находящимися в положении «включено» (Y – «Yes») или «выключено» (N – «No») – для изменения их состояний производится двойной щелчок на строке с именем опции.

Приведем список флагов (в скобках указаны значения по умолчанию):

АССТ – вывод статистики времени выполнения всех видов анализа характеристик цепи и других данных о задании на моделирование (N);

EXPAND – включение в описание схемы описания макромоделей (N);

LIBRARY – включение в описание схемы описания моделей из библиотечных файлов (N);

LIST – вывод списка всех компонентов цепи (N);

NOBIAS – запрещение вывода в выходной файл значений узловых потенциалов в рабочей точке (N);

NODE – печать списка соединений (N);

NOECHO – запрещение включения в выходной файл части описания схемы, располагаемой после строки с директивой .OPTIONS (N);

NOICTRANSLATE – отмена установки начальных условий расчета переходных процессов, выполненных с помощью директив .IC (имеются в виду начальные напряжения на конденсаторах и токи через индуктивности) (N);

NOMOD – запрещение вывода списка параметров моделей (N);

NOOUTMSG – подавление передачи в выходной файл сообщений об ошибках моделирования (N);

NOPAGE – запрещение перевода страниц в выходном файле (N);

NOPRBMSG – подавление передачи в файл данных для программы Probe сообщений об ошибках моделирования (N);

NOREUSE – запрещение автоматического сохранения и восстановления информации о режиме по постоянному току при вариации температуры, статистическом анализе, расчете наихудшего случая и при вариации параметров (N);

OPTS – вывод значений всех опций (N);

STEPGMIN – включение алгоритма расчета режима по постоянному току вариацией проводимости GMIN в случае отсутствия сходимости метода Ньютона–Рафсона. При наличии этой опции в отсутствие сходимости сначала применяется метод вариации GMIN и затем, в случае неудачи, метод вариации источников питания (в отсутствие этой опции используется только метод вариации источников питания) (N).

Если какой-либо флаг не указан, то по умолчанию устанавливается режим, противоположный описанному выше.

ПРИЛОЖЕНИЕ В

НЕЗАВИСИМЫЕ ИСТОЧНИКИ СИГНАЛОВ

Стандартные сигналы

Независимые источники напряжения (V) и тока (I) стандартного вида описываются предложениями

Vxxx <+yзел> <-yзел> [[DC] <значение>] [AC <модуль> [<фаза>]] + + [STIMULUS=<имя сигнала>] + [спецификация сигнала]

Параметр DC определяет постоянную составляющую источника напряжения или тока. Для режима AC задаются модуль и фаза (в градусах) источника гармонического сигнала. После ключевого слова STIMULUS указывается имя сигнала, созданного с помощью программы Stimulus Editor. При анализе переходных процессов можно использовать один из стандартных сигналов с помощью конструкции *<cneцификация сигнала>*, имеющей вид:

PULSE *< параметры > –* импульсный сигнал;

ЕХР <*параметры*> – сигнал экспоненциальной формы;

PWL <*параметры*> – кусочно-линейный сигнал;

SIN *<параметры>* – синусоидальный сигнал;

SFFM *<параметры>* – гармонический сигнал с синусоидальной частотной модуляцией.

Ниже приводятся описания данных спецификаций для источников тока. Для источников напряжения они аналогичны, только имя источника начинается на V, а в параметрах вместо тока – напряжение.

Импульсная функция

PULSE (<i1> <i2> <tp><per>)

Назначение параметров этой функции приведено в табл. П.В.1, а график – на рисунке П.В.1.

Таблица П.В.1

Параметр	Обозначение	Размерность	Значение по умол-
			чанию
Начальное значение	i1	В или А	-
Максимальное значение	i2	В или А	—
Начало переднего фронта	td	с	0
Длительность переднего	tr	с	TSTEP*
фронта			
Длительность заднего фронта	ti	с	TSTEP
Длительность плоской части	pw	с	TSTOP**
импульса			
Период повторения	perT	с	TSTOP

Параметры импульсного сигнала

* TSTEP – шаг вывода на печать;

** TSTOP – конечное время анализа переходного процесса (параметры TSTEP и TSTOP задаются в директиве .TRAN)

Пример импульсной функции:

ISW 10 5 PULSE (1A 5A 1sec.1sec.4sec.5sec 2sec).



Рис. П.В.1. График импульсной функции

Экспоненциальная функция

EXP (<i1> <i2> <td1> <tc1> <td2> <tc2>)

График этой функции приведен на рис. П.В.2, а назначение ее параметров – в табл. П.В.2.

Пример экспоненциальной функции: IRAMP 10 5 EXP (1 5 1.2 2.5).



Рис. П.В.2. График экспоненциальной функции

Таблица П.В.2

Параметр	Обозначение	Размерность	Значение по умол-
			чанию
Начальное значение	<i>i</i> 1	В или А	—
Максимальное значение	i2	В или А	—
Начало переднего фронта	td1	с	0
Постоянная времени переднего	tc1	с	TSTEP*
фронта			
Начало заднего фронта	td2	с	td + TSTEP
Постоянная времени заднего	tc2	с	TSTEP
фронта			

Параметры экспоненциального сигнала

Кусочно-линейная функция

PWL.[TIME_SCALE_FACTOR=<значение>] [VALUE_SCALE_FACTOR=<значение>]+(точки_отсчета)*

В секции (точки отсчета) помещаются следующие данные:

• (<t n.i n >) – координаты точек;

• FILE <имя файла> – чтение координат точек из файла;

• REPEAT FOR <n> (точки_отсчета)* ENDREPEAT – повторение n раз;

• REPEAT FOREVER (точки_отсчета)* ENDREPEAT – бесконечное повторение.

Примеры кусочно-линейных функций:

v1 1 2 PWL (0,0) (1,0) (1.2,5) (1.4,2) (2,4),(3,1) (рис. П.В. 3),

v2 3 4 PWL REPEAT FOR 5 (1,0) (2,1) (3,0) ENDREPEAT.



Рис. П.В.З. График кусочно-линейной функции

Синусоидальная функция

SIN (<ioff> <iampl> <freq> <df> <phase>)

График этой функции приведен на рис. П.В.4, а назначение ее параметров – в табл. П.В.3.

Пример синусоидальной функции: ISIG 10 5 SIN (2 2 5Hz 1sec 1 30).



Рис. П.В.4. График синусоидальной функции

Таблица П.В.3

Параметр	Обозначение	Размерность	Значение по
			умолчанию
Постоянная составляющая	ioff	В или А	_
Амплитуда	iampl	В или А	—
Частота	freq	Гц	1/TSTOP
Задержка	td	с	0
Коэффициент затухания	df	1/c	0
Фаза	phase	град.	0

Параметры гармонического сигнала

Синусоидальная функция с частотной модуляцией

SFFM (<ioff> <iampl> <fc> <mod> <fm>)

Пример синусоидальной функции с частотной модуляцией: IMOD 10 5 SFFM (2 1 8Hz 4 1Hz).

График этой функции приведен на рис. П.В.5, а назначение ее параметров – в табл. П.В.4.



Рис. П.В.5. График синусоидальной функции с частотной модуляцией

Таблица П.В.4
п										~
1 9 1	ngmetni	т гаі	эмоции	JECVOLO	сигца па	c.	UGCTATUAN	MOIN	V HOILUP	117
114	pamerpb	1 I A I	JMUHH-	1000010	Uni nasia	v.	actornon	мод	илдис	/ K I
								· · · ·	/ /	

Параметр	Обозначение	Размерность	Значение
			по умолчанию
Постоянная составляющая	ioff	В или А	—
Амплитуда	iampl	В или А	—
Несущая частота	fc	Гц	1/TSTOP
Коэффициент модуляции	mod	-	0
Частота модуляции	df	Гц	1/TSTOP

ПРИЛОЖЕНИЕ Г

ОПРЕДЕЛЕНИЯ СПЕЦИАЛЬНЫХ ФУНКЦИЙ, ВКЛЮЧЕННЫХ В PSpice

Функция	Описание		
1	2		
Bandwidth	Ширина полосы пропускания (по произвольному		
	уровню dB)		
Bandwidth_Bandpass_3dB	Ширина полосы пропускания (по уровню 3 dB)		
Band-	Ширина полосы пропускания (по уровню 3 dB) на		
width_Bandpass_3dB_XRange	выбранном участке оси Х		
CenterFrequency	Центральная частота (по произвольному		
	уровню dB)		
CenterFrequency_XRange	Центральная частота (по произвольному уровню		
	dB) на выбранном участке оси Х		
ConversionGain	Отношение максимального значения одной кривой		
	к максимальному значению другой		
ConversionGain_XRange	Отношение максимального значения одной кривой		
	к максимальному значению другой на выбранном		
	участке оси Х		
Cutoff_Highpass_3dB	Верхняя частота полосы пропускания (по уровню		
	3 dB)		
Cutoff_Highpass_3dB_XRange	Верхняя частота полосы пропускания (по уровню		
	3 dB) на выбранном участке оси Х		
Cutoff_Lowpass_3dB	Нижняя частота полосы пропускания (по уровню		
	3 dB)		
Cutoff_Lowpass_3dB_XRange	Нижняя частота полосы пропускания (по уровню		
	3 dB) на выбранном участке оси Х		
DutyCycle	Величина, обратная скважности (отношение		
	длительность импульса/период)		
DutyCycle_XRange	Величина, обратная скважности (отношение дли-		
	тельность импульса /период) на выбранном участ-		
	ке оси Х		

Falltime_NoOvershoot	Время спада (без учета переходных процессов)
Falltime_StepResponse	Время спада (с учетом переходных процессов)
Falltime_StepResponse_XRange	Время спада (с учетом переходных процессов) на
	выбранном участке оси Х
GainMargin	Граница усиления (усиление в dВ на границе 180-
-	градусного сдвига по фазе)
Max	Максимальное значение сигнала
Max XRange	Максимальное значение сигнала на выбранном
	участке оси Х
Min	Минимальное значение сигнала
Min XRange	Минимальное значение сигнала на выбранном
_ 0	участке оси Х
NthPeak	Значение сигнала в его п-м пике
Overshoot	Перехолные процессы при отклике на ступенча-
	тый сигнал (переколебания)
Overshoot XRange	Переходные процессы при отклике на ступенча-
_ 6	тый сигнал на выбранном участке оси Х
Peak	Значение сигнала в его n-м пике
Period	Периол сигнала
Period XRange	Периол сигнала на выбранном участке оси Х
1	2
PhaseMargin	Фазовая граница (запас по фазе)
PowerDissipation mW	Расседние мощности в милливаттах в конце вре-
	исселние мощности в мизливаттах в конце вре мени испытания
Pulsewidth	
Pulsewidth XRange	Длительность импульса
Tuisewidui_ARange	Длительность импульса на выоранном участке оси Х
Q_Bandpass	Добротность Q (центральная частота / ширина
	полосы пропускания)
Q_Bandpass_XRange	Добротность на выбранном участке оси X
Risetime_NoOvershoot	Время нарастания (без учета переходных процес-
	сов)
Risetime_StepResponse	Время нарастания (с учетом переходных процес-
	сов)
Risetime_StepResponse_XRange	Время нарастания (с учетом переходных процес-
	сов) на выбранном участке оси Х
SettlingTime	Время установления сигнала
SettlingTime_XRange	Время установления сигнала на выбранном участ-
	ке оси Х
SlewRate_Fall	Скорость спада выходного напряжения (при пода-
	че ступени)
SlewRate Fall XRange	Скорость спада выходного напряжения (при пода-
	че ступени) на выбранном участке оси Х
SlewRate_Rise	Скорость нарастания выходного напряжения
_	(при подаче ступени)
SlewRate_Rise_XRange	Скорость нарастания выходного напряжения (при
	подаче ступени) на выбранном участке оси Х
Swing_XRange	Разница между максимальным и минимальным
	значением сигнала на выбранном участке оси Х
XatNthY	Значение по оси X, в <i>n</i> -й точке пересечения кривой
	заданного значения по оси У
XatNthY NegativeSlope	Значение по оси X, на <i>n</i> -м спаде кривой, в точке

	пересечения заданного значения по оси У
XatNthY_PercentYRange	Значение по оси Х, в <i>n</i> -й точке пересечения кривой
	значения по оси Y, заданного в процентах от мак-
	симального значения ($Y = Y_{min} + (Y_{max} -$
	$-Y_{\min}$ ·Y_pct/100)
XatNthY_Positive Slope	Значение по оси X, на <i>n</i> -м фронте кривой, в точке
	пересечения заданного значения по оси У
YatFirstX	Значение сигнала в начале оси Х
YatLastX	Значение сигнала в конце оси Х
YatX	Значение сигнала в заданное время
YatX_PercentXRange	Значение сигнала в точке на Х заданной в процен-
	тах
ZeroCross	Координата первого пересечения сигналом оси Х
ZeroCross_XRange	Координата первого пересечения сигналом оси Х
	на выбранном участке оси Х

ПРИЛОЖЕНИЕ Д

АНГЛО-РУССКИЙ СЛОВАРЬ ОСНОВНЫХ ТЕРМИНОВ

В этом приложении приведены наиболее часто используемые в пакете OrCAD термины [10]. Хотя не все они относятся именно к продукту PSpice, тем не менее, представляется удобным иметь под рукой такой словарь.

A

АС Sweep – анализ частотных характеристик

Advanced Analysis – расширенный анализ (только в PSpice 10.0). Четыре инструмента, позволяющие улучшить надежность, стабильность и выходные параметры схемы

Alias – псевдоним (буквально – вымышленное имя, прозвище, кличка) цепи, шины или компонента

Annotation – простановка позиционных обозначений компонентов (reference) и распределение (упаковка) секций компонентов по корпусам

ANSI – American National Standards Institute – американский национальный институт стандартов

Aperture – апертура – диафрагма фотоплоттера, с помощью которой производится засветка фоточувствительного слоя (имеет различные размеры и форму)

Aperture list – текстовый файл, содержащий размеры всех используемых встроенных апертур конкретного фотоплоттера

Arc – рисование дуги

Ascend – переход на одну ступень вверх в иерархической структуре

ASCII – American Standard Code for Information Interchange – наиболее распространенный 8-битный способ кодирования текстовой информации

Attribute – характеристика объекта

Attach – присоединение

B

Back Annotation – обратная корректировка проекта (корректировка принципиальной схемы по изменениям, внесенным на печатной плате)

BGA – Ball Grid Array – корпуса компонентов со сферическими выводами, которые прижимаются к контактным площадкам на печатной плате без применения пайки

Bias Point – расчет режима цепи по постоянному току в «рабочей точке». В меню PSpice по этой команде устанавливается отображение на схеме токов и напряжений в режиме по постоянному току

Bill of Materials (BOM) – перечень компонентов (форматированный список)

Blind Via – несквозное переходное отверстие, которое достигает только одного внешнего слоя ПП

Bidirectional pin – двунаправленный вывод

Bookmark – маркер на схеме или в тексте (служит для быстрого поиска и быстрого перехода в указанные точки)

Bottom – нижняя сторона ПП

Bus – шина

Bus Entry – ввод в шину

С

CAM – Computer-Aided Manufacturing – программное обеспечение выполнения технологических операций на этапе изготовления объектов проектирования

Capture – редактор проектов в системе OrCAD

Center Frequency – основная частота при спектральном анализе

Cluster – группа взаимосвязанных компонентов

Component – компонент – ИС, транзистор, конденсатор и т.п., физически устанавливаемые на печатную плату

Component side – сторона печатной платы, на которой размещаются компоненты

Copper pour – область металлизации на печатной плате; может иметь имя, совпадающее с именем присоединенной цепи

CIS – Component Information System – система ведения баз данных

Conflict – конфликт автотрассировки печатной платы, заключающийся в пересечении проводников на одном слое или нарушении допустимых зазоров (термин SPECCTRA)

Create Netlist - создание описания схемы в формате Layout или PSpice

Cross probing – «горячая» перекрестная связь (между графическим редактором принципиальных схем и экраном отображения результатов моделирования или графическим редактором печатной платы)

Cross reference file – список компонентов проекта с указанием координат их расположения на страницах схемы и имен библиотек, в которых они находятся

Crystal Report – программа составления отчетов о проекте фирмы Seagate Technology

D

Database – база данных проекта

Database Part – база данных компонентов

DC Sweep – расчет режима по постоянному току при вариации одного или двух параметров схемы

De Morgan equivalent – символ изображения логической функции в противоположной логике (с использованием теоремы Де Моргана)

Descend – переход на одну ступень вниз в иерархической структуре

Design – принципиальная схема проекта

Discrete component – компонент, не более трех выводов, например, транзистор, диод и т.п.

Display – позволяет изменять режим отображения свойств (Do Not Display – не отображать, Value only – только значение свойства, Name and Value – название свойства и его значение, Name Value only – только название свойства)

Distribution – распределение, определяет тип функции распределения – равномерное (Uniform) или гауссово (Gaussian) при заданном значении допуска (Tolerance)

DRC – **Design Rules Check** – проверка соблюдения правил проектирования (принципиальных схем и печатных плат)

DRC marker – метка, отмечающая ошибку на принципиальной схеме или печатной плате

Drill chart – таблица, содержащая сведения об общем количестве, координатах и размерах отверстий в печатной плате

DXF – формат чертежей, принятый в программе AutoCAD

E

ECO – Engineering Change Order — автоматическое внесение изменений в принципиальную схему или печатную плату для их синхронизации

EDA – Electronic Design Automation — автоматизация проектирования электронных устройств

EDIF – Electronic Data Interchange Format — стандарт формата баз данных электрических схем и списков их соединений для обмена между разными программами EDA

Ellipse – рисование эллипса и окружности

ERC – Electrical Rules Check — проверка правильности принципиальной электрической схемы проекта

Evaluate Measurement – вычисляемые измерения (Probe)

F

Fanout – процесс (веерообразного) создания переходных отверстий рядом с выводами «земли» и питания планарных компонентов (SMD – Surface Mount Devices)

Fence – прямоугольная область на печатной плате, в которой задаются правила автотрассировки проводников: soft – трассируются все соединения, находящиеся внутри области, hard – трассируются только цепи, все выводы которых находятся внутри области; если хоть один из выводов цепи находится вне нее, то не трассируется вся цепь (термин SPECCTRA)

Fill – заливка, закраска

Flat design – плоский проект (не иерархический)

Flash – изображение зоны засветки фотоплоттера

Footprint – проекция корпуса компонента на печатной плате, или «отпечаток» корпуса

Forward Annotation – прямая корректировка проекта (корректировка печатной платы по изменениям, внесенным на принципиальной схеме)

Fourier – спектральный анализ

Fromto – участок цепи, соединяющий отдельные выводы (термин SPECCTRA)

G

Gate – секция компонента, вентиль

Gerber – формат управляющих файлов для фотоплоттеров типа Gerber, требующий отдельный файл списка апертур (RS274-D) или имеющий встроенное описание апертур (RS274-X)

Global layer – слой печатной платы проекта, на котором располагается информация об электрических соединениях (термин OrCAD Layout)

Global Parameter – глобальный параметр

Grid – сетка рабочего поля графического редактора

Grid reference – рамка чертежа, разбитая на зоны

Ground -«земля»

Н

Hatching – штриховка полигонов

Heterogeneous package – неоднородный компонент (состоит из секций, вентилей разных типов)

Heuristics – эвристический – метод трассировки, который заключается в повторяющихся попытках проложить неразведенные соединения; применяется в основном для трассировки элементов памяти

Hierarchical Block – иерархический блок

Hierarchical Design – схема, имеющая иерархическую структуру

Hierarchical Pin – вывод иерархического блока

Hierarchical Port – внешний порт иерархического блока

Highlight – высвечивание объектов

Homogeneous package – однородный компонент (состоит из секций, вентилей одного типа)

HPGL – Hewlett-Packard Graphics Language – формат графических файлов, используемый при выводе на плоттеры HP

I

IBIS (I/O Buffer Information Specification) – стандарт описания входных/выходных комплексных сопротивлений компонентов, используемый при моделировании паразитных эффектов печатной платы

ICA – Internet Component Assistant – служба поиска компонентов в среде Интернет

IEEE symbol – изображение символа функционального блока в стандарте Института инженеров по электротехнике и электронике (Institute of Electrical and Electronics Engineers, IEEE)

Incremental reference update – инкрементальная аннотация (расставляются только незаданные ссылки)

Inherent property – обязательный параметр объекта определенного типа (не может быть удален, имеет атрибут R – только для чтения)

Instance – конкретный экземпляр из набора объектов определенного класса

Interactive routing – трассировка, при которой индивидуальные соединения проводятся вручную при постоянном контроле за соблюдением правил проектирования DRC

Isolation – зазор между контактными площадками, переходными отверстиями, трассами проводников или областями металлизации и другими цепями сигналов

J

Jumper – перемычка Junction – электрическое соединение, переход

К

Keepin – область, содержащая все компоненты определенной группы, например, компоненты определенной высоты

Keepout – область, не содержащая компоненты определенной группы

L

Layout – схема размещения, компоновка (в системе OrCAD чертеж печатной платы)

Line – рисование линии

Logical mode – рассмотрение конкретных экземпляров из наборов объектов (синоним instance)

Μ

Масто – макрокоманда

Make Root – выбор корневой схемы

Manhattan length – расстояние «по Манхэттену», равное сумме длин катетов между начальной и конечной точками (иногда называется расстоянием «на такси»)

Manufacturing – оптимизация результатов трассировки проводников для улучшения внешнего вида печатной платы и технологичности ее изготовления

Markers – расстановка маркеров, в PSpice – напряжения, тока и еще приблизительно 10 различных типов маркеров

Maximum step size – максимальный шаг вычислений в режиме Time Domain (Transient)

MCAD – Mechanical Computer Aided Design – программное обеспечение проектирования механических устройств

Mirror – зеркальное отображение

Miter – сглаживание – замена изгиба проводника под прямым углом на два изгиба под углом 45° или дугу

Model Editor – программа расчета параметров математических моделей по паспортным данным в формате программы PSpice

Monte Carlo – статистические испытания по методу Монте-Карло. Позволяют оценить влияние разброса параметров компонентов на работу устройства

Ν

Net Alias – псевдоним (дополнительное имя) электрической цепи или шины, размещение на схеме имен цепей

Netlist – список соединений

Nickname – аббревиатура имени слоя печатной платы (три символа)

No Connect – подключение к выводу символа отсутствия соединения

Noise Analysis – спектральная плотность внутреннего шума; опция при проведении анализа AC Sweep

Nonprimitive part – символ компонента, имеющего иерархическую структуру

Number of Harmonics – число гармоник, на которые будет выполнено разложение сигнала при спектральном анализе

0

Obstacle – объект на печатной плате, представляющий препятствие для трассировки проводников; некоторая преграда, препятствие

Occurrence – экземпляр объекта определенного класса

Off Page Connector – межстраничный соединитель

Optimizable parameters – (Advanced Analysis) оптимизируемый параметр (любая характеристика модели, которая может изменяться в процессе моделирования)

Optimization – оптимизация

Optimizer – (инструмент Advanced Analysis) позволяет подобрать параметры ключевых компонентов, чтобы схема удовлетворяла заданным требованиям

Р

Package – информация об упаковке компонента (количество секций компонента, количество выводов одной секции, наличие логически эквивалентных выводов и т.п.)

Pad – вывод компонента, располагаемого на печатной плате

Padstack – стек (стопка, набор) контактных площадок выводов компонентов и переходных отверстий

Parameterized Part – открытие диалогового окна для определения параметров макрофункций

Parametric – многовариантный анализ при вариации параметров. Эта опция может быть установлена при проведении анализа переходных процессов и частотных характеристик

Part – графическое изображение компонента на схеме (может состоять из одной или нескольких секций, см. Symbol)

Part reference – позиционное обозначение секции компонента, например DD1-1 или DA1A

PCB – Printed Circuit Board — печатная плата

PDIF – P-CAD Database Interchange Format – стандарт текстового формата баз данных системы P-CAD

Physical mode – режим рассмотрения объектов определенного класса (синоним occurrence)

Picture – ввод рисунка из растрового графического файла

Pivot – изменение режима отображения таблицы свойств – переворот таблицы (только для 10-й версии)

Place – меню «Поместить» (основные элементы схемы выбираются из этого меню)

Placement – размещение компонентов на внешних сторонах печатной платы

Plane layer – слой металлизации

Polygon – полигон, многоугольник

Polyline – ломаная линия

Power – символ источника питания

Primary Sweep – задание пределов и характера изменения первого параметра в режиме DC Sweep

Primitive part – символ компонента, не имеющего иерархической структуры

Probe – программа (режим) графического отображения результатов моделирования PSpice

Profile – профайл – файл задания на моделирование для программы PSpice

Project – проект

Property – свойство объекта (редактор свойств объекта, открывается двойным щелчком курсора)

PSpice – пункт меню в Capture, где собраны команды, связанные с моделированием схемы в OrCAD Capture

PSpice Schematics – редактор принципиальных схем, заимствованный из системы DesignLab

Q

Query – отображение характеристик выбранного объекта с возможностью их редактирования

Queue – очередь

R

Ratsnest line – электрическая связь между выводами компонентов на печатной плате, отображаемая прямой линией

Rectangle – прямоугольник

Redo – откат вперед – возвращение к последней отмененной команде

Reference – позиционное обозначение компонента, обозначающее его тип и порядковый номер, например Rl, DD1 (см. Part Reference)

Report – отчет

Routing – трассировка, разводка – размещение на печатной плате трасс проводников между выводами компонентов согласно принципиальной электрической схеме

Run – запуск моделирования (меню PSpice)

S

Schematic page editor – редактор страниц принципиальной схемы в программе

SDT (OrCAD Capture SDT) – Schematic Design Tools – графический редактор принципиальных схем в системе OrCAD для DOS

Secondary Sweep – задание пределов и характера изменения второго параметра в режиме DC Sweep

Sensitivity – чувствительность характеристик цепи к вариации параметров компонентов в режиме по постоянному току

Sensitivity (инструмент Advanced Analysis) – позволяет выявить компоненты, разброс параметров которых оказывает наибольшее влияние на работу устройства

Session Log – список сообщений текущей сессии OrCAD Capture Simulation – моделирование

Simulation Profile – профиль (задание) на моделирование

SMD – Surface mount device – компонент с планарными выводами, монтируемый на поверхности печатной платы

Smoke (инструмент Advanced Analysis) – выявляет возможные критические режимы работы компонентов (рассеиваемая мощность, температура, напряжение, ток)

Smoke parameters (Advanced Analysis) – критические параметры, определяющие максимально допустимые условия для работы компонента

SMT – Surface mount technology – технология изготовления печатных плат, при которой компоненты с планарными выводами монтируются на ее поверхности, без использования переходных отверстий

Snap-to-grid – привязка к узлам сетки

SmartRoute – программа автотрассировки проводников системы OrCAD

Solder – припой

Solder mask – маска, область для пайки вокруг вывода компонента на печатной плате

Solder past – шаблон для нанесения пасты при изготовлении печатной платы

Solder side – сторона печатной платы, противоположная стороне размещения компонентов, сторона пайки

SPECCTRA – программа трассировки проводников и размещения компонентов фирмы Cadence Design Systems

Spreadsheet – электронная таблица

Strategy file – файл, содержащий параметры размещения компонентов или трассировки проводников для конкретной печатной платы

Swapping gates or pins – перестановка логически эквивалентных секций, вентилей и выводов компонентов

Symbol – графическое изображение символа одной секции компонента на электрической схеме принципиальной

Т

Temperature – многовариантный анализ при вариации температуры Template – шаблон

Technology template – шаблон задания параметров вновь создаваемой печатной платы (по умолчанию к ним относятся: структура слоев, стратегия размещения компонентов, стратегия трассировки проводников, определения сеток, параметры стеков переходных отверстий и КП)

Test point – контрольные точки – специальные точки доступа к электрическим цепям для проведения тестирования печатной платы

Time Domain (Transient) – представление во времени, анализ переходных процессов при воздействии сигналов различной формы

Title block – основная надпись (угловой штамп) чертежа

Thermal relief – подсоединение вывода компонента к теплоотводу – области металлизации большого размера

Through-hole – сквозное отверстие в печатной плате

Tolerance – параметры допуска. Определяют положительное (POSTOL) или отрицательное (NEGTOL) отклонение значения компонента от номинального

Toolbar – строка инструментов на экране программы

Тор – верхняя сторона печатной платы

Trace – проводник печатной платы (в Layout)

Trace – трек, след, эпюра напряжения или тока (в Pspice)

Transfer Function – малосигнальные передаточные функции в режиме по постоянному току

U

Unconditional reference update – безусловная аннотация (заново расставляются все ссылки)

Undo – откат назад – отмена последней команды

URL – Uniform Resource Locator – унифицированный указатель местонахождения документа в Интернете

User-defined property – параметр объекта, определяемый пользователем (в отличие от параметра типа Inherent properties, может быть удален, не имеет атрибута R)

V

Venting – закраска фотошаблона печатной платы вокруг рабочей области для оттока припоя

Vertex – точка начала, конца или излома печатного проводника

View Netlist – просмотр описания схемы (меню PSpice)

View Output File – просмотр выходного файла моделирования (меню PSpice)

View Simulation Results – просмотр результатов анализа (меню PSpice)

Via – переходное отверстие на печатной плате

Via stringer – короткий проводник между контактной площадкой вывода планарного компонента и специально созданным переходным отверстием (см. Fanout)

W

Wire – проводник на схеме

Worst Case – расчет чувствительности и выявление наихудшего случая

Z

Zone – область на печатной плате, предназначенная для металлизации или представляющая собой запрет металлизации

Zooming – изменение масштаба изображения

Владимир Карпович Макуха, Дмитрий Евгеньевич Грошев

ПРИМЕНЕНИЕ ПАКЕТА OrCAD Для компьютерного проектирования Электронных схем

Часть II

Учебное пособие

Технический редактор Г.Е. Телятникова Корректор Н.С. Чичиндаева Компьютерная верстка Н.В. Белова

Подписано в печать 27.08.2004. Формат 60 × 84 1/8. Бумага офсетная. Тираж 100 экз. Уч.-изд. л. 10,0. Печ. л. 10,5. Изд. № 18. Заказ № . Цена договорная.

Отпечатано в типографии Новосибирского государственного технического университета 630092, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20