

Программа схемотехнического моделирования SwitcherCAD III

Михаил ПУШКАРЕВ
pmm@midaus.com

В статье описаны возможности бесплатной программы схемотехнического моделирования SwitcherCAD III и приемы работы в ней.

Введение

Специалистам известны коммерческие программы автоматизированного проектирования в электронике, включающие в себя и возможности моделирования, такие как OrCAD, Proteus, Micro-Cap, Multisim (Electronics Workbench). Их возможности, приемы работы в них описаны в литературе, в том числе и русскоязычной. К сожалению, легальные версии этих программ недоступны для многих предприятий, не говоря уже об отдельных пользователях. Фирма Linear Technology свободно распространяет программу моделирования LTSpice/SwitcherCAD III, имеющую более скромные, но вполне достаточные для большинства известных видов анализа возможности.

Программа включает в себя самую полную и регулярно обновляемую библиотеку компонентов фирмы Linear Technology, имеющих Spice-модели, в том числе импульсных регуляторов и контроллеров, и незаменима для разработчиков, предпочитающих продукцию Linear Technology. Кстати сказать, модели импульсных регуляторов и контроллеров практически отсутствуют в других программах.

К счастью, для пользователей программы ее возможности не исчерпываются моделированием схем с применением только изделий фирмы-разработчика, и ее с успехом применяют те, кто специализируется на аналоговой схемотехнике.

SwitcherCAD III — это третье поколение программы моделирования импульсных регуляторов компании Linear Technology. Программа состоит из эффективного Spice-симулятора смешанного моделирования, включающего Spice-устройства с новыми свойствами для макромоделирования импульсных источников питания (ИИП) на основе контроллеров и регуляторов. Программа рисования иерархических схем позволяет пользователю редактировать встроенные примеры схем или создавать новые схемы. В окне графиков отображаются результаты моделирования с возможностью дальнейшего анализа полученных данных. Имеется встроенная база интегральных схем Linear Technology и многих пассивных компонентов. В одной програм-

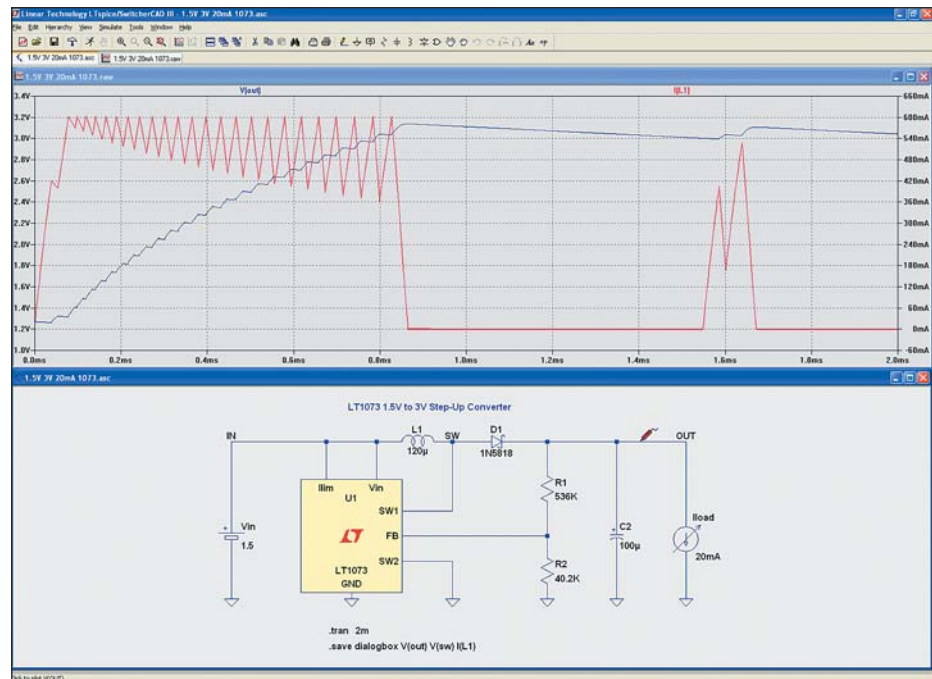


Рис. 1. Экран программы

ме объединены база компонентов, редактирование схем, управление моделированием и анализ графиков.

На рис. 1 показан экран программы.

Установка программы

SwitcherCAD III и руководство пользователя [1] можно загрузить с сайта Linear Technology. Прямая ссылка на файл установки — <http://ltspice.linear.com/software/swcadiii.exe>. Файл **swcadiii.exe** — это самораспаковывающийся архив для установки SwitcherCAD III.

Программа часто обновляется. После первоначальной установки SwitcherCAD III можно использовать команду **Tools>Sync Release** встроенного меню, которая изменит программу до текущей версии, если есть доступ в Интернет. Процесс обновления сначала загрузит мастер-файл с сайта LTC, содержащий размер и контрольную сумму каждого файла. Если какой-то файл отсутствует или отличается по размеру либо контрольной сумме, содержащейся в мастер-файле, он будет

автоматически обновлен. Компоненты базы данных в процессе модернизации будут добавлены так, как будто вы добавили собственные устройства, то есть дополнения не будут потеряны, как будто утилита автоматического обновления и не использовалась.

Файл **changelog.txt** в каталоге с установленной программой содержит информацию о всех модернизациях программы.

Режимы работы

Краткий обзор

Для SwitcherCAD III возможны два основных режима использования симулятора:

1. Использование программы как универсальной программы рисования схем с интегрированным симулятором. Команда меню **File>New** и **File>Open** (файлы типа **asc**).
2. Загрузка в симулятор списка соединений (**netlist**), созданного вручную, или списка соединений, сгенерированного различными инструментами создания схем. Команда меню **File>Open** (файлы типа **cir**).

LTSpice/SwitcherCAD III предназначен для использования в качестве универсальной программы рисования схем с интегрированным Spice-симулятором. Вы рисуете свою оригинальную схему (или открываете имеющуюся схему из примеров) и наблюдаете ее работу в симуляторе. В процессе разработки вносите изменения, пока при моделировании не будет достигнуто желаемое поведение схемы. Более ранние версии LTSpice/SwitcherCAD III включали в себя синтезатор, пытавшийся создавать совершенный проект ИИП по спецификации пользователя, но теперь такой режим работы исключен.

В результате схема преобразуется в текстовый список соединений, который запускается в симулятор. Если обычно список соединений извлекается из графической схемы, выполненной в LTSpice/SwitcherCAD III, импортированный список соединений может быть использован непосредственно, без схемы. Несколько примеров такого использования:

- Программа синтеза фильтров от Linear Technology's FilterCAD может синтезировать список соединений для LTSpice, чтобы моделировать фильтр в частотной или временной области.
- Осуществляется более простое эталонное тестирование LTSpice в сравнении с другими Spice-программами.
- Профессионалы уже знакомы со Spice-симуляторами, работающими непосредственно с текстовым списком соединений, поскольку в старых системах рисование схемы не было объединено со Spice-симулятором.

Примеры схем

Есть несколько ресурсов с примерами схем для LTSpice/SwitcherCAD III, поставляемых с программой. Как правило, они установлены в каталоге C:\Program Files\LTC\SwCADIII\examples\Educational, содержащем множество примеров Spice-моделирования для некоммерческого использования, они демонстрируют различные виды анализа, методы и возможности программы. В каталоге C:\Program Files\LTC\SwCADIII\examples\jigs есть пример моделирования для каждого устройства Linear Technology, имеющего макромодель в LTSpice/SwitcherCAD III.

По адресу http://www.kit-e.ru/assets/My_Examples.zip размещена папка со схемами устройств, на примере которых демонстрируются некоторые возможности программы, и библиотеками входящих в них компонентов.

Внешне сгенерированные списки соединений

Используя программу, можно открыть списки соединений, созданные вручную или другими программами рисования схем. Эти файлы обычно имеют в названии известные расширения .cir, .but, .net или .sp. Ранее перечислены примеры использования импортированных (внешне сгенерированных) списков соединений. ASCII-редактор, ис-

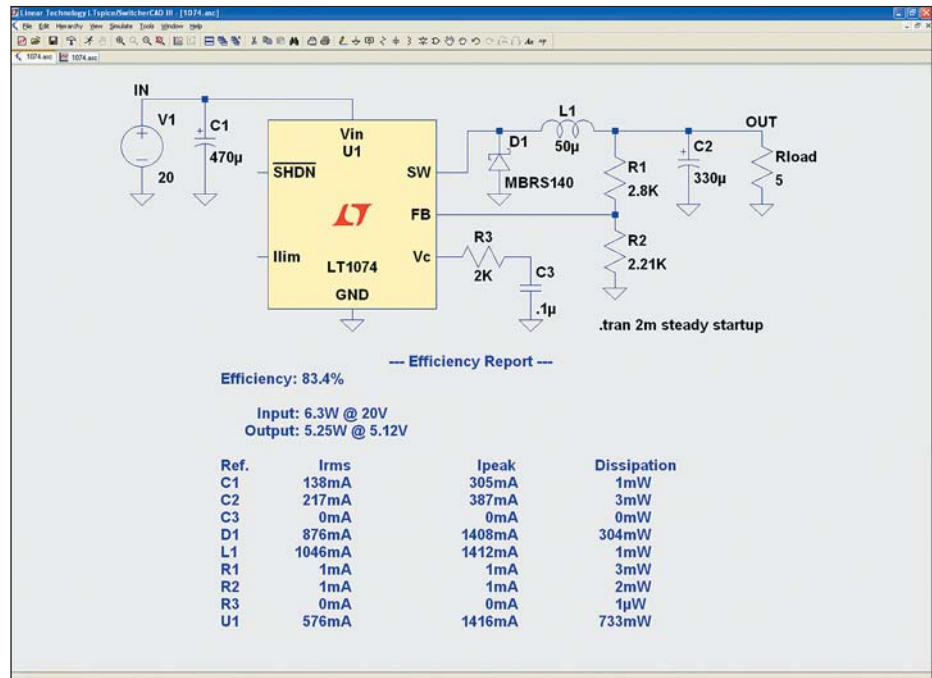


Рис. 2. Окно схемы с отчетом о потерях

пользуемый для файлов списка соединений, поддерживает неограниченный размер файла и неограниченное количество команд Undo/Redo. Для изменения цветов, используемых в ASCII-редакторе, применяется команда меню Tool>Color Preferences.

Отчет о потерях

По результатам TRAN-анализа (анализа переходного процесса) с модификатором steady можно получить отчет о потерях в преобразователе. По окончании моделирования отчет о потерях может быть отображен на схеме в виде блока текста комментария, как показано на рис. 2.

Эффективность преобразователя определяется следующим образом. Чтобы идентифицировать вход и выход, требуется хотя бы по одному источнику напряжения и источнику тока. По умолчанию источник напряжения является входным источником питания, а источник тока — выходной нагрузкой. Для использования в качестве нагрузки программа

имеет два специфических компонента — источника тока, точнее, потребителя тока; load и load2. Можно использовать в качестве нагрузки резистор, обозначив его Rload. Схему запускают до тех пор, пока при моделировании не будет обнаружен установившийся режим работы. Для этого необходимо, чтобы макромодели ИИП содержали информацию о том, как обнаруживать установившийся режим. Макромодели импульсных регуляторов LTC имеют такую информацию. Обычно установившийся режим можно обнаружить, когда отмечено, что ток усилителя ошибки, усредненный по циклу переключения, уменьшается до малой величины в нескольких циклах. Тогда энергия в каждой реактивности на фронте импульса вычисляется и запоминается, а моделирование продолжают еще до десяти тактов, интегрируя потери в каждом устройстве. На фронте последнего импульса энергия, сохраненная в каждой реактивности, снова запоминается и моделирование останавливается. Информация о потерях представля-

Таблица 1. Ключи командной строки

Флаг	Описание
-ascii	Использование ASCII .raw файлов. Seriously ухудшается работа программы
-b	Управление пакетным режимом. Например "scad3.exe - b deck.cir" сохранит данные в файле deck.raw
-big	Старт в максимальном окне
-encrypt	Шифрование библиотеки моделей. При желании можно сделать так, чтобы пользователи третьей стороны не видели деталей библиотеки. Не используется в моделях Linear Technology Corporation
-FastAccess	Преобразование бинарного .raw файла в формат Fast Access
-max	Синоним для -big
-netlist	Преобразование схемы в список соединений
-nowine	Предотвращение использования работы WINE (Linux)
-PCBnetlist	Преобразование схемы в формат PCBnetlist
-registry	Сохранение пользовательских установок, MRU и т. д. в регистре вместо файла %WINDIR%\scad3.ini
-Run	Старт моделирования схемы из командной строки без нажатия кнопки Run
-SOI	Позволяет иметь в макромодели МОП-транзистора до 7 узлов
-uninstall	Выполнение процесса деинсталляции
-web update	Эквивалент команды меню Tools>Sync Release
-wine	Ускорение работы WINE (Linux)

ется как отношение выходной мощности в нагрузке к мощности входного источника напряжения после коррекции по изменению в энергии, сохраненной в реактивностях. Так как потери в каждом устройстве также известны, можно определить, насколько контрольная сумма энергии близка к нулю.

Можно рассчитать эффективность спроектированной схемы ИИП, используя команду **Stop simulating if steady state is detected** («Остановка моделирования по обнаружению установившегося режима») в диалоговом окне **Edit Simulation Command**. После моделирования используется команда меню **View>Efficiency Report** для вывода сообщения о потерях.

Автоматическое обнаружение установившегося режима работает не всегда. Иногда критерии для обнаружения установившегося режима слишком строги, а порой и слишком расплывчаты. Тогда следует подобрать параметр выбора *sstol* или просто в интерактивном режиме установить пределы для расчета потерь.

Ключи командной строки

В таблице 1 перечислены ключи командной строки, понятные и исполняемые LTSpice (*scad3.exe*).

Рисование схемы

Основы редактирования схемы

Чтобы создать новые схемы или изменить предоставленные примеры схем, используется программа рисования. Размер схемы и глубина иерархии ограничены только ресурсами компьютера. Создание новой схемы начинается с команды меню **File->New Schematic**, а ранее созданная схема или встроенный пример открываются командой **File->Open**. На рис. 3 показан открытый файл проекта с меню редактирования **Edit**.

Программа включает в себя около 800 компонентов. Это большинство интегральных схем для источников питания, операционных усилителей, компараторов компании LTC и много устройств общего назначения. Можно создать и собственные символы компонентов для устройств, которые вам нужно импортировать в программу.

В отличие от многих программ рисования схем, эта была написана специально для управления Spice-моделированием. При нажатии на объект по умолчанию отображается график напряжения в цепи или тока через компонент без выбора объекта для редактирования или какого-либо редактирования поведения, отменяющего только что выполненное моделирование. Для перемещения, зеркального отражения, вращения, рисования или удаления объектов сначала следует выбрать соответствующую команду. После этого можно выбрать объект нажатием на него. Можно выбрать несколько объектов, обведя их рамкой. Программа останется в режиме перемещения, рисования или удаления, по-

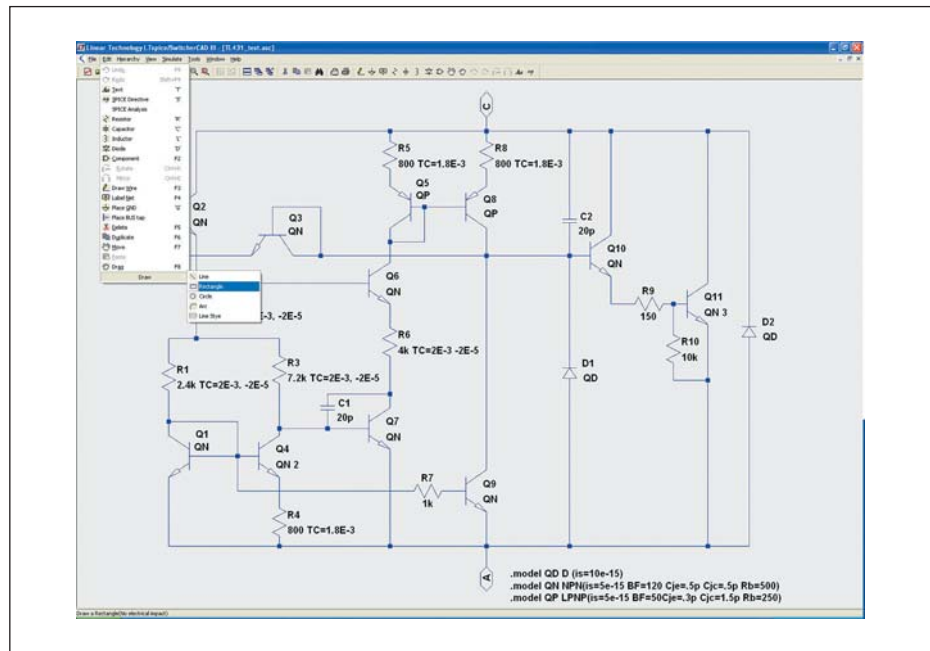


Рис. 3. Окно схемы и меню Edit

Таблица 2. Команды меню Edit (редактирование)

Команда (горячие клавиши)	Выполняемая функция
Undo (F9)	Восстановить удаленный объект (откат назад)
Redo (Shift+F9)	Отменить удаление объекта (откат вперед)
Text (T)	Размещение текста на схеме. Это просто информация о схеме. Этот текст не имеет электрического воздействия на схему
SPICE Directive (S)	Размещение текста на схеме, который будет включен в список соединений. Это позволяет объединить схему со списком соединений Spice. Таким путем устанавливаются режимы моделирования, подключаются файлы, содержащие модели, определяются новые модели или используются любые другие существующие Spice-команды. Можно даже запускать макромоделю, не имеющую символа управления макромоделю, не имея ее компонента для установки, к примеру, строкой модели (Spice-команда начинается с "X") в схеме, включая определение
SPICE Analysis	Ввод и редактирование команд моделирования
Resistor (R)	Размещение резистора
Capacitor (C)	Размещение конденсатора
Inductor (L)	Размещение индуктивности
Diode (D)	Размещение диода
Component (F2)	Размещение компонента на схеме. Команда открывает диалоговое окно с базой данных компонентов. Это более общая форма по сравнению с командами Resistor , Capacitor , Inductor и Diode
Rotate (Ctrl+R)	Вращение редактируемого объекта на 90° по часовой стрелке. Соответствующая кнопка имеет серый цвет, когда не выбран никакой объект
Mirror (Ctrl+E)	Зеркальное отражение редактируемого объекта. Соответствующая кнопка имеет серый цвет, когда не выбран никакой объект
Draw Wire (F3)	Нажатием левой кнопкой мыши начинается рисование проводника. Каждое нажатие определяет новый сегмент проводника. Нажатие на существующем сегменте проводника присоединяет новый проводник или продолжает существующий. Нажатие правой кнопки отменяет рисование проводника. Следующее нажатие правой кнопки отменяет команду рисования. Можно тянуть проводники через компоненты типа резисторов. Автоматически будет выполнен разрыв проводника так, чтобы резистор включился в цепь последовательно
Label Net (F4)	Определение имени узла, предотвращающее его произвольное наименование при генерации списка соединений
Place GND (G)	Размещение символа GROUND . Это узел "0", обычно глобальный для схемы
Place BUS tap	Размещение указателя подключения к шине (линии групповой связи)
Delete (F5)	Удаление объектов нажатием на них или вычерчиванием рамки вокруг них
Duplicate (F6)	Копирование объектов нажатием на них или вычерчиванием рамки вокруг них. Можно скопировать объект из одной схемы в другую, если они обе открыты в LTSpice / SwitcherCAD III. Начните команду копирования в окне первой схемы. Далее сделайте вторую схему активным окном и выполните Ctrl-V
Move (F7)	Перемещение объекта нажатием на него или вычерчиванием рамки вокруг объектов, которые необходимо переместить. После этого можно переместить объекты в новое местоположение
Paste	Размещение объектов в окне новой схемы, когда они уже были выбраны командой Duplicate
Drag (F8)	Нажмите на объект или начертите рамку вокруг объектов, которые следует перетянуть. После этого можно переместить объекты и присоединенные проводники без их разрыва в новое местоположение
Draw>Line	Рисование линии
Draw>Rectangle	Рисование прямоугольника
Draw>Circle	Рисование окружности
Draw>Arc	Рисование дуги на схеме
Draw>Line Style	Изменение стиля линий графических объектов

ка не нажаты правая кнопка мыши или кнопка Esc. При редактировании вся схема может быть удалена или перерисована. Команды меню Edit перечислены в таблице 2.

Команды меню **Edit**, за исключением команд **Place BUS tap** и **Draw**, дублированы кнопками на панели инструментов.

Графические объекты (линии, прямоугольники, окружности и дуги) не имеют электрических свойств и используются на схеме для ввода дополнительной информации. По умолчанию графические объекты в схеме привязаны к той же сетке, что используется для электрического контакта с проводниками и выво-

дами. Привязка к сетке отключается, если при рисовании удерживать нажатой клавишу **Ctrl**.

Присвоение имени узлу

Каждый узел в схеме должен иметь уникальное имя. Во избежание произвольного именования узла в списке соединений можно присвоить ему определенное имя. Узел «0» — «общая земля» схемы и изображается специальным символом без имени «0».

Есть также графический символ, определенный для узла «COM», но этот узел не имеет никакого специального значения. Таким образом, это не Spice глобальное подключение и даже не глобальный узел. Просто иногда удобно иметь графический символ, связанный с узлом, отличающимся от «земли». Если присвоить узлу имя, начинающееся с символов «\$G_», как, например, «\$G_VDD», тогда этот узел является глобальным независимо от иерархии схемы.

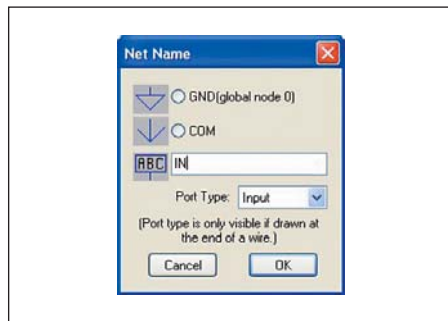


Рис. 4. Присвоение имени узлу

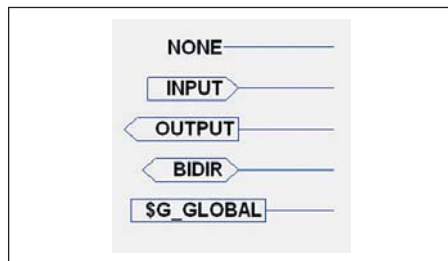


Рис. 5. Типы портов

Присвоение имени узлу и определение типа порта выполняется в диалоговом окне (рис. 4), вызываемом по команде меню **Edit>Label Net**.

Можно указать, что узел — порт типа «вход», «выход» или «двунаправленный». Эти типы портов имеют различные изображения, но это не имеет никакого значения для формирования списка соединений. Указание типа порта делает схему более «удобочитаемой». Глобальные узлы также изображаются с рамкой вокруг имени. Возможные типы портов изображены на рис. 5.

Цвета в схеме

Команда меню **Tools>Color Preferences**, вызывающая диалоговое окно регулировки цвета (рис. 6), позволяет установить предпочтительные цвета для отображения схемы.

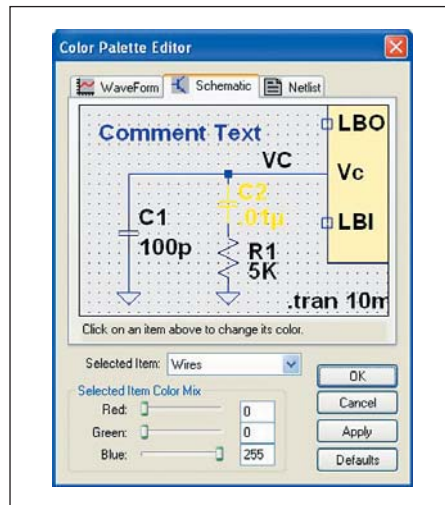


Рис. 6. Редактирование цвета

Нажав на объект на рисунке схемы в окне или выбрав требуемый объект из списка в открывающемся меню, можно отрегулировать цвета по своему предпочтению, пользуясь «ползунками» red (красный), green (зеленый) и blue (синий).

Неэлектрические графические объекты на схеме, типа линий и окружностей, будут изображены в цвете компонентов.

Размещение новых компонентов

Некоторые часто используемые компоненты типа резисторов, конденсаторов и катушек индуктивности могут быть выбраны для размещения на схеме кнопкой на панели инструментов. Для большинства компонентов используется команда меню **Edit>Component** с открытием диалогового окна поиска требуемого устройства, показанного на рис. 7.

Программирование «горячих» клавиш

Команда меню **Tools>Control Panel>Drafting Options>Hot Keys**, вызывающая диалоговое окно (рис. 8), позволяет программировать «горячие» клавиши для большинства команд. Просто нажмите мышью на команду, а затем

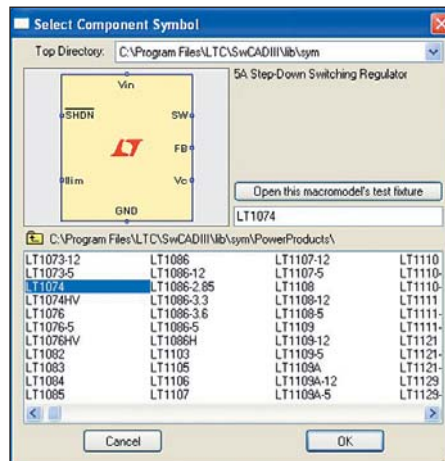


Рис. 7. Выбор символа компонента

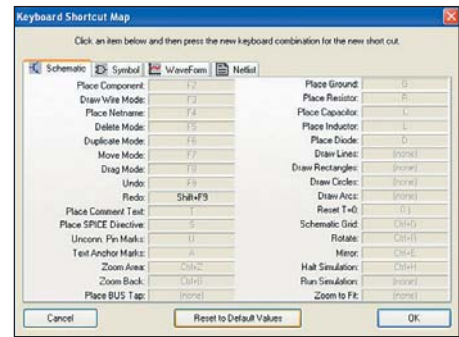


Рис. 8. Программирование «горячих» клавиш

нажмите клавишу или комбинацию клавиш, которой требуется сопоставить команду. Чтобы удалить «горячую» клавишу, сначала нажмите команду и затем клавишу Delete.

Извлечение списка соединений для программ проектирования печатных плат

По команде меню схемы **Tools>Export Netlist** генерируется ASCII список соединений для программы создания печатной платы. Может потребоваться создание ряда компонентов с соответствующим порядком следования имен выводов. Например, при импорте списка соединений из схемы LTSpice в ExpressPCB нужно создать компоненты либо для LTSpice, либо для ExpressPCB, с одинаковым порядком следования выводов в списках соединений. Иначе диоды в списке соединений могут оказаться перевернутыми или выводы транзисторов перепутанными.

Доступны следующие форматы: Accel, Algorex, Allegro, Applicon Bravo, Applicon Leap, Cadnetix, Calay, Calay90, CBDS, Computervision, EE Designer, ExpressPCB, Intergraph, Mentor, Multiwire, PADS, Scicards, Tango, Telesis, Vectron и Wire List.

Редактирование компонентов

Компоненты могут быть отредактированы двумя или тремя различными способами, в зависимости от типа компонента.

Редактирование видимых атрибутов

Видимые непосредственно на поле схемы атрибуты можно отредактировать указав на них мышью с последующим нажатием ее правой кнопки. Курсор мыши превратит-

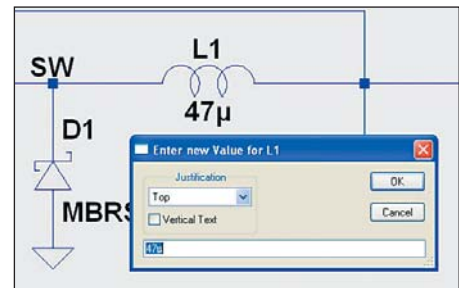


Рис. 9. Редактирование видимых атрибутов

ся в окно вставки текста, показанное на рис. 9. Это удобный способ изменения значения параметра компонента.

Специальные редакторы компонентов

Многие типы компонентов, такие как резисторы, конденсаторы, катушки индуктивности, диоды, биполярные транзисторы, МОП-транзисторы, полевые транзисторы, независимые источники напряжения, независимые источники тока и иерархические схемные блоки, имеют специальные редакторы. Эти редакторы позволяют получить доступ к соответствующей базе данных устройств. Для использования этих редакторов правой кнопкой мыши нажимают на тело компонента. Диалоговое окно редактора параметров индуктивности показано на рис. 10.

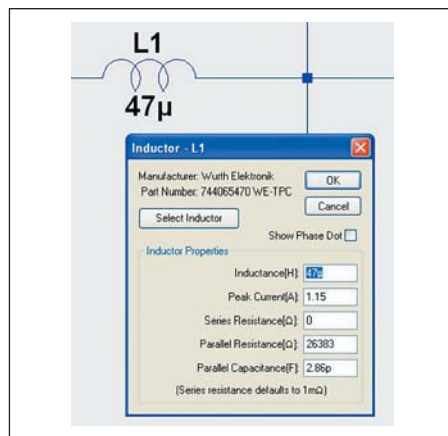


Рис. 10. Редактор компонентов

Полное редактирование атрибутов

Иногда желательно получить прямой доступ ко всем имеющимся атрибутам компонента, чтобы редактировать их содержание и видимость. Редактор, позволяющий делать это, можно вызвать, если поместить курсор на компонент, нажать сначала клавишу Ctrl и затем — правую кнопку мыши. Появится диалоговое окно (рис. 11), в котором показаны все имеющиеся атрибуты компонента. В каждой строке есть ячейка с индикатором видимости признака на схеме. При рисовании схемы полезно сделать видимыми паразитные характеристики компонентов, такие как, например, эквивалентное последовательное сопротивление конденсатора.

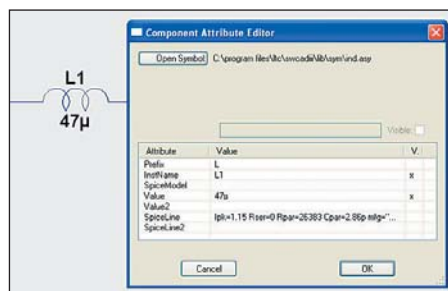


Рис. 11. Редактор атрибутов компонентов

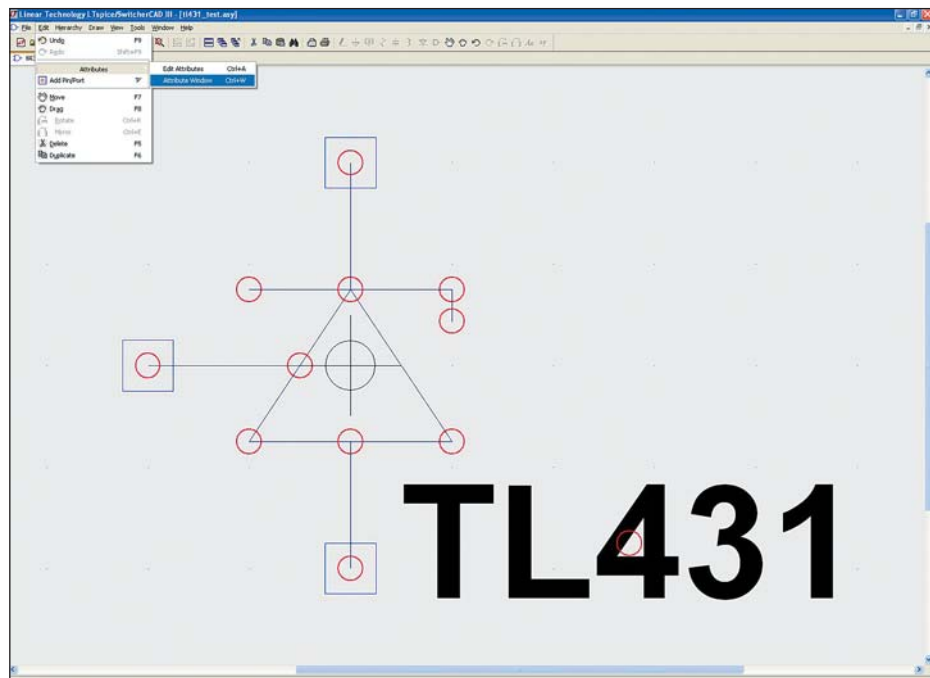


Рис. 12. Окно схемы в режиме рисования символа

Первый символ имени компонента определяет его тип. Специфический символ атрибута Prefix приписывается в первую позицию, если он отличается от первого символа имени, определяющего тип компонента. Атрибуты Prefix и InstName в таком случае будут разделены символом «\$». Например, для атрибута Prefix «M» и атрибута InstName «Q1» имя в списке соединений будет M\$Q1. Допускается использовать атрибут InstName, отличающийся от используемого Spice для идентификации типа устройства. Заменяв в схеме атрибут InstName для биполярного транзистора на привычный «VT1», получим имя компонента в списке соединений Q\$VT1.

Есть три исключения из этого правила:

1. Специальный символ, джампер (jumper), который не считается элементом схемы, но указывает генератору списка соединений, что две цепи с разными именами электрически связаны.
2. Символ, имеющий префикс «X», и оба определенных атрибута — Value и Value2. Такой компонент представлен в списке соединений двумя строками:

```
.lib <SpiceModel>
<имя> <узел1> <узел2> [...] <Value2>
```

Так к соответствующему символу автоматически подключается библиотека, содержащая описание макромодели компонента. Компилятор списка соединений удаляет дублирующиеся ссылки к библиотекам. Такие компоненты нельзя отредактировать в листе схемы.

3. Символ с префиксом «X», имеющий атрибут ModelFile. Такой компонент представлен в списке соединений двумя строками:

```
.lib <ModelFile>
<имя> <узел1> <узел2> [...] <SpiceModel> <Value> <Value2>
<SpiceLine> <SpiceLine2>
```

Примечание. Здесь и далее по тексту обязательный по правилам переноса строк в Spice-выражениях знак «+», предваряющий каждую последующую строку, сознательно опущен. При работе с программой нарушение этого правила недопустимо.

Этот метод используется, когда желательно автоматически подключить файл библиотеки и иметь возможность редактирования символа. Если атрибут символа SpiceModel существует и имя макромодели определено в файле <ModelFile>, тогда раскрывающийся список имен всех макромодели будет доступен для редактирования символа в листе схемы.

Создание новых символов

Символы могут представлять примитивное устройство типа резистора или конденсатора, либо макромодели с библиотекой в отдельном файле или на странице схемы. Для создания нового символа используется команда меню File>New Symbol.

Графика символа компонента

Графически символ компонента изображается рядом линий, прямоугольников, окружностей и дуг. Эти объекты не имеют электрического влияния на схему. С помощью команды Draw>Text можно поместить в символ компонента текст, также не влияющий на схему. Точки привязки объектов отмечены маленькими красными кружками, показывающими, что их следует захватить для перемещения. Красные маркеры можно отключить командой меню View>Mark Object Anchors.

Окно схемы в режиме создания нового символа показано на рис. 12.

Добавление выводов

Электрическое подключение компонента в схеме обеспечивается через выводы символов. Чтобы добавить новый вывод, используется команда меню **Edit>Add Pin/Port**, по которой вызывается диалоговое окно редактирования свойств выводов (портов), показанное на рис. 13.

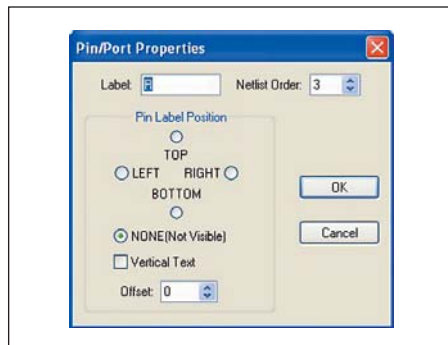


Рис. 13. Редактирование выводов

Хотя **Pin Label Position** должна определять, как будет показано имя вывода, в действительности **TOP** (сверху), **BOTTOM** (снизу), **LEFT** (слева) и **RIGHT** (справа) определяют положение вывода относительно текста его имени. Например, если положение вывода определено как **TOP**, вывод будет выше имени. Если символ представляет собой Spice-примитив или макромодель с библиотекой, тогда имя вывода не упоминается в списке соединений и, следовательно, не оказывает прямого электрического воздействия на схему. Однако если символ представляет схему низшего уровня иерархической схемы, имя вывода служит именем цепи схемы более низкого уровня.

Netlist Order определяет порядок следования выводов в списке соединений для Spice.

Добавление атрибутов

Можно изменить атрибуты символа, установленные по умолчанию, используя команду меню **Edit>Attributes>Edit Attributes**, по которой вызывается диалоговое окно, показанное на рис. 14. Наиболее важный атрибут — **Prefix**. Он в основном определяет тип символа. Если символ представляет Spice-примитив, он должен иметь соответствующий префикс: R для резистора, C для конденсатора, M для МОП-транзистора и т. д. Для символа, представленного макромоделью с определением в библиотеке, префикс должен быть X.

Атрибуты символа могут отвергаться, если символ представляет компонент с собственной схемой. Например, для символа МОП-транзистора атрибут **Prefix** «M», однако, если конкретный транзистор представлен в виде макромодели, то он будет иметь префикс X.

Специальная комбинация атрибутов заставляет подключить необходимую библио-

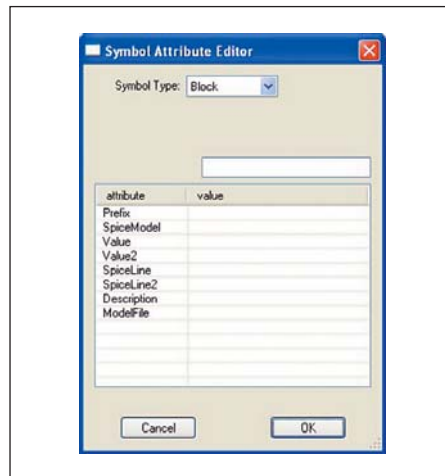


Рис. 14. Редактирование атрибутов символа

теку автоматически в каждую схему, в которой используется компонент с префиксом X:

- **SpiceModel**: <имя файла подключаемой Spice-модели>;
- **Value**: <значение, отображаемое на листе схемы>;
- **Value2**: <значение, отображаемое в списке соединений>.

Value2 должно совпадать с именем макромодели, определенном в файле подключаемой модели, и может содержать дополнительные параметры макромодели. Когда символ определен в такой манере, невозможно редактировать различные атрибуты компонента в листе схемы.

Если необходимо, чтобы символ представлял следующую страницу в иерархической схеме, все атрибуты нужно оставить пустыми, а тип компонента **Symbol Type** должен быть изменен с **Cell** на **Block**. Не должны быть установлены значения никаких атрибутов. Есть атрибут символа, **ModelFile**, который может быть указан. При этом используется имя файла, включаемого в список соединений как библиотека. Пример использования этого атрибута в файле .LTC\SwCADIII\lib\Misc\neobulb. Если атрибут **Prefix** — «X» и определен атрибут символа **SpiceModel**, указывающий на макромодель с файлом модели, будет доступен ниспадающий список всех имен макромоделей на случай редактирования символа в схеме.

Видимость атрибута

Можно редактировать видимость атрибутов в диалоговом окне (рис. 15), используя команду меню **Edit>Attributes>Attribute Window**. После того, как выбран соответствующий атрибут в диалоговом окне, можно переместить его относительно символа так, как в данный момент необходимо.

Можно изменить ориентацию текста и содержание атрибутов, которые уже сделаны видимыми, в диалоговом окне (рис. 16), оно появляется при нажатии правой кнопки мыши на текст атрибута.



Рис. 15. Редактирование видимости атрибутов символа

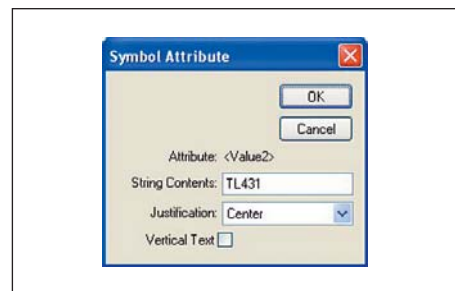


Рис. 16. Коррекция положения атрибута символа

Иерархия

Иерархическое построение схем имеет большие преимущества. Достаточно большие схемы могут быть нарисованы на одном листе с ясностью изображения, характерной для небольших схем. Просто изобразить повторяющиеся узлы. Блоки схемы могут быть включены в библиотеку для последующего использования в другом проекте.

Правила иерархии

Для использования какой-либо схемы в качестве блока в схеме высшего уровня необходимо создать символ с тем же самым именем, что и у схемы блока, а затем поместить этот символ в схему высшего уровня. Например, есть схема высшего уровня, названная TL431_test_pulse.asc, и есть файл другой схемы с именем TL431_test.asc, которую желательно поместить в схему TL431_test_pulse.asc. Создадим символ, названный TL431_test.asy, и поместим его в схему TL431_test_pulse.asc. Этот иерархический проект показан на рис. 17. Электрические соединения между схемами можно установить путем подсоединения проводников схемы более высокого уровня к выводам символа блока более низкого уровня, которые соответствуют именам узлов в схеме низшего уровня. Как имена символов, использованных в качестве блоков схемы, так и имена схем соответствующих блоков должны состоять из разрешенных символов. Недопустимо использование пробелов.

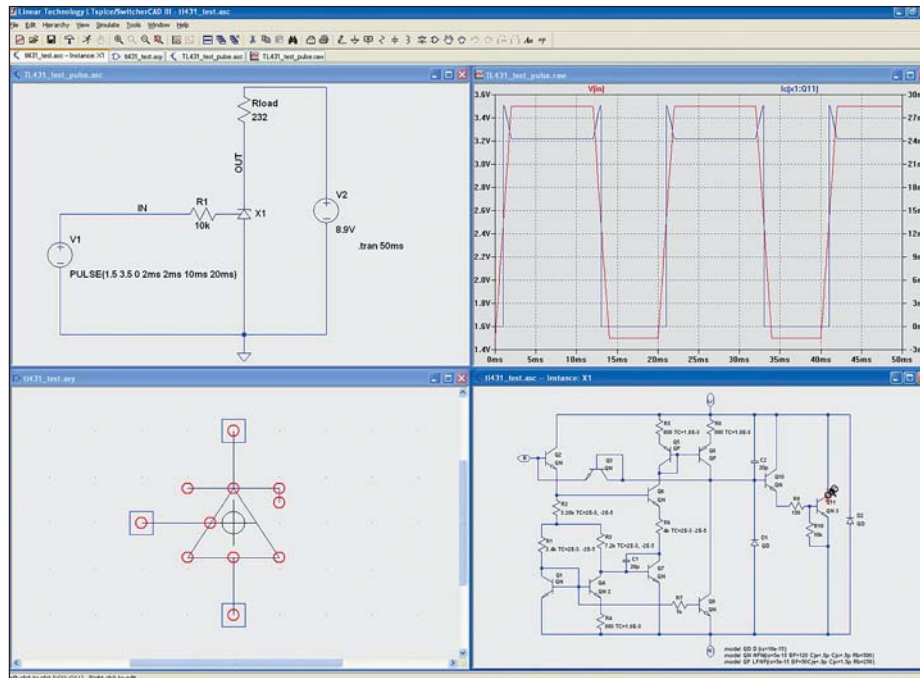


Рис. 17. Окно программы в режиме иерархического проекта

LTSpice ищет в каталоге схемы высшего уровня схемы символов и блоков, чтобы комплектовать схему высшего уровня.

Для символа, создаваемого как блок схемы низшего уровня, не должны быть определены никакие атрибуты.

Навигация в иерархии

Любой файл, открытый командой **File>Open**, рассматривается как схема высшего уровня. Можно добавить Spice-директивы к блоку и начать моделирование, используя схему любого уровня.

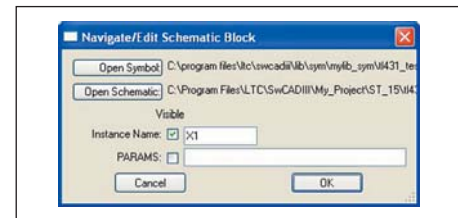


Рис. 18. Редактирование в иерархическом проекте

Чтобы открыть схему блока, входящего в схему более высокого уровня, сначала откройте схему более высокого уровня, а затем переместите курсор на символ вызываемого блока. При нажатии правой кнопкой мыши на выбранном символе отобразится диалоговое окно (рис. 18), позволяющее открыть схему и символ. Диалоговое окно позволяет вводить параметры блока при их наличии.

Когда схема будет открыта, можно исследовать узловые напряжения и токи в блоке. Отметим, что необходимо включить режимы **Save Subcircuit Node Voltages** и **Save Subcircuit Device Currents** в окне **Save Defaults** в **Control Panel**. Если подсветить цепь на схеме более высокого уровня, она так же подсветится в блоке нижнего уровня.

В следующей части статьи будет рассказано, как отображаются результаты моделирования и какие операции можно выполнять над ними. ■

Продолжение следует