

621.382.8(076.5)

№ 3574

Р 851

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ



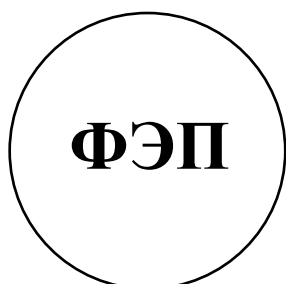
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
ТАГАНРОГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
РАДИОТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

КАФЕДРА КОНСТРУИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ

РУКОВОДСТВО К ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТОПОЛОГИИ
СБИС И МИКРОСИСТЕМ В САПР
TANNER PRO**

Для студентов специальностей 220500, 201900, 202100
и направлений 551100, 550700, 554500



Таганрог 2004

УДК 621.382.82 – 181.2.001.2(076.5) + 658.512.2.011.5(076.5)

Составители: Б.Г. Коноплев, Е.А. Рындин, А.В. Ковалев, И.Е. Лысенко

Руководство к лабораторной работе «Проектирование топологии СБИС и микросистем в САПР Tanner Pro».– Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2004.– 41 с.

Цикл лабораторных работ по освоению студентами методов проектирования топологии специализированных сверхбольших интегральных схем (СБИС) и микросистем подготовлен сотрудниками кафедры конструирования электронных средств (КЭС) Таганрогского государственного радиотехнического университета (ТРТУ).

В работе излагаются сведения, необходимые для разработки топологии СБИС и микросистем в топологическом редакторе L-Edit САПР Tanner Pro. Описаны возможности редактора L-Edit, графический интерфейс, файловая организация проектов, маршруты автоматического синтеза топологии СБИС и микросистем, проверка правил проектирования и возможности редактирования топологии, экстракция электрической схемы из топологии, особенности работы с библиотеками элементов, связь топологического редактора L-Edit со схемным редактором S-Edit и подсистемой схемотехнического моделирования T-Spice САПР Tanner Pro.

Ил. 24. Библиогр.: 4 назв.

Рецензент В.В. Поляков, канд. техн. наук, доцент кафедры технологии микро- и наноэлектронной аппаратуры ТРТУ.

ВВЕДЕНИЕ

Основными проблемами проектирования современных сверхбольших интегральных схем (СБИС), содержащих миллионы полупроводниковых структур на кристалле, и микросистем, объединяющих на одном кристалле не только устройства обработки информации, но также микро- и наносенсоры (температуры, давления, ускорения, скорости потока, состава веществ и др.) и исполнительные механизмы (микродвигатели, микронасосы, микросмесители, микрозажимы и т.д.), являются обеспечение бездефектности и сокращение времени проектирования. Учитывая крайне высокую функциональную сложность СБИС и микросистем, решение данных проблем возможно лишь посредством использования различных методов автоматизации в системах автоматизированного проектирования (САПР), опирающихся на мощную вычислительную базу.

В зависимости от метода последующей реализации проектируемой СБИС (на основе программируемой логической интегральной схемы (ПЛИС), базового матричного кристалла (БМК), заказной микросхемы) выбирается комплекс аппаратно-программных средств САПР и наиболее удобный язык описания проекта. В наибольшей степени современным требованиям по быстродействию, надежности, энергопотреблению, эффективности использования площади кристалла отвечают заказные СБИС, одним из важнейших этапов проектирования которых является синтез топологии.

Учитывая высокую степень сложности современных микросистем, практически все СБИС проектируются с использованием специальных языков высокого уровня (VHDL, Verilog и др.). Функция системы определяется как преобразование значений на входах в значения на выходах, а организация задается перечнем связанных компонентов [1]. При этом все этапы проектирования от исходного описания на языке высокого уровня до синтеза топологии в современных САПР осуществляются в автоматическом режиме. Для сокращения времени и повышения эффективности проектирования топологии широко используются так называемые стандартные библиотеки элементов (Standard Cell Libraries). При этом компилятор на основе исходного описания проекта и описаний библиотечных элементов формирует файл описания структурной схемы в стандартном формате, являющийся исходным для последующих этапов автоматического размещения и трассировки. Интерактивный режим, как правило, используется лишь при синтезе топологии библиотечных элементов.

В методическом пособии излагаются сведения, необходимые для разработки топологии СБИС и микросистем в редакторе L-Edit САПР Tanner Pro. Описаны возможности редактора L-Edit, графический интерфейс, файловая организация проектов, маршруты автоматического синтеза топологии, проверка правил проектирования и возможности редактирования топологии, экстракция электрической схемы из топологии, особенности работы с библиотеками элементов, связь топологического редактора L-Edit со схемным редактором S-Edit и подсистемой схемотехнического моделирования T-Spice САПР Tanner Pro.

1. ИНТЕРФЕЙС ТОПОЛОГИЧЕСКОГО РЕДАКТОРА L-EDIT САПР TANNER PRO

САПР Tanner Pro предназначена для автоматизированного проектирования заказных СБИС и микросистем на персональных компьютерах.

В состав САПР Tanner Pro входят три основных подсистемы:

- S-Edit – схемный редактор, предназначенный для создания и редактирования электрических схем проектов;
- L-Edit – топологический редактор, предназначенный для синтеза топологии в автоматическом или интерактивном режимах, проверки правил проектирования, экстракции схемы проекта из топологии, сохранения топологии проекта в виде файлов стандартных форматов;
- T-Spice – подсистема схемотехнического моделирования проектов.

Данные подсистемы являются автономно функционирующими программными продуктами, не объединенными общей оболочкой.

Рассматриваемая версия программного обеспечения САПР Tanner Pro реализована под операционные системы Windows 95-2000/XP/NT. Сведения о минимальной конфигурации аппаратных средств для работы с САПР Tanner Pro приведены в табл. 1 [2].

Таблица 1

*Минимальная конфигурация аппаратных средств
для САПР Tanner Pro*

Процессор	Pentium 100 МГц
Оперативная память	64 МВ
Дисковая память	88 МВ, в том числе: - S-Edit и T-Spice 6.03 – 38 МВ; - L-Edit 8.2 – 50 МВ (и дополнительно 50 МВ в процессе инсталляции)
Монитор	Количество цветов – 256 (точно); Разрешение – не менее 800 x 600

Следует отметить, что реально требуемая конфигурация аппаратных средств для САПР Tanner Pro определяется сложностью проекта.

Интерфейс топологического редактора L-Edit 8.2 представлен на рис. 1. Он включает следующие поля (перечисление в направлениях сверху вниз и слева направо):

- поле имен библиотеки и проекта;
- поле главного меню редактора;
- поле «быстрых» кнопок;
- поле имен топологических слоев;
- поле графических обозначений топологических слоев (изображения контуров и заливки или штриховки);
- поле текущих функций кнопок манипулятора «мышь»;

- поле редактирования топологии;
- поле подсказки, в котором отображается информация о графическом объекте, на который указывает курсор манипулятора «мышь».

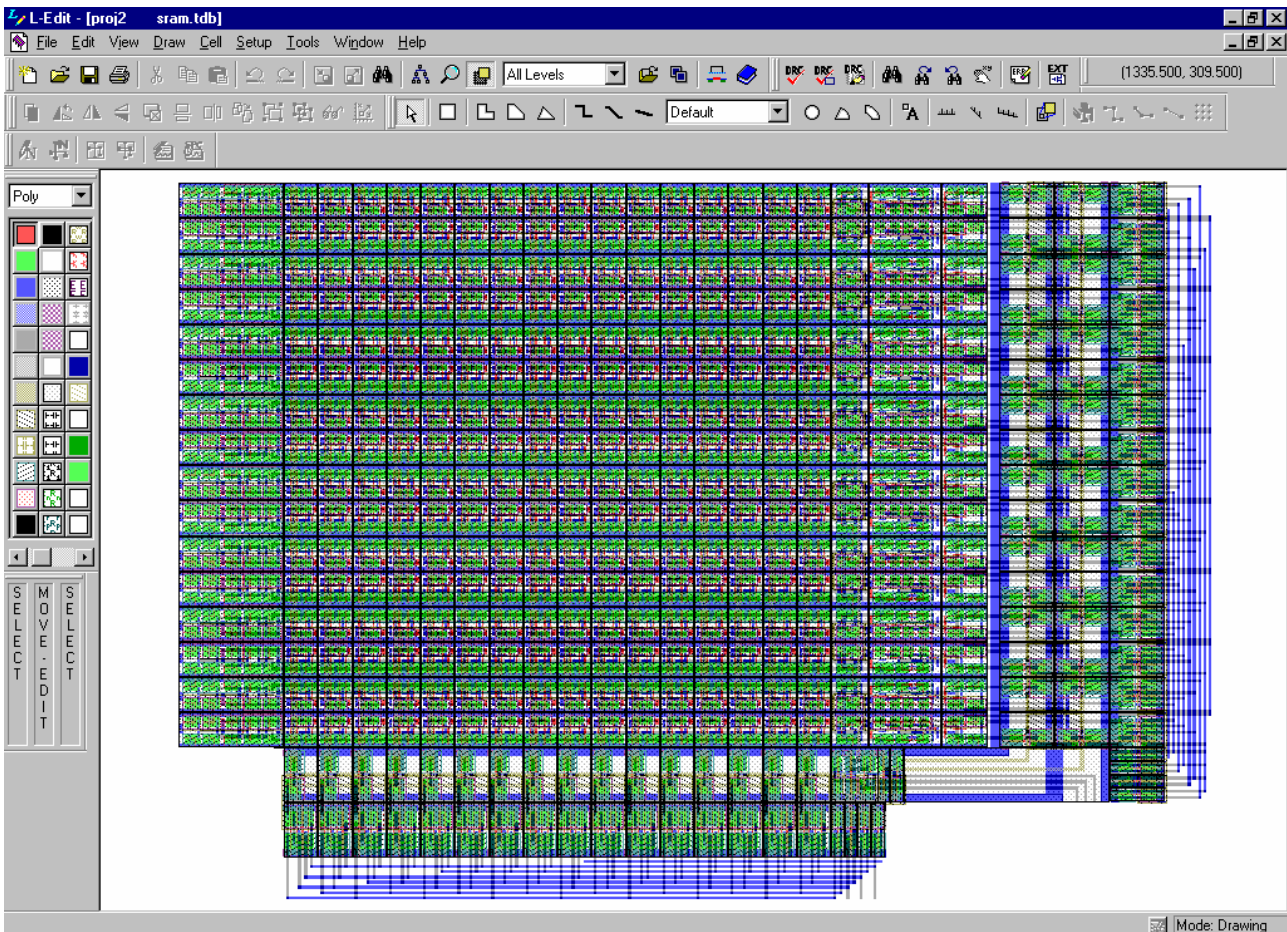


Рис. 1. Интерфейс топологического редактора L-Edit 8.2

В поле имен отображается название топологического редактора (L-Edit), после которого в квадратных скобках следуют имя редактируемого элемента проекта и имя топологического файла проекта. В файле проекта содержится информация обо всех элементах этого проекта, каждый из которых представляет собой определенный набор геометрических примитивов (прямоугольников, полигонов и др.), расположенных в различных топологических слоях. Элементы первого (самого низкого) уровня иерархии могут входить в состав более сложных элементов второго уровня. Элементы третьего уровня могут объединять в себе элементы второго и первого уровней иерархии, а также отдельные графические примитивы (нулевого уровня) и т.д. Элементы всех уровней иерархии, хранящиеся в одном топологическом файле с определенным именем, часто называют библиотекой элементов. При редактировании топологии библиотечных элементов следует помнить, что изменения топологических примитивов в элементе определенного уровня иерархии автоматически вносятся во все элементы более высоких уровней, содержащих ссылки на редактируемый элемент.

Поле главного меню редактора содержит следующие пункты и вложенные в них команды ниспадающих меню:


- File:
 - New – создать файл;
 - Open – открыть файл;
 - Close – закрыть файл;
 - Save – сохранить файл;
 - Save As – сохранить существующий файл с изменением его имени;
 - Import Mask Data – импортировать топологию из выбранного пользователем топологического файла в текущий топологический файл;
 - Export Mask Data – экспортировать топологию из текущего топологического файла в выбранный пользователем топологический файл;
 - Replace Setup – импортировать параметры топологических слоев из выбранного пользователем топологического файла в текущий топологический файл;
 - Print – печатать текущую топологию;
 - Print Preview – предварительный просмотр печати;
 - Print Setup – установка параметров печати;
 - Exit – выход из топологического редактора L-Edit.
- Edit:
 - Undo – отменить последнюю выполненную команду;
 - Redo – выполнить последнюю отмененную команду;
 - Cut – вырезать выделенные объекты (графические примитивы, ссылки на элементы, обозначения портов, текст) из топологического рисунка в буфер;
 - Copy – скопировать выделенные объекты из топологического рисунка в буфер;
 - Past – вставить содержимое буфера в текущий топологический рисунок;
 - Select All – выделить все объекты топологического рисунка;
 - Deselect All – снять выделение со всех объектов топологического рисунка;
 - Find – найти объект топологического рисунка с указанными параметрами;
 - Find Next – найти следующий объект топологического рисунка с указанными параметрами;
 - Find Previous – найти предыдущий объект топологического рисунка с указанными параметрами;
 - Edit Object(s) – редактировать выделенный объект.
- View:
 - Go To – переместить центр поля редактирования топологии в

- точку с заданными координатами;
 - Home – отобразить весь топологический рисунок в поле редактирования топологии;
 - Zoom – изменить масштаб изображения;
 - Design Navigator – отображение иерархического списка элементов текущего топологического файла в отдельном окне;
 - Redraw – обновить изображение топологического рисунка.
- Draw:
 - Rotate – повернуть выделенный объект на 90° против часовой стрелки;
 - Flip – зеркально отобразить выделенный объект;
 - Group – сгруппировать выделенные объекты;
 - Ungroup – разгруппировать ранее сгруппированный объект.
- Cell:
 - New – создать новый элемент в текущем топологическом файле;
 - Open – открыть элемент в текущем топологическом файле;
 - Copy – копировать топологический элемент;
 - Rename – переименовать топологический элемент;
 - Delete – удалить топологический элемент;
 - Instance – вставить топологический элемент в текущий топологический рисунок (в виде ссылки).
- Setup:
 - Palette – задание цветовой палитры, используемой редактором;
 - Design – определение единиц измерения координат, шага координатной сетки, минимального топологического размера и др.;
 - Layers – ввод и редактирование параметров слоев;
 - Special Layers – определение специальных слоев из списка, введенного командой Layers.
- Tools:
 - Generate Layers – генерация слоев, представляющих собой объединение по «И», «НЕ-И», «ИЛИ» и/или «НЕ-ИЛИ» определенных слоев из списка, введенного командой Layers;
 - Clear Generated Layers – удаление слоев, генерированных ранее командой Generate Layers;
 - DRC – проверка правил проектирования топологии в текущем топологическом рисунке;
 - Clear Error Layer – удаление сообщений из специального слоя ошибок;
 - SPR – размещение и канальная трассировка;
 - BPR – размещение и блочная трассировка;
 - Extract – экстракция электрической схемы из топологии;
 - Cross-Section – вывод на экран вертикального сечения слоев структуры по заданной пользователем линии.
- Window – перемещение выбранного топологического рисунка из ото-

бражаемого в ниспадающем меню списка на передний план:

- Cascade – упорядочить отображаемые топологические рисунки каскадом;
- Tile Horizontally – упорядочить отображаемые топологические рисунки по горизонтали;
- Tile Vertically – упорядочить отображаемые топологические рисунки по вертикали.
- Help – отображение разделов «Руководства пользователя топологического редактора L-Edit» на английском языке в формате PDF¹.

В поле «быстрых» кнопок наиболее часто используемые команды главного меню дублируются кнопками с соответствующими графическими обозначениями, активизируемыми однократным щелчком левой кнопки манипулятора «мышь» при наведении курсора «мыши» на выбранную кнопку.

В поле имен топологических слоев отображается имя слоя, активного в текущий момент времени. При наведении курсора «мыши» на кнопку  справа от имени активного слоя и щелчке левой кнопкой отображается ниспадающий список всех слоев, из которого можно выбрать новый активный слой, наведя на него курсор и щелкнув левой кнопкой «мыши».

В поле графических обозначений топологических слоев отображаются контуры, заливки и штриховки всех слоев топологического файла. При наведении курсора «мыши» на изображение определенного слоя и щелчке левой кнопкой данный слой становится активным. При щелчке правой кнопкой появляется контекстное меню, позволяющее управлять видимостью и всеми параметрами слоев с помощью команд:

- Show <Имя выбранного слоя> – определить выбранный слой как видимый или невидимый щелчком левой кнопки манипулятора «мышь»;
- Show All – определить все слои в текущем топологическом файле как видимые;
- Hide All – определить все слои в текущем топологическом файле как невидимые;
- Setup – вызвать окно редактирования параметров слоев.


В поле текущих функций кнопок манипулятора «мышь» отображаются функции всех кнопок, которые изменяются в зависимости от того, на каком поле топологического редактора находится курсор «мыши». Удобнее использовать трехкнопочную «мышь», но может быть использована и двухкнопочная. В последнем случае функция средней кнопки передается левой кнопке при нажатой клавише Alt.

В поле редактирования топологии отображаются топологические рисунки в отдельных окнах, переключение между которыми осуществляется командами меню Window.

¹ Для отображения файлов «Руководства пользователя» на персональном компьютере должен быть установлен Acrobat Reader.


2. СОЗДАНИЕ И РЕДАКТИРОВАНИЕ ФАЙЛОВ ТОПОЛОГИИ В РЕДАКТОРЕ L-EDIT

2.1. Запуск топологического редактора

Запуск топологического редактора L-Edit САПР Tanner Pro осуществляется двойным щелчком левой кнопки манипулятора «мышь» при наведении курсора на иконку , размещенную на «Рабочем столе» компьютера.

2.2. Создание и сохранение топологических файлов

В результате запуска L-Edit на экране монитора появляется оболочка топологического редактора, кратко описанная в предыдущем разделе (см. рис. 1), и автоматически создается окно редактирования топологии с информацией о слоях, импортированной из файла-шаблона Ledit.tdb², находящегося в корневом каталоге редактора L-Edit и не содержащего никаких объектов.

Для создания нового топологического файла на основе шаблона Ledit.tdb необходимо сохранить созданный файл с помощью команды File/Save или щелчком левой кнопкой «мыши» на кнопке . При этом на экране появится диалоговое окно, приведенное на рис. 2.

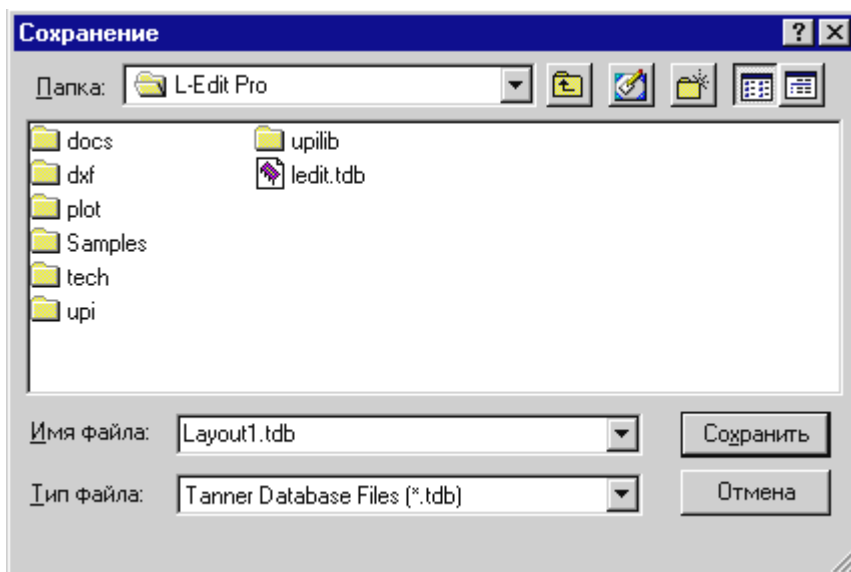



Рис. 2. Диалоговое окно команды Save

В данном окне необходимо с помощью манипулятора «мышь» выбрать каталог для сохранения топологического файла, в поле «Имя файла» ввести новое имя (по умолчанию предлагается имя Layout1.tdb), после чего активизировать кнопку «Сохранить».

Для создания нового файла, не содержащего информации о топологиче-

² Расширение .TDB соответствует внутреннему формату топологических файлов САПР Tanner Pro.

ских слоях, необходимо закрыть все окна редактирования топологии с помощью команды File/Close, после чего активизировать команду File/New или щелкнуть левой кнопкой «мыши» на кнопке . В результате на экране появится диалоговое окно, показанное на рис. 3.

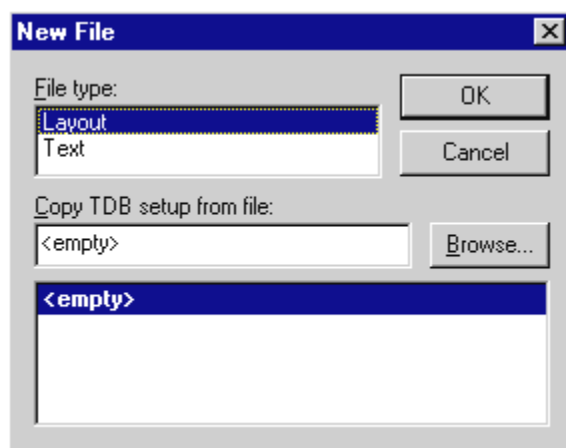


Рис. 3. Диалоговое окно команды New

В данном окне в поле «File type» необходимо с помощью манипулятора «мышь» или клавиш со стрелками выбрать тип создаваемого файла (Layout – файл топологии; Text – текстовый файл), после чего нажать кнопку «OK».

После этого файл может быть сохранен с помощью команды File/Save (см. рис. 2).

2.3. Ввод информации о слоях

После создания нового файла в редакторе L-Edit следует ввести список слоев и их параметры. Все вводимые слои можно разделить на следующие группы:

- технологические;
- топологические;
- специальные.

Рисунок в каждом технологическом слое представляет изображение, переносимое в дальнейшем на соответствующий фото- или рентгеношаблон. При использовании электронно-лучевой литографии осуществляется управление электронным лучом при сканировании на основе информации о координатах графических примитивов технологических слоев [3].

Следует отметить, что рисунки в технологических слоях не всегда непосредственно сохраняются в топологических файлах. Соответственно, топологический файл не обязательно содержит информацию обо всех технологических слоях. В этом случае рисунок технологического слоя формируется автоматически с помощью специального программного обеспечения на основе соответствующих топологических слоев по определенным правилам и с учетом ряда допусков.

Топологические слои содержат информацию о графических примитивах, на основе которой:

- формируются рисунки в технологических слоях;
- осуществляется проверка правил проектирования топологии;
- выполняется экстракция электрической схемы из топологии;
- выполняется построение структуры элементов интегральных схем по заданным пользователем секущим линиям.

Специальные слои предназначены для отображения на экране специальной графической и текстовой информации. Например, к специальным слоям в редакторе L-Edit относятся:

- Grid – слой для отображения координатной сетки;
- Cell Outline – слой для отображения границ элемента (для выполнения автоматического размещения);
- Error – слой для отображения информации о местоположении и характере ошибок, обнаруженных при проверке правил проектирования.

Ввод информации о слоях осуществляется с помощью команды Setup/Layers, при выполнении которой на экране появится диалоговое окно, показанное на рис. 4.

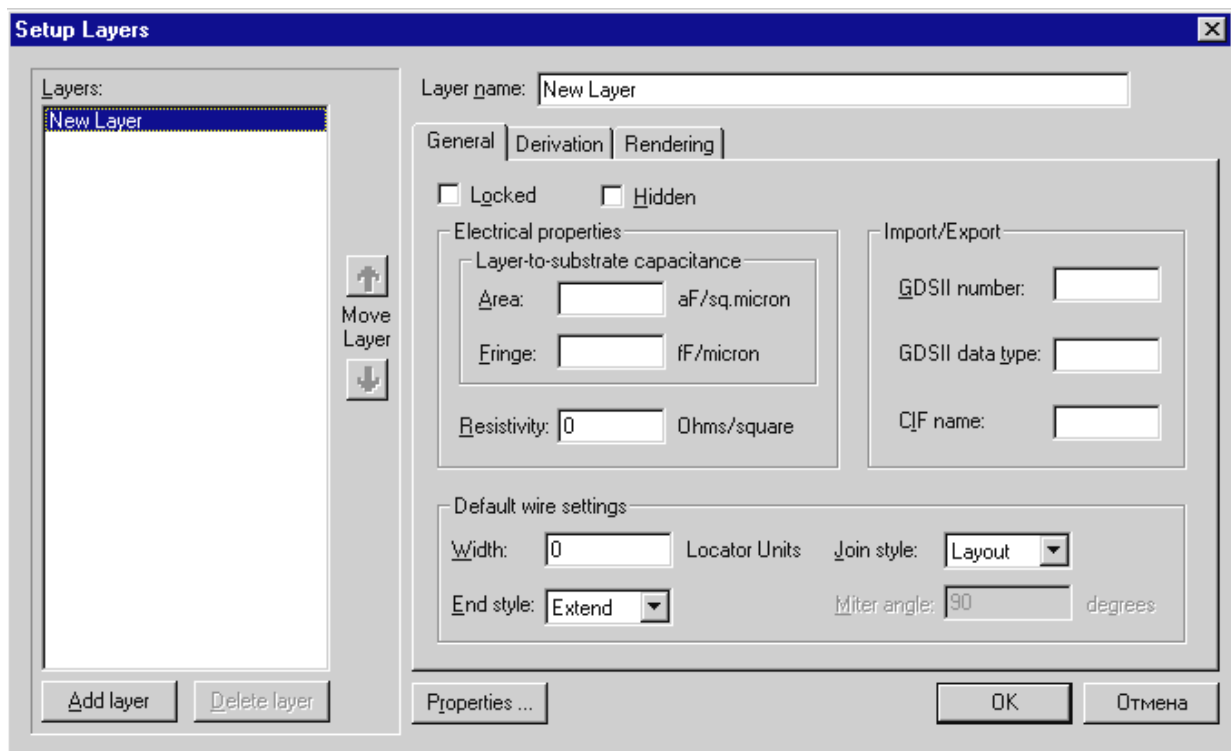



Рис. 4. Диалоговое окно команды Layers с закладкой «General»

Для ввода нового слоя необходимо:

- в поле «Layer name» ввести имя слоя латинскими буквами;
- в поле «GDSII number» закладки «General» ввести номер слоя для

- представления графической информации в формате GDSII³;
- в поле «CIF name» закладки «General» ввести имя слоя латинскими прописными буквами без пробелов для представления графической информации в формате CIF⁴;
 - при необходимости ввести в поле «Area» закладки «General» удельную емкость слоя в аФ/мкм², в поле «Fringe» – погонную краевую емкость слоя в фФ/мкм, в поле «Resistivity» – удельное поверхностное сопротивление слоя в Ом/□;
 - при необходимости в закладке «Derivation» (рис. 5) в полях «Layer 1», «Layer 2», «Layer 3» ввести имена из списка ранее введенных слоев. Выбор слоя осуществляется из ниспадающего списка, появляющегося по щелчку левой кнопкой манипулятора «мышь» на кнопке  справа от каждого поля. В полях «Operation» выбирается функция объединения слоев («AND» – по «И», «OR» – по «ИЛИ»). При необходимости может использоваться инверсия рисунка в выбранном слое, то есть множество всех точек поверхности слоя, исключая точки графических примитивов данного слоя. Для этого щелчком левой кнопки «мыши» необходимо установить метку в поле «NOT»;

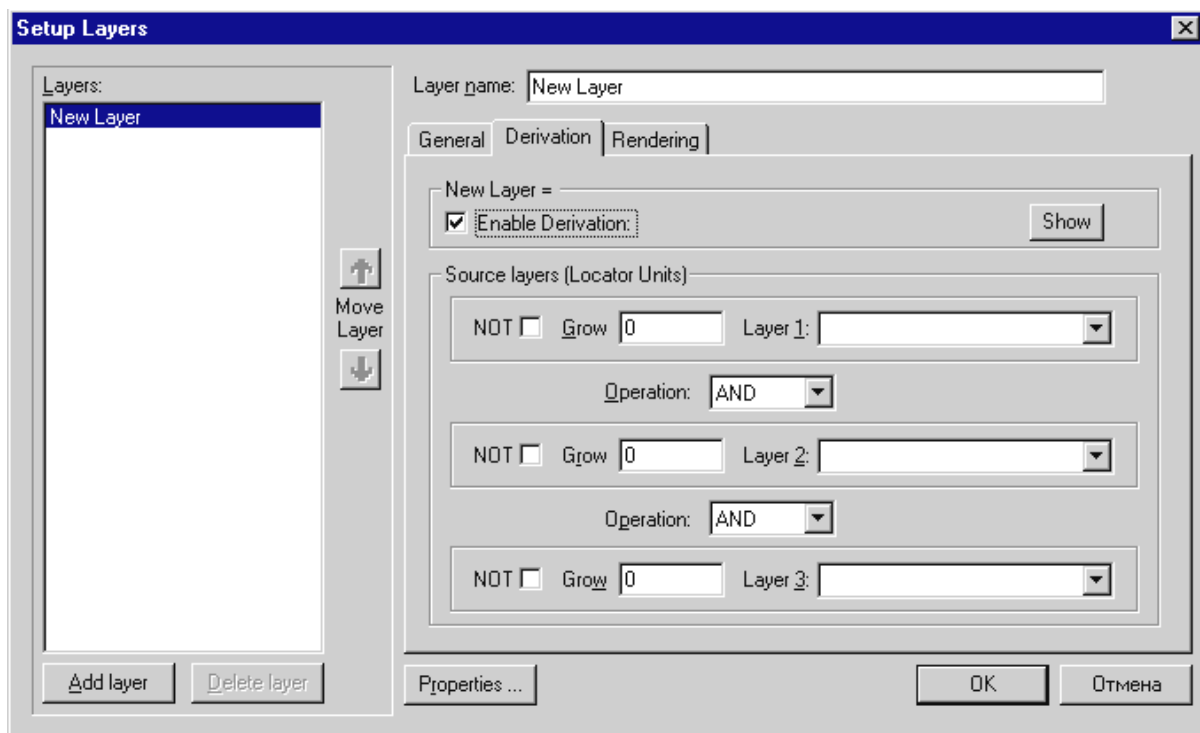


Рис. 5. Диалоговое окно команды Layers с закладкой «Derivation»

- в закладке «Rendering» (рис. 6) выбрать цвет слоя в поле «Color», стиль линии контура слоя в поле «Style», толщину линии контура слоя в поле «Thickness» и метод заливки в поле «Stipple» (образцы заливки

³ GDSII – международный стандартный бинарный формат для записи и хранения топологической информации.

⁴ CIF – международный стандартный текстовый формат для записи и хранения топологической информации.

- указаны на кнопках в нижней правой части окна);
- нажать кнопку «Add Layer». При этом в поле «Layers» отобразится имя введенного слоя;
- после введения всех необходимых слоев нажать кнопку «ОК» для завершения работы с диалоговым окном и активизации введенной информации о слоях.

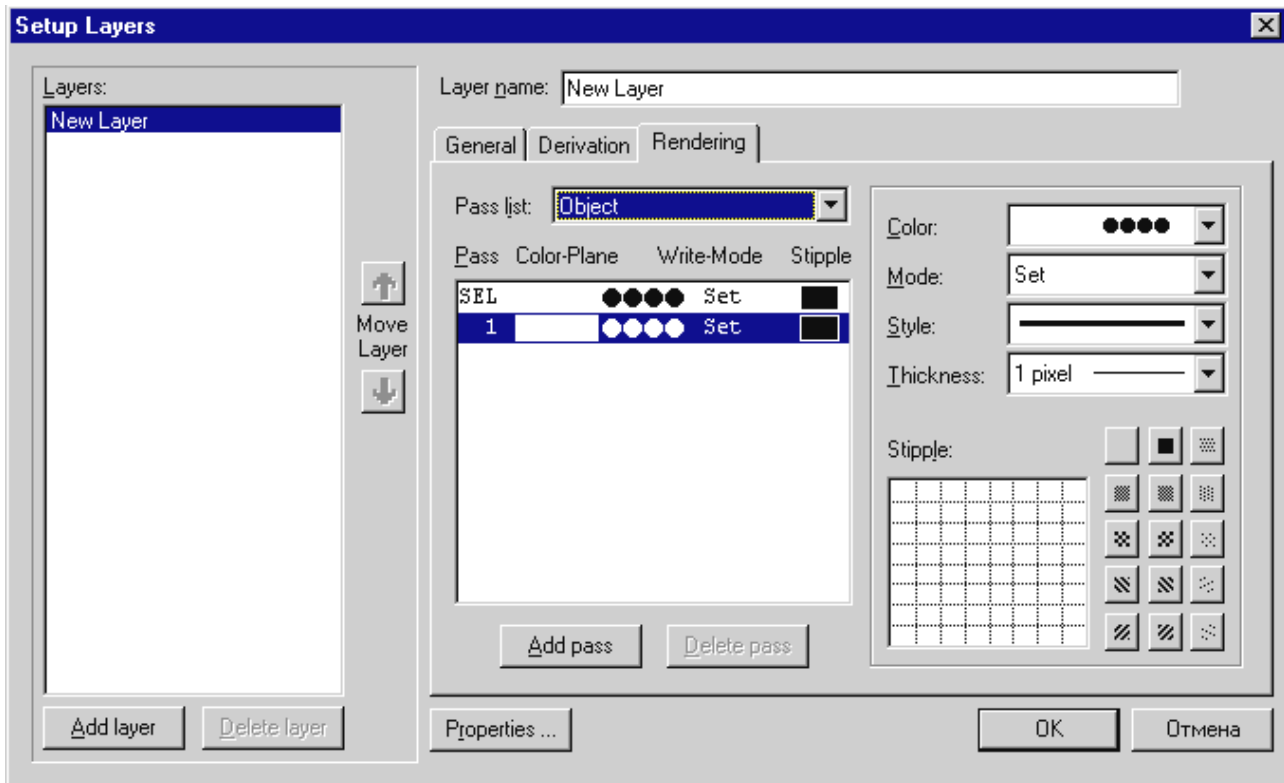



Рис. 6. Диалоговое окно команды Layers с закладкой «Rendering»

После выполнения описанной процедуры необходимо выполнить команду File/Save или нажать кнопку  для сохранения введенной информации о слоях в топологическом файле.

Для изменения параметров введенных слоев необходимо:

- выполнить команду Setup/Layers, в результате чего на экране появится соответствующее диалоговое окно (см. рис. 4 – 6);
- навести курсор «мыши» на имя слоя в поле «Layers» и щелкнуть левой кнопкой;
- внести необходимые изменения в полях диалогового окна;
- после введения всех необходимых слоев нажать кнопку «ОК» для завершения работы с диалоговым окном и активизации введенной информации о слоях.

2.4. Создание графических примитивов

Топологический рисунок представляет собой совокупность графических

примитивов и элементов текста, расположенных в различных слоях. К графическим примитивам в топологическом редакторе L-Edit относятся:

- прямоугольник;
- полигон;
- линия;
- круг;
- тор;
- сектор круга;
- сектор тора.

Примеры перечисленных графических примитивов, выполненные в редакторе L-Edit, приведены на рис. 7.

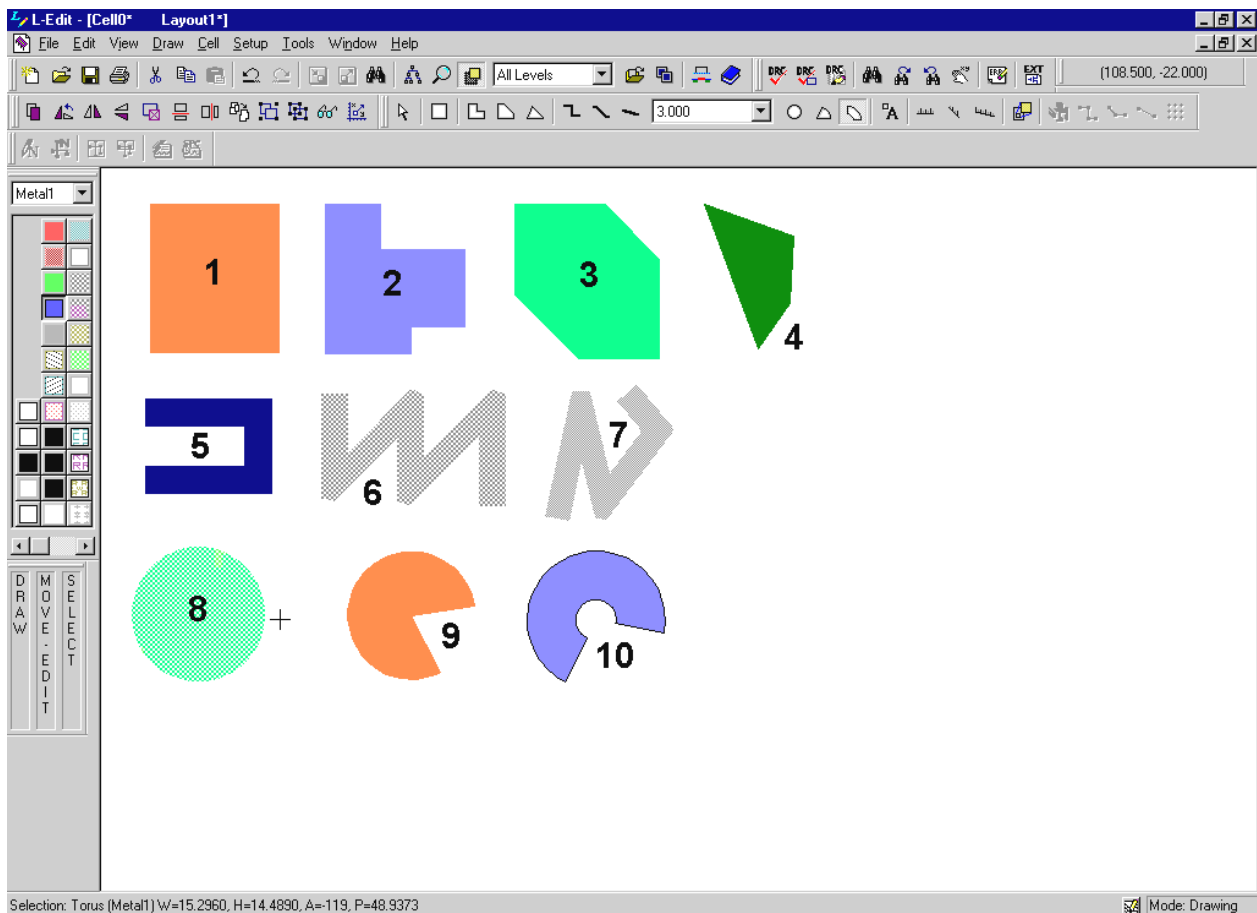












Рис. 7. Примеры создания графических примитивов в различных слоях в топологическом редакторе L-Edit:

1 – прямоугольник; 2 – полигон с углами только 90°; 3 – полигон с углами 90° и 45°; 4 – полигон с произвольными углами; 5 – линия с углами только 90°; 6 – линия с углами 90° и 45°; 7 – линия с произвольными углами; 8 – круг; 9 – сектор круга; 10 – сектор тора

Для интерактивного ввода графического примитива необходимо:


- назначить активным и видимым слой, в котором предполагается создать примитив, выполнив соответствующие действия в поле имен

- слоев или в поле графических обозначений слоев (см. рис. 1);
- выбрать форму создаваемого графического примитива, щелкнув левой кнопкой «мыши» на одной из кнопок:
 -  – прямоугольник (Box);
 -  – полигон с углами только 90° (Orthogonal Polygon);
 -  – полигон с углами 90° и 45° (45 deg. Polygon);
 -  – полигон с произвольными углами (All Angle Polygon);
 -  – линия с углами только 90° (Orthogonal Wire);
 -  – линия с углами 90° и 45° (45 deg. Wire);
 -  – линия с произвольными углами (All Angle Wire);
 -  – круг (Circle);
 -  – сектор круга (Pie Wedge);
 -  – сектор тора (Torus);
 - создать на поле редактирования топологии изображение примитива с помощью манипулятора «мышь» по определенным правилам.

Для создания прямоугольника необходимо установить курсор «мыши» в точку, в которой будет располагаться один из углов прямоугольника, нажать левую кнопку и, удерживая ее нажатой, переместить курсор «мыши» в точку, в которой будет расположен диагонально противоположный угол прямоугольника, после чего отпустить левую кнопку.

Для создания полигона любого из перечисленных выше видов необходимо установить курсор «мыши» в точку, в которой будет располагаться один из углов полигона, однократно щелкнуть левой кнопкой, переместить курсор в точку следующего по выбранному направлению обхода (по часовой стрелке или против часовой стрелки) угла, вновь однократно щелкнуть левой кнопкой и т.д. по всем углам создаваемого полигона. Когда весь полигон будет построен, необходимо однократно щелкнуть правой кнопкой «мыши» для завершения построения данного полигона.

Для создания линии любого из перечисленных выше видов необходимо:

- в поле «Wire Width» справа от кнопок выбора типа линий щелкнуть левой кнопкой «мыши» на кнопке , выбрать из ниспадающего списка один из вариантов «Default» или «Other». В первом случае ширина создаваемой линии будет задана по умолчанию. Во втором случае в появившемся диалоговом окне необходимо ввести требуемую ширину линии в установленных в текущем топологическом файле единицах (мкм, мм, см, дюймы или λ – минимальный топологический размер. Команда Setup/Design);
- установить курсор «мыши» в точку, в которой будет располагаться один из концов линии, однократно щелкнуть левой кнопкой, переместить курсор в точку следующего излома, вновь однократно щелкнуть левой кнопкой и т.д. по всем точкам излома создаваемой линии;
- когда вся линия будет построена, необходимо однократно щелкнуть

правой кнопкой «мыши» для завершения построения данной линии.

Для создания круга необходимо установить курсор «мыши» в точку, в которой будет располагаться центр круга, нажать левую кнопку и, удерживая ее нажатой, переместить курсор «мыши» в точку, которая будет принадлежать внешней границе круга, после чего отпустить левую кнопку.


Для создания секторов круга или тора необходимо установить курсор «мыши» в точку, в которой будет располагаться центр сектора, однократно щелкнуть левой кнопкой, переместить курсор в точку, которая будет принадлежать внешней границе сектора, вновь однократно щелкнуть левой кнопкой, после чего с использованием манипулятора «мышь» построить требуемый сектор. Когда сектор будет построен, необходимо однократно щелкнуть левой или правой кнопкой «мыши» для завершения построения.

2.5. Создание портов

Портом в топологическом редакторе L-Edit называется множество точек графического примитива в определенном слое, имеющее уникальное имя.

Чаще всего порты используются для обозначения внешних выводов на границах элементов (рис. 8), но могут располагаться и внутри элементов для обозначения внутренних цепей или областей, имена которых необходимо выделить при экстракции электрической схемы из топологии и последующем схемотехническом моделировании.

Для ввода порта необходимо:

- назначить активным слой, в котором предполагается разместить порт;
- щелкнуть левой кнопкой «мыши» на кнопке ;
- установить курсор «мыши» в точку, в которой будет располагаться один из углов порта, нажать левую кнопку и, удерживая ее нажатой, переместить курсор «мыши» в точку, в которой будет расположен диагонально противоположный угол порта, после чего отпустить левую кнопку⁵. При этом на экране монитора появится диалоговое окно, показанное на рис. 9;
- в появившемся диалоговом окне в поле «Port name» ввести имя порта латинскими символами без пробелов;
- в поле «Text size» ввести размер шрифта для отображения имени порта в единицах длины, установленных в текущем топологическом файле по команде Setup/Design;
- в полях «Coordinates» при необходимости исправить координаты диагонально расположенных углов порта «X1», «Y1», «X2», «Y2» в установленных единицах измерения;
- в поле «Text Alignment» выбрать расположение имени порта относительно его графического изображения (9 фиксированных положений);

⁵ Следует отметить, что помимо прямоугольной формы порт может быть создан в виде линии или точки.

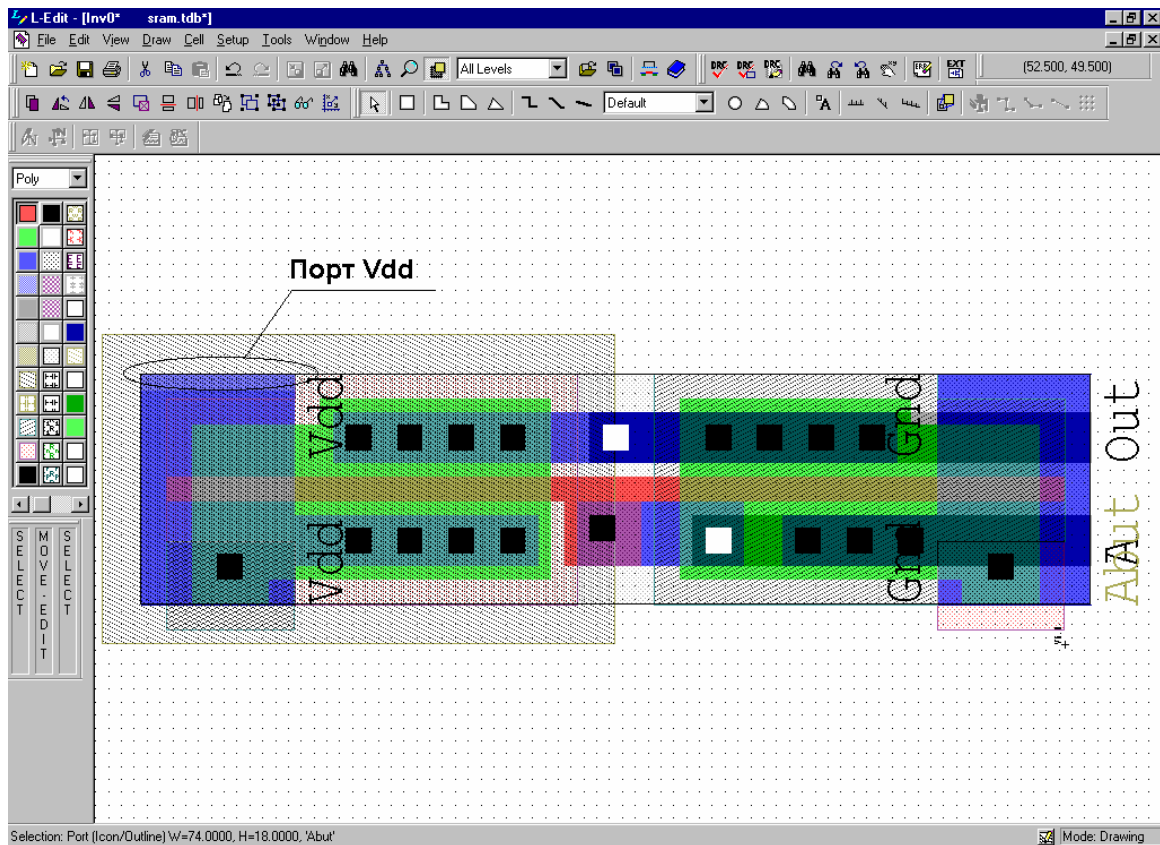


Рис. 8. Пример обозначения портов в топологическом редакторе L-Edit

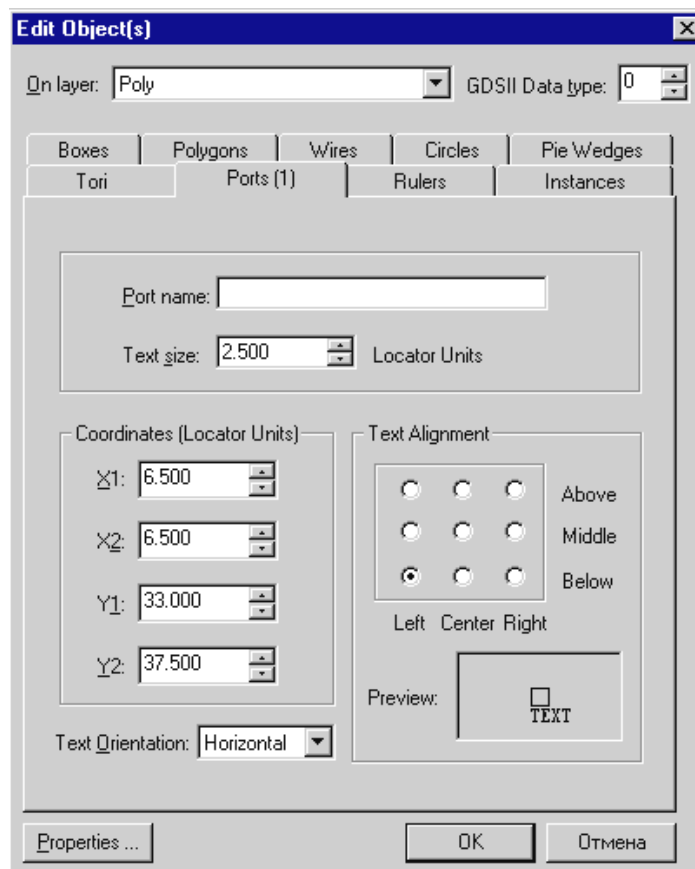



Рис. 9. Диалоговое окно ввода и редактирования портов

- в поле «Text Orientation» выбрать ориентацию отображения имени порта (Horizontal – горизонтальная или Vertical – вертикальная);
- при необходимости изменить слой порта, выбирая его из нисходящего списка в поле «On Layer»;
- щелкнуть левой кнопкой «мыши» на кнопке «ОК».

2.6. Редактирование объектов в топологическом редакторе L-Edit

Для редактирования ранее созданного объекта необходимо:

- щелкнуть левой кнопкой «мыши» на кнопке ;
- выделить редактируемый объект, наведя на него курсор «мыши» и щелкнуть левой кнопкой;
- нажать комбинацию клавиш Ctrl+E, в результате чего на экране появится диалоговое окно редактирования (см. рис. 9) с закладкой, соответствующей типу редактируемого объекта (прямоугольник, полигон, линия, круг и т.д.);
- в полях «Coordinates» исправить координаты точек построения объекта в установленных единицах измерения;
- при необходимости изменить слой объекта, выбирая его из нисходящего списка в поле «On Layer»;
- щелкнуть левой кнопкой «мыши» на кнопке «ОК».

Перемещение выделенного объекта осуществляется перемещением курсора манипулятора «мышь» при нажатой средней кнопке или нажатых левой кнопки и клавиши Alt.

Копирование выделенного объекта в буфер осуществляется командой Edit/Сору или комбинацией клавиш Ctrl+C.

Вставка объекта на поле редактирования топологии из буфера осуществляется командой Edit/Past или комбинацией клавиш Ctrl+V. Вставка осуществляется в центральную область поля редактирования, поэтому после вставки необходимо переместить объект в требуемую точку.

Для удаления объекта необходимо выделить его, после чего нажать клавишу Delete.

2.7. Создание иерархических элементов

Для создания элементов второго и более высоких уровней иерархии, содержащих ссылки на элементы более низких уровней, необходимо:

- нажать клавишу i, в результате чего на экране появится диалоговое окно, отображающее имя топологического файла и список всех его элементов⁶;
- навести курсор «мыши» на имя выбранного элемента из списка и два-


⁶ Элементы, использование которых в текущем элементе приведет к рекурсивной ссылке, автоматически помечаются красными крестиками как запрещенные.

жды щелкнуть левой кнопкой. При этом топология выбранного элемента появится в центре поля редактирования топологии;

- при необходимости переместить вставленный элемент с помощью средней кнопки «мыши» в заданную точку.

Следует отметить, что при такой процедуре создания иерархических элементов топологии элементов нижних уровней иерархии не дублируются и не занимают дополнительного объема памяти. Фактически задаются лишь ссылки на данные элементы, топология которых может быть отображена на экране полностью при установке «All Levels» в поле «Hierarchy Level», либо частично (не для всех уровней иерархии) при выборе других вариантов («1 Level», «2 Levels» и т.д.). Если топология элемента не выводится, на экране отображаются лишь аппроксимирующие прямоугольники элементов и порты.

2.8. Открытие топологических файлов и сохранение в форматах CIF и GDSII

Открытие топологического файла осуществляется командой File/Open или щелчком левой кнопки «мыши» на кнопке .

Для сохранения топологического файла в стандартных форматах CIF и GDSII необходимо:

- выполнить команду File/Export Mask Data. При этом на экране монитора появится соответствующее диалоговое окно (рис. 10);

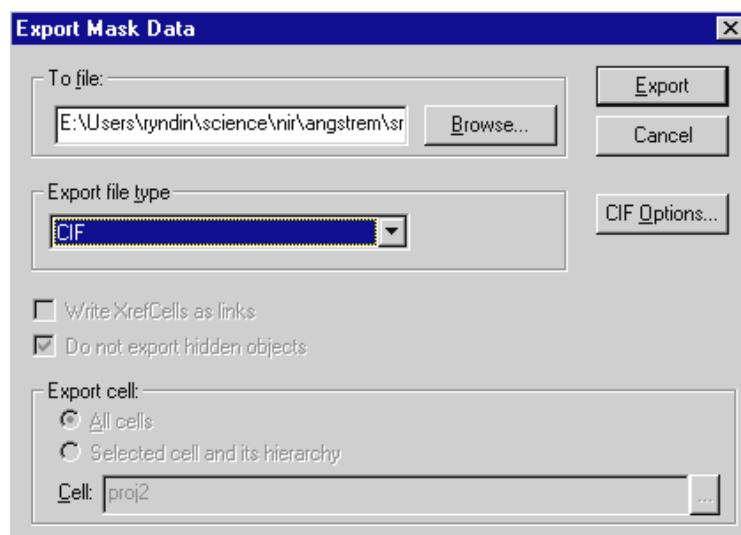



Рис. 10. Диалоговое окно экспорта в форматы CIF и GDSII

- в поле «Export File Type» выбрать один из форматов (CIF или GDSII) в ниспадающем списке;
- в поле «To File» указать имя (и полный путь) результирующего файла;
- щелкнуть левой кнопкой «мыши» на кнопке «Export».

Следует помнить, что экспорт будет успешно осуществлен лишь при ус-

ловии задания топологическим слоям, информацию о которых предполагается сохранить в форматах CIF или GDSII, соответствующих имен (для CIF) или номеров (для GDSII).

2.9. Просмотр поперечного сечения структур СБИС и микросистем

Просмотр поперечного сечения создаваемых структур СБИС и микросистем осуществляется с помощью команды Tools/Cross-Section или щелчком левой кнопки «мыши» на кнопке . При этом на экране появится диалоговое окно, приведенное на рис. 11 [2].

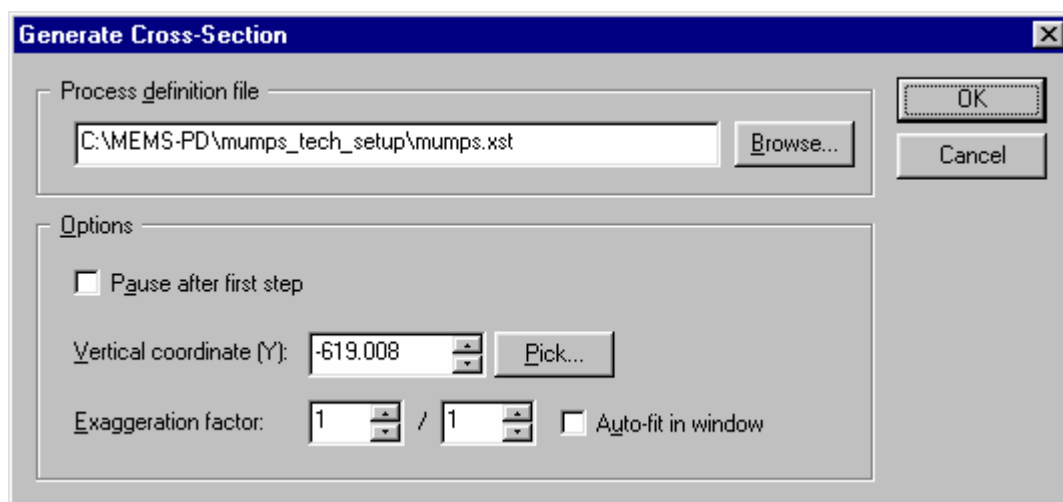


Рис. 11. Диалоговое окно команды Cross-Section

В разделе «Process definition file» окна команды Cross-Section необходимо ввести путь к файлу описания процесса изготовления с расширением *.xst.

Для включения паузы на первом шаге создания поперечного сечения необходимо левой кнопкой «мыши» щелкнуть на квадратике, расположенном слева в поле «Pause after first step» в разделе «Options». После выполнения этого действия в квадратике должна появиться галочка. Щелчок левой кнопкой «мыши» на квадратике с галочкой приводит к отключению выбранного правила проектирования.

В поле «Vertical coordinate (Y)» устанавливается вертикальная координата, вдоль которой необходимо создать поперечное сечение структуры. Для установки вертикальной координаты с помощью манипулятора «мышь» необходимо щелкнуть левой кнопкой «мыши» на клавише «Pick».

В поле «Exaggeration factor» устанавливается коэффициент увеличения поперечного сечения вдоль оси Z. Для включения автоматического увеличения, создаваемого поперечного сечения, необходимо левой кнопкой «мыши» щелкнуть на квадратике, расположенном слева в поле «Auto-fit in window». После выполнения этого действия в квадратике должна появиться галочка. Щелчок левой кнопкой «мыши» на квадратике с галочкой приводит к отключению вы-

бранного правила проектирования. При этом в поле «Exaggeration factor» необходимо установить необходимый коэффициент увеличения.

На рис. 12 приведено поперечное сечение микромеханического резонатора, созданное без использования команды «Auto-fit in window». На рис. 13 приведено поперечное сечение микромеханического резонатора, созданное с использованием команды «Auto-fit in window».

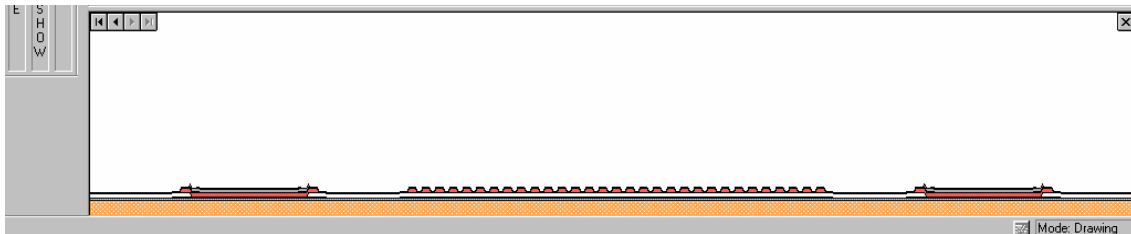


Рис. 12. Создание поперечного сечения без использования команды «Auto-fit in window»

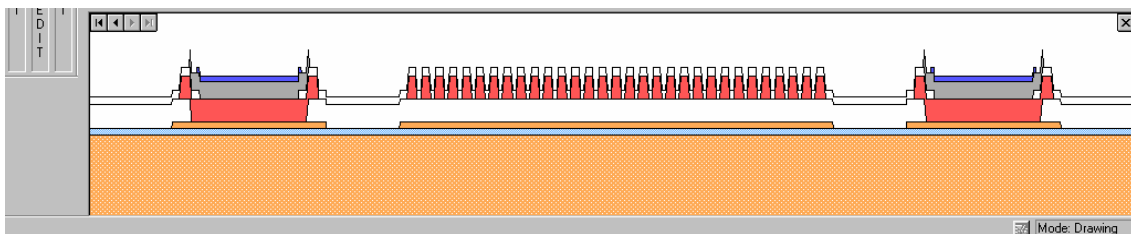






Рис. 13. Создание поперечного сечения с использованием команды «Auto-fit in window»

Для перехода между этапами процесса изготовления необходимо левой кнопкой «мыши» щелкнуть на одной из четырех клавиш:

-  – переход на первый этап;
-  – переход на предыдущий этап;
-  – переход на следующий этап;
-  – переход на последний этап.

На рис. 14 приведен файл описания процесса изготовления MUMPs [4].

Для описания процесса изготовления необходимо заполнить следующие графы:

- step – тип процесса:
 - gd – напыление/осаждение;
 - e – травление;
 - id – имплантация/диффузия;
- layer – название слоя. Вводятся только те слои, которые определены в файле топологии *.tdb;
- depth – толщина слоя;
- label – заполнять необязательно. Вводятся любые символы, заключенные в кавычки;
- angle – заполнять необязательно. Вводится угол наклона вертикальной

- грани к горизонтальной;
- comment – комментарии вводятся с символом # в начале каждой строки.

```

# File: mumps.xst
# For: Cross-section process definition file
# Vendor: MCNC
# Technology: MUMPS
# Technology Setup File: mumps.tdb unit=1um
# Copyright (c) 1997
# Tanner Research, Inc. All rights reserved
# *****
# L-Edit
#Step Layer Name Depth Label [Angle[offset]] Comment
#-----
gd substrate 7 - # 1. Deposit Substrate
gd nitride .6 - # 2. Deposit Nitride
gd "Poly0" .5 - # 4. Deposit Poly0
e "Not Poly0" .5 - 70 # 5. Pattern Poly0
gd ox1 2 - # 6. Deposit First Oxide
e "Dimple" .75 - 70 # 7. Pattern dimple
e "Anchor1" 2 - 70 # 8. Contact of Poly1 to substrate
gd "Poly1" 2 - # 9. Deposit Poly1
e "Not Poly1" 2 - 70 # 9a. Pattern Poly1
gd ox2 .75 - # 11. Deposit Second Oxide
e "Poly1-Poly2 Via" .75 - 70 # 12. Contact of Poly1 to Poly2
e "Anchor2" 2.75 - 70 # 13. Contact of Poly2 to substrate
gd "Poly2" 1.5 - # 14. Deposit Poly2
e "Not Poly2" 1.5 - 70 # 15. Pattern Poly2
gd "Metal" .52 - # 16. Deposit Metal
e "Not Metal" .52 - 70 # 17. Pattern Metal

```

Рис. 14. Файл описания процесса изготовления MUMPs

Для закрытия окна поперечного сечения необходимо левой кнопкой «мыши» щелкнуть на клавише .

3. АВТОМАТИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ ТОПОЛОГИИ НА ОСНОВЕ СТРУКТУРНОЙ СХЕМЫ ПРОЕКТА В ФОРМАТЕ EDIF

3.1. Особенности использования EDIF-формата в редакторе L-Edit

Редактор топологии L-Edit, являющийся составной частью САПР Tanner Pro, позволяет производить синтез топологии на основе списка связей проекта в формате EDIF version 2 0 0, EDIF level 0, keyword level 0: (edifLevel 0), (keywordLevel 0) и (viewType NETLIST). Причем все другие типы параметра view игнорируются [2].

Синтаксический анализатор списка связей имеет ограничение на количество меток в файле: должно быть не более одной метки netlist view на один список связей (файл). Если список связей содержит более одной метки netlist

view, то L-Edit предупредит пользователя и проигнорирует следующие за первой меткой netlist view.

Все свойства ячеек транслируются в соответствующие экземпляры ячеек. Свойства, не связанные с меткой списка netlist view, будут проигнорированы. L-Edit поддерживает использование свойств, касающихся именования и позиционирования ячеек типа «контактная площадка» (КП, pad) и внешних входных/выходных (I/O) сигналов. Если файл EDIF содержит свойства КП (pad properties) и I/O сигналы, то будут рассматриваться только свойства КП. L-Edit обеспечивает опционные предупреждения в тех случаях, когда оба типа свойств появляются в списке связей. Предупреждения отключаются пунктом меню Setup > Application > Warnings.

Синтаксический анализатор также имеет ограничение количества проектов в файле: один проект (design designname (...)) – для одного EDIF файла.

Внешние библиотечные EDIF-определения (external(...)) – обрабатываются так же, как и нормальные библиотечные EDIF-определения (library(...)). Кроме того синтаксический анализатор рассматривает библиотечную информацию, присутствующую только в текущем EDIF файле.

Таблица отображений имен выводов элементов генерируется программой в том случае, если имена ячеек и портов в EDIF файле отличаются от библиотечных. При несовпадении имен ячеек и портов в EDIF файле и библиотеке стандартных ячеек (standard cell library), модуль L-Edit автоматически открывает диалоговое окно Mapping Table для назначения соответствия имен выводов используемых элементов. Пользователь может открыть это диалоговое окно через окна SPR Setup или BPR Initialization. Информация об отображении имен выводов ячеек сохраняется в TDB файле.

3.2. Основные положения EDIF-формата

Файл EDIF должен соответствовать следующим положениям и правилам:

- компонент (ячейка, порт) в EDIF файле должен быть полностью определен до его использования;
- если интерфейс ячейки в EDIF файле содержит порты, которые нигде не подключены, то во время процесса назначения/отображения (mapping) их можно специфицировать как не используемые (“not used”);
- все сигналы, которые трассируются в ядре и между ядром и рамкой внешних выводов кристалла, должны быть описаны в списке связей, за исключением соединений VDD и GND от ядра к КП;
- КП питания и земли не обязательно включать в список связей. Если их нет в списке связей, L-Edit ставит их автоматически;
- используемый диапазон целых чисел $-2^{31} + 1 \leq x \leq 2^{31} - 1$ (32-битное знаковое целое (integer); вещественные числа в диапазоне –

$1 \times 10^{35} \leq y \leq 1 \times 10^{35}$; длина строковой переменной ограничивается 256 символами; длина строки ограничивается 512 символами;

- массив (array (...)) при его определении должен ограничиваться одно- и двумерными типами;
- идентификаторы EDIF состоят из алфавитно-цифровых символов и символа подчеркивания «_». Если первый символ идентификатора не является буквой, перед его именем должен стоять знак &. То есть именем идентификатора не может быть просто число или цифра. Знак &, стоящий впереди имени идентификатора, будет игнорироваться. Регистр символов не имеет значения. Например, &Nand2, Nand2 и nand2 представляют одно и то же имя.

Приведенные ниже фрагменты EDIF-описания содержат КП (pad cells), I/O сигналы и критические цепи.

```
(edif bargraph
(edifVersion 2 0 0)
(edifLevel 0)
(keywordMap (keywordLevel 0))
(status
(written
(timestamp 1998 11 01 07 5 00)
(program "S- Edit" (version "Version 2.06"))))
(library bargraph_top
(edifLevel 0)
(technology (numberDefinition (scale 1 (E 1 -12) (unit CAPACITANCE))))
(cell bargraph_top
(cellType GENERIC)
(status
:
(view view_1
(viewType NETLIST)
(interface
(port CLB (comment "I/ O Signal")
(property PIN_LOCATION (string "L2"))
(direction INPUT))
:
(instance PadInC_1
(viewRef view_1 (cellRef PadInC))
(portInstance DataIn)
(portInstance DataInB)
:
(property PAD (string "L1")) (comment "Pad")
:
(net N54
(joined
```



```

(portRef DataInB (instanceRef PadInC_ 5))
:
)
(criticality 100) (comment "Net criticality")
)
(net N55
(joined
(portRef ClB) (comment "Reference to an I/ O Signal")
:
)
)
:
)
))
)
(design ROOT
(cellRef bargraph_top
(libraryRef bargraph_top)))
)

```

Как уже говорилось, если КП и I/O сигналы включены в список связей, то КП будут иметь более высокий приоритет перед I/O сигналами.

3.3. Свойства контактных площадок (Pads)

Ячейки Pad (КП) определяются свойством PAD с определенным значением (одна буква и число либо только число) в экземпляре ячейки (instance). Поддерживается следующий формат:

```

(property PAD (string "L1")) или
(property PAD (string "1"))

```

Значение свойства определяет позицию ячейки, считая против часовой стрелки. В приведенном примере КП займет позицию в левом верхнем углу рамки выводов кристалла, содержащей КП. Стороны рамки помечаются буквами: L (left), B (bottom), R (right) и T (top). Числа, следующие за буквой, определяют позицию КП на указанной стороне. Если значение свойства не имеет буквы, а только положительное число, то позиция определяется против часовой стрелки, начиная с левой верхней позиции рамки выводов кристалла. Другими словами значение “L1” эквивалентно значению “1”. Во избежание неоднозначности рекомендуется использовать только один выбранный формат записи значений. КП не имеющие значений свойств, например (property PAD (string "")), при синтезе кристалла будут равномерно распределены по рамке выводов.

3.4. Свойства входных/выходных сигналов (I/O signals)

Если пользователь намерен сгенерировать ядро на основе библиотечных стандартных элементов (SPR), то нет необходимости явно определять КП-

ячейки. В этом случае порты, назначенные левой верхней ячейке в EDIF, могут быть назначены I/O сигналам, выходящим из ядра. Внешние I/O сигналы будут рассматриваться транслятором, только если список связей не содержит КП, иначе они будут проигнорированы. Для определения I/O сигналов существуют ключевые слова интерфейса (interface, port и др). Когда происходит чтение списка связей, то используются I/O сигналы, заданные в секции интерфейса EDIF-описания.

Для инициализации I/O сигналов ядра используется диалоговое окно SPR>Setup>Core Setup - I/O Signals. С его помощью пользователь может поменять расположение внешних сигналов проекта. В большинстве схемных редакторов, когда пользователь определяет выводы и порты для схемы или символа, то они, как правило, являются I/O сигналами. Следующий пример показывает применение I/O сигнала CLK:

```
(interface
(port CLK
(direction INPUT)
```

В данном примере нет задания позиции выводу, поэтому, в этом случае, во время процедуры размещения элементов сигнал CLK будет распределен равномерно по отношению к другим I/O сигналам вокруг ядра. Точные позиции I/O сигналов могут быть заданы в диалоговом окне SPR Core Setup - I/O Signals.

Позиция порта I/O сигнала может быть задана в самом EDIF файле:

```
(interface
(port CLK
(direction INPUT)
(property PIN_ LOCATION (string "L2"))
)
```

В этом примере I/O сигнал CLK будет помещен во вторую позицию (сверху вниз) на левой стороне ядра. Свойство PIN_ LOCATION со значениями 1, 2, ... или L1, L2, ..., B1, ... , R1, ..., T1... задает относительные позиции I/O сигналов вокруг ядра против часовой стрелки.

3.5. Критические цепи

Критические цепи задаются путем использования конструкций EDIF-описания и учитываются во время оптимизации размещения ячеек. Критичность цепи выражается целым числом, определяющим приоритет ее размещения. Это число может быть и положительным, и отрицательным. Цепи с неуказанными значениями приоритета имеют критичность, равную нулю. Задание критичности цепей во время размещения основывается на двух допущениях:

а) числовое значение критичности описывает относительную важность данной цепи по отношению к другим;

б) значения критичности цепей внутренне масштабируются в соответствии с наибольшим введенным значением. Например, если только одна цепь А имеет заданную критичность, то любое ее числовое значение приводит к одно-

му о тому же результату.

3.6. Синтез топологии

Порядок действий для размещения и трассировки библиотечных стандартных элементов на кристалле СБИС (модуль L-Edit/SPR):

1) сформировать схему проекта в любой подсистеме синтеза структурного описания в формате EDIF version 2 0 0, EDIF level 0, keywordLevel 0, viewType NETLIST;

2) в графической оболочке L-Edit выбрать пункт меню File > New для создания нового пользовательского проекта (топологии);

3) импортировать технологические параметры проекта (technology setup) из используемой библиотеки элементов. Для этого следует ввести путь и имя библиотеки в поле Copy TDB setup from file диалогового окна New File (рис. 15);

4) выбрать пункт меню File > Save для задания имени и сохранения пользовательского проектного файла;

5) выбрать пункт меню Tools > SPR > Setup. В появившемся диалоговом окне SPR Setup задать имена библиотеки стандартных элементов и файла структуры. Задать имена портов питания и земли схемы проекта (эти имена должны совпадать с именами портов питания и земли стандартных элементов) (рис. 16);

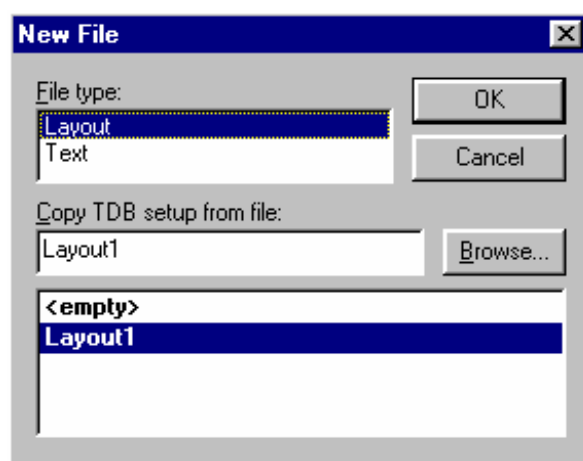


Рис. 15. Диалоговое окно создания нового проекта

6) для чтения структуры из файла щелкнуть на кнопке Initialize Setup. При этом появятся диалоговые окна со следующей информацией: критические цепи (critical nets), внешние входные/выходные сигналы (I/O signals), топология рамки внешних сигналов кристалла, трассировка соединений ядра и контактной рамки;

7) нажатие на кнопках Core Setup, Padframe Setup и Pad Route Setup активизирует соответствующие диалоговые окна для задания параметров размещения и трассировки элементов ядра, генерации контактной рамки и трасси-

ровки области, лежащей между ядром и контактной рамкой, соответственно;

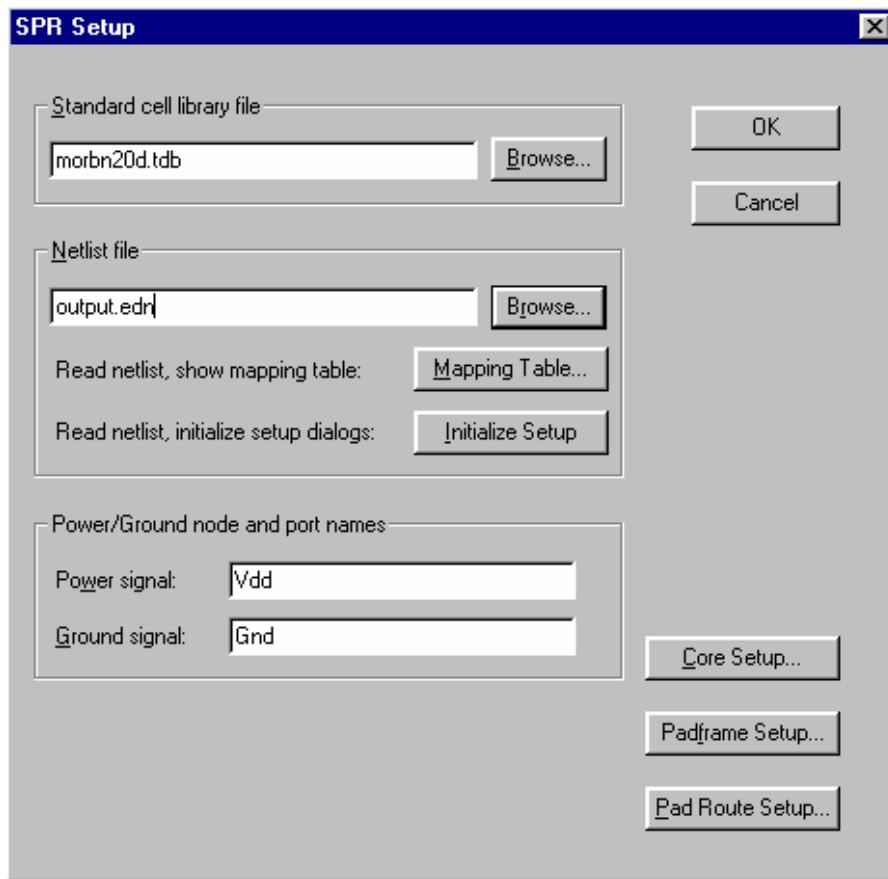


Рис. 16. Диалоговое окно для задания общих параметров синтеза топологии

8) выбрать пункт меню Tools > SPR > Place and Route. В зависимости от требований проекта активизируйте или деактивируйте опцию Global input signal routing (для глобальных входных сигналов необходимо, чтобы в стандартных элементах присутствовали специальные сигнальные шины) (рис. 17);

9) выберите форму ядра. Например, если необходимо получить квадратную форму ядра, то выбрать параметр Square. Включить или отключить оптимизацию размещения и трассировки. Задать выходные опции, например генерации файлов, содержащих узловые емкости и задержки в цепях (в формате SDF);

10) запустить процесс синтеза топологии кнопкой Run;

11) когда закончится синтез, откроется окно SPR Complete со статистической информацией о проекте (рис. 18). Можно использовать пункт меню Tools > SPR > Summary для отображения параметров проекта;

12) провести верификацию проекта, используя L-Edit/DRC и L-Edit/Extract;

13) сохранить топологию проекта в формате GDSII или CIF.

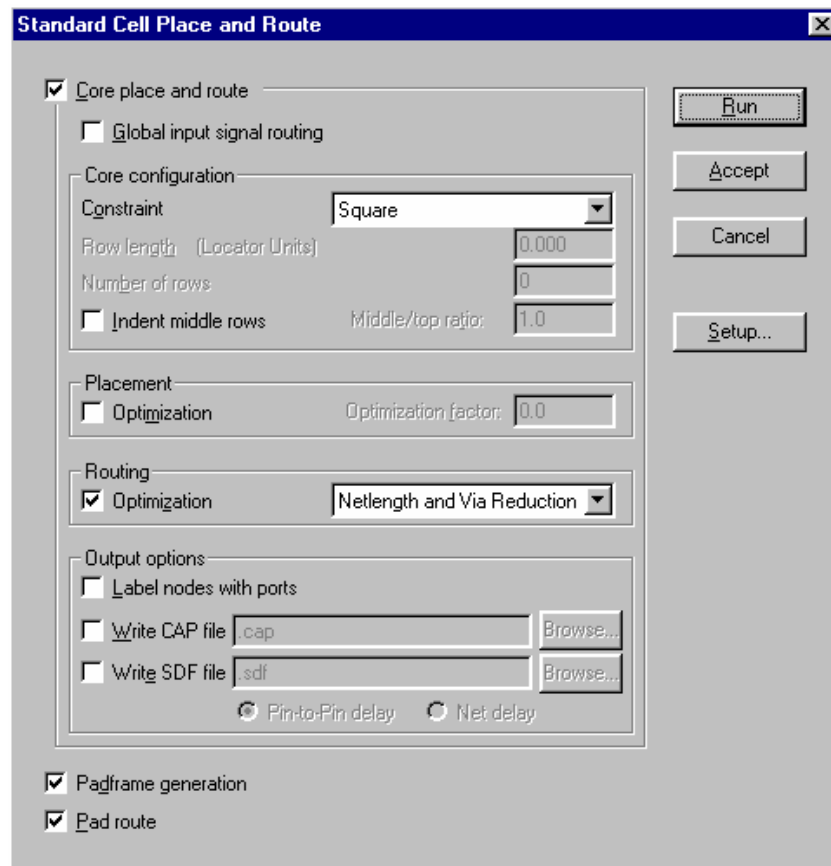


Рис. 17. Диалоговое окно для задания топологических параметров синтеза

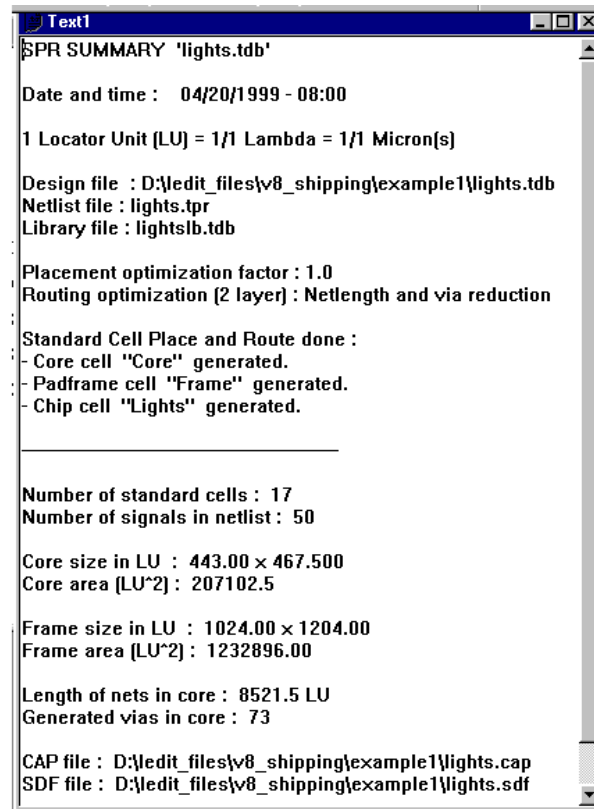



Рис. 18. Информация о синтезированной топологии блока

4. ПРОВЕРКА ПРАВИЛ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТОПОЛОГИИ

Правила проектирования топологии СБИС и микросистем определяют минимальные допустимые значения размеров, перекрытий и интервалов между графическими примитивами (объектами), созданными в различных слоях. Численное значение каждого правила проектирования, как и его наличие, определяется технологией изготовления проектируемого устройства.

4.1. Создание и сохранение правил проектирования

Для создания набора правил проектирования в выбранном топологическом файле, необходимо щелкнуть левой кнопкой «мыши» на кнопке . При этом на экране появится диалоговое окно, приведенное на рис. 19.

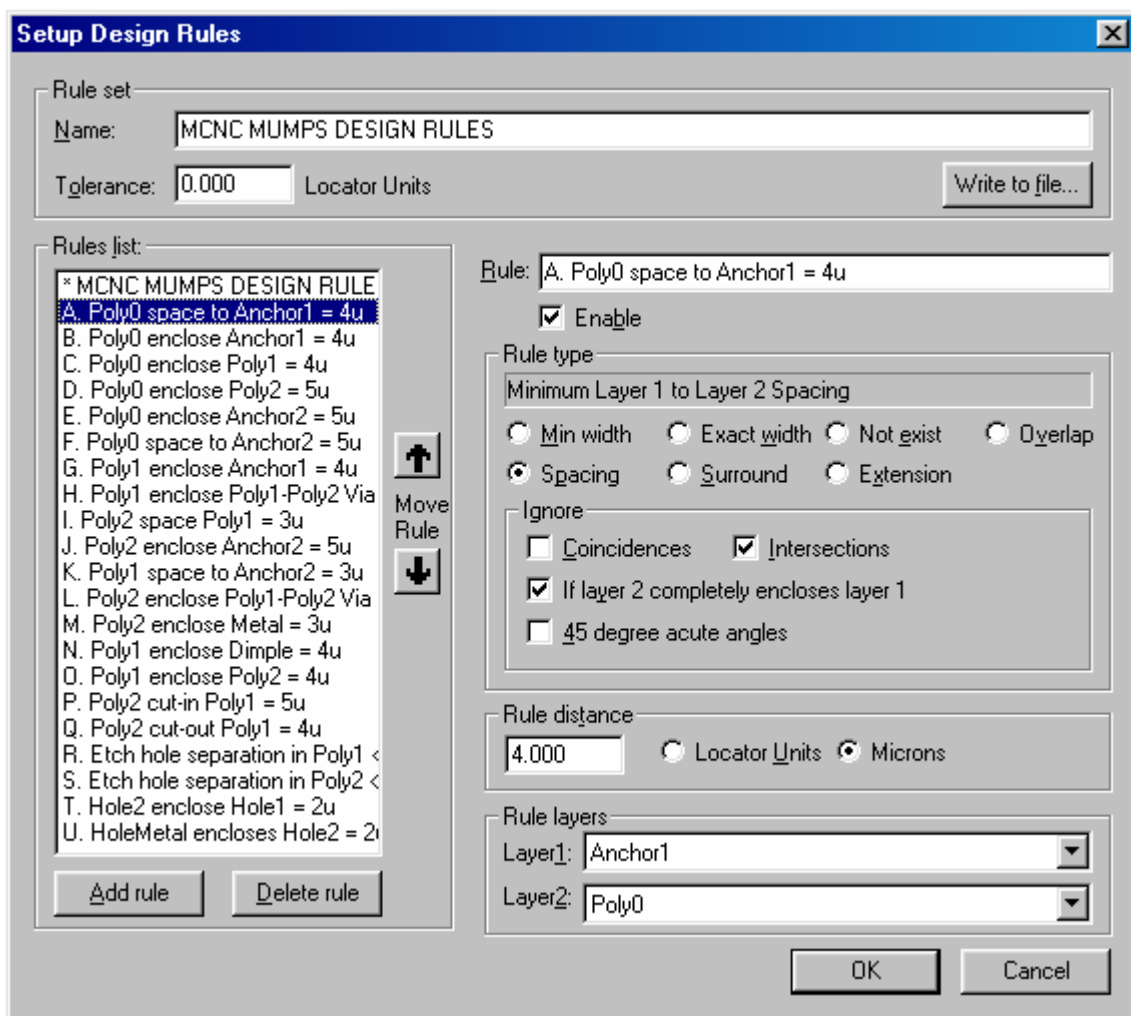


Рис. 19. Диалоговое окно *Setup Design Rules*

В разделе «Rule set» окна *Setup Design Rules* в поле «Name» указывается общее название создаваемого набора правил проектирования. В поле «Tolerance» указывается общий допуск для всех правил набора, который вместе

с численным значением каждого правила проектирования определяет точность проверки топологии (численное значение \pm допуск). Для прямоугольных объектов рекомендуется использовать нулевой допуск, а для графических примитивов с углом $45^\circ - 5$ внутренних единиц.

В разделе «Rule list» окна Setup Design Rules отображается список созданных правил проектирования. Для ввода нового правила проектирования в создаваемый или корректируемый набор, необходимо левой кнопкой «мыши» щелкнуть на клавише «Add rule» и в поле «Rule» ввести имя создаваемого правила. Для удаления правила из набора необходимо левой кнопкой «мыши» выбрать его, а затем щелкнуть на кнопке «Delete rule». Правило проектирования можно перемещать в наборе вверх-вниз с помощью клавиш «Move Rule».

Для использования какого-либо правила проектирования при проверке топологии необходимо левой кнопкой «мыши» выбрать его в разделе «Rules list» и щелкнуть на квадратике, расположенном слева в поле «Enable». После выполнения этого действия в квадратике должна появиться галочка. Щелчок левой кнопкой «мыши» на квадратике с галочкой приводит к отключению выбранного правила проектирования.

В разделе «Rule type» окна Setup Design Rules выбирает тип правила проектирования. Топологический редактор L-Edit поддерживает семь типов правил проектирования топологии:

- min width (минимальная ширина) – определяет минимальную ширину всех объектов в любом направлении, созданных в выбранном слое;
- exact width (точная ширина) – определяет точную ширину всех объектов, созданных в выбранном слое. Ширина восьмиугольников определяется между противоположными сторонами;
- not exist (не существующий) – данное правило говорит, что ни один объект не может быть создан в выбранном слое. Данное правило проектирования, в отличие от других, не задает никаких численных значений;
- spacing (интервал) – определяет минимальное расстояние между двумя объектами, созданных в одном или двух разных слоях;
- surround (окружение) – определяет минимальное расстояние между границами одного объекта, созданного в одном слое, и границами другого объекта описывающего первый и созданного в другом слое;
- overlap (перекрытие) – определяет минимальное расстояние частичного перекрытия двух объектов, созданных в разных слоях;
- extension (расширение) – определяет минимальное расстояние от границы одного объекта, созданного в одном слое, до границы другого объекта, включенного в первый, и созданного в другом слое.

Выбор того или иного типа правил проектирования производится щелчком левой кнопки «мыши» на окошке слева от каждого названия типов. После выполнения этого действия в кружочке должна появиться точка.

В разделе «Ignore» окна Setup Design Rules выбираются опции, которые не рассматриваются как нарушение данного правила проектирования при проверке топологии:

- Coincidences – точное совпадение;
- Intersection – пересечение;
- If layer 2 completely encloses layer 1 – если слой 2 полностью находится вне слоя 1;
- 45 degree acute angles – графические примитивы с углом 45° .

В разделе «Rule distance» окна Setup Design Rules задается численное значение правила проектирования, измеряемое либо во внутренних единицах, либо в микрометрах.

В разделе «Rule layers» окна Setup Design Rules выбирают слои используемые в данном правиле проектирования. Для правил типов Min width, Exact width и Not exist задается только один слой, а для всех остальных типов – два слоя.

Для сохранения правил проектирования необходимо левой кнопкой «мыши» щелкнуть на клавише «ОК». Созданный набор правил будет сохранен в файле топологии.

Для записи правил проектирования в файл необходимо левой кнопкой «мыши» щелкнуть на клавише «Write to file...» окна Setup Design Rules. При этом на экране появится диалоговое окно, приведенное на рис. 20.

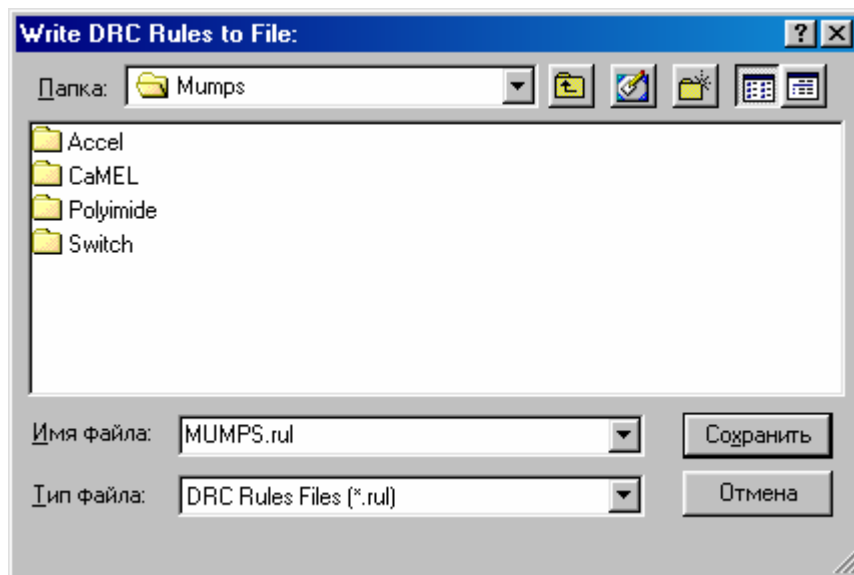




Рис. 20. Диалоговое окно команды Write to file окна Setup Design Rules

В данном окне необходимо с помощью манипулятора «мышь» выбрать каталог для сохранения файла правил проектирования, в поле «Имя файла» ввести новое имя (по умолчанию предлагается имя «имя файла топологии».rul), после чего активизировать кнопку «Сохранить».

4.2. Запуск процедуры проверки правил проектирования топологии

Запуск процедуры проверки правил проектирования всей топологии устройства осуществляется с помощью команды Tools/DRC или щелчком левой кнопки «мыши» на кнопке . Проверка правил проектирования отдельного участка топологии осуществляется с помощью команды Tools/DRC Box или щелчком левой кнопки «мыши» на кнопке . При этом с помощью левой кнопки «мыши» осуществляется выделение проверяемого участка топологии. В обоих случаях на экране появляется диалоговое окно, приведенное на рис. 21.

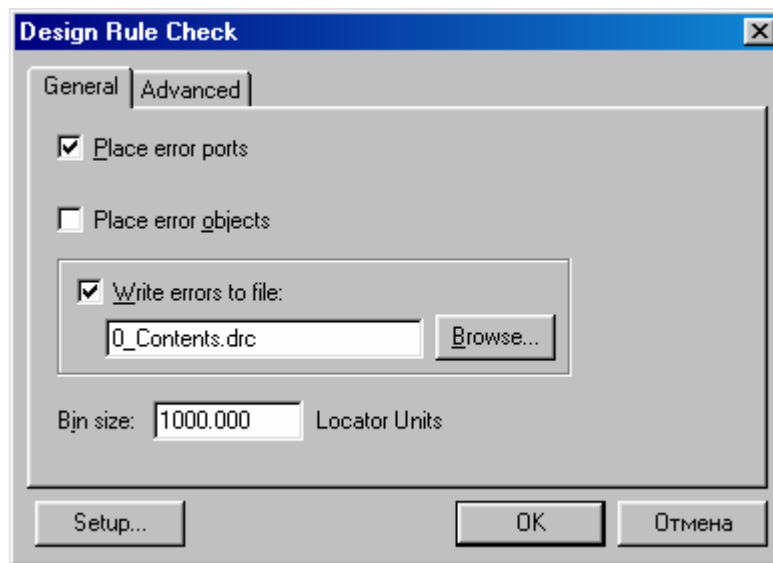


Рис. 21. Диалоговое окно команды DRC с закладкой «General»

Для отображения названий нарушенных правил проектирования с указанием их численных значений в сравнении с текущим значением неверного параметра, необходимо левой кнопкой «мыши» щелкнуть на квадратике, расположенном слева в поле «Place error ports» закладки «General». После выполнения этого действия в квадратике должна появиться галочка. Щелчок левой кнопкой «мыши» на квадратике с галочкой приводит к отключению.

Для отображения только места нарушения правил проектирования, необходимо левой кнопкой «мыши» щелкнуть на квадратике, расположенном слева в поле «Place error objects» закладки «General». После выполнения этого действия в квадратике должна появиться галочка. Щелчок левой кнопкой «мыши» на квадратике с галочкой приводит к отключению.

Для записи нарушений, возникающих при проверке правил проектирования, необходимо щелкнуть левой кнопкой «мыши» на квадратике, расположенном слева в поле «Write errors to file» закладки «General». После выполнения этого действия в квадратике должна появиться галочка. Щелчок левой кнопкой «мыши» на квадратике с галочкой приводит к отключению. В поле «Write errors to file» необходимо ввести имя (по умолчанию предлагается имя

«0_Contents.drc»), после чего активизировать кнопку «Browse». При этом появится окно «Save as», в котором необходимо выбрать каталог для сохранения файла, после чего активизировать кнопку «Сохранить».

При активации кнопки «Setup» запускается диалоговое окно Setup Design Rules (см. рис. 19).

Для запуска процедуры проверки правил проектирования необходимо активизировать кнопку «OK». Для отмены процедуры проверки необходимо щелкнуть левой кнопкой «мыши» на клавише «Отмена».

На рис. 22 приведен пример проверки соответствия микромеханической консольной балки правилам проектирования технологии MUMPS ver. 4.0.

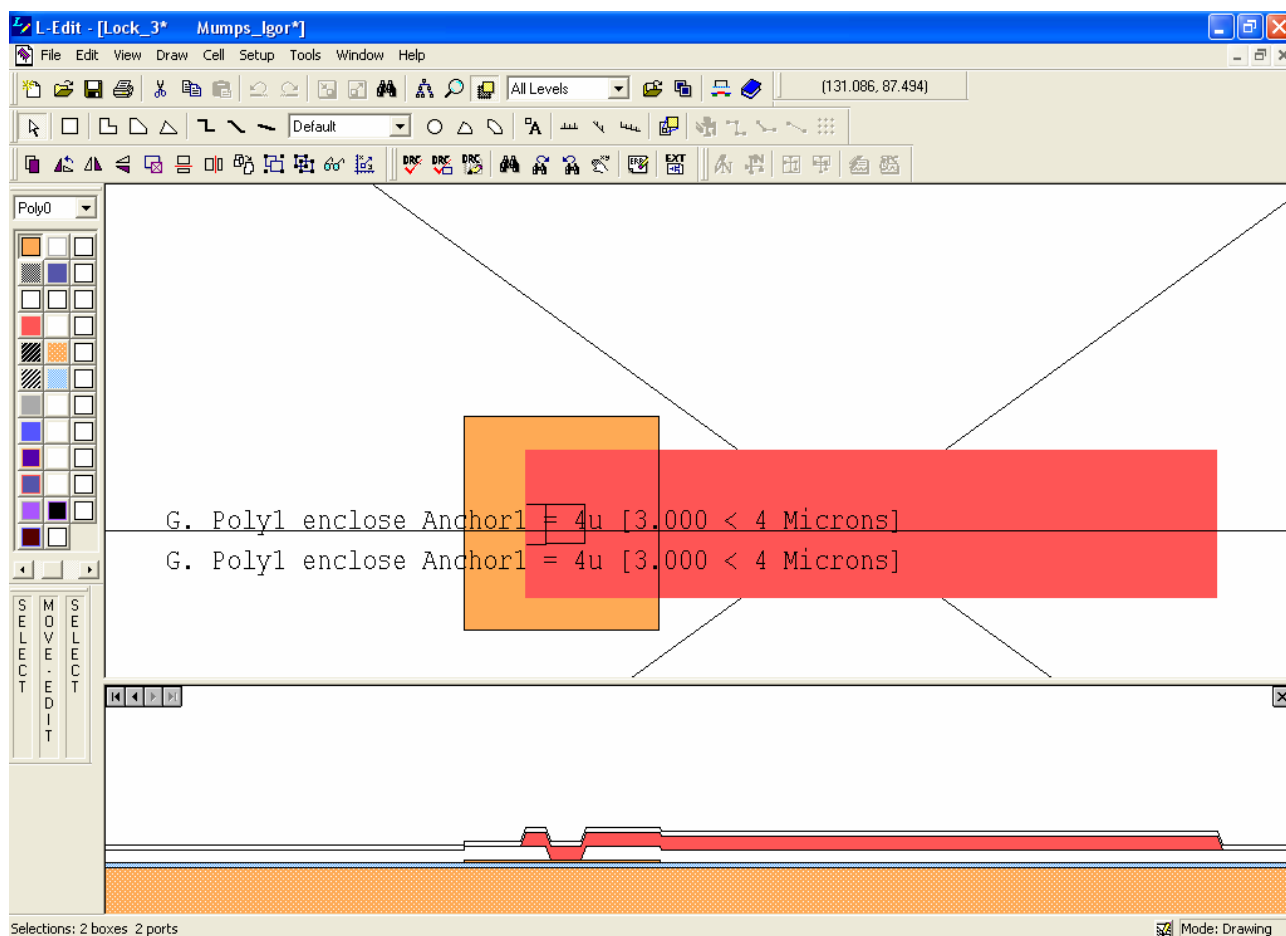


Рис. 22. Пример проверки правил проектирования

Как видно из рис. 22, при создании топологии консольной балки было нарушено правило проектирования типа Surround – расстояние между границами слоя Anchor1 и описывающего его слоя Poly1 (3 мкм) меньше численного значения текущего правила (4 мкм).

В случае отсутствия нарушений правил проектирования выводится сообщение:

No DRC errors found.

5. ЭКСТРАКЦИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СХЕМЫ ПРОЕКТА ИЗ ТОПОЛОГИИ

5.1. Общие сведения

Экстракция необходима для верификации синтезированной топологии, т.е. для проверки эквивалентности исходной электрической схемы проекта и схемы, описывающей топологию. В процессе экстракции формируется список связей активных и пассивных элементов в текстовом формате для программ моделирования и сравнения электрических схем.

Программа L-Edit позволяет выполнить:

- распознавание в топологическом рисунке активных элементов (биполярные транзисторы, диоды, МОП-транзисторы и др.), пассивных элементов (емкости, резисторы и индуктивности), а также составных элементов (подсхем);
- экстракцию схемы из топологии для любого технологического процесса;
- автоматическое определение параметров элементов, таких как сопротивление, емкость, длина и ширина канала транзистора и др.
- формирование файла списка связей экстрагированной схемы в формате Berkeley 2G6 SPICE, который кратко называется SPICE-формат.

Полученный SPICE-файл схемы может быть использован для схемотехнического аналогового моделирования в программе T-Spice или для сравнения с исходной схемой в программе LVS.

5.2. Настройка параметров экстракции

Процесс экстракции выполняется на основе файла с описанием правил распознавания активных и пассивных элементов. Файл описания правил экстракции (расознавания элементов) (ОПЭ) имеет расширение .ext.

При формировании схемы, кроме элементов (транзисторов, резисторов, конденсаторов, диодов и др.), также распознаются межэлементные соединения и межслойные контакты (например, электрические контакты между поликремнием и 1-м слоем металла и т.п.). Файл ОПЭ должен содержать правила распознавания соединений. В результирующей схеме межэлементные соединения и межслойные контакты присутствуют в виде аналогов с паразитными параметрами. То есть каждая линия связи имеет паразитные сопротивления и емкость (индуктивность не учитывается), которые позволяют приблизить результаты моделирования к реальному поведению проекта.

Для описания правил экстракции часто бывает необходимо использовать генерируемые слои, т.е. абстрактные слои, создающиеся на основе топологических слоев, путем применения логических операций (И, ИЛИ, НЕ).

Для того, чтобы правильно экстрагировались паразитные параметры элементов и соединений необходимо задать для каждого топологического слоя

три константы:

- емкость плоскости слоя ($a\Phi/\text{мкм}^2$);
- краевая емкость слоя ($f\Phi/\text{мкм}^2$);
- сопротивление слоя ($\text{Ом}/\square$).

При экстракции из топологического рисунка рассматриваются только многоугольники с углами кратными 45° , другие многоугольники и окружности игнорируются.

Файл ОПЭ содержит список описаний соединений и элементов, которые должны быть экстрагированы. В директории L-Edit Pro\tech\mosis содержатся файлы ОПЭ для различных технологических процессов. Описание формата файлов ОПЭ можно найти в справочной системе L-Edit (документ L-Edit User Guide).

5.3. Автоматическое формирование имен

Имена внутренних узлов схемы могут быть сформированы в виде чисел или набора символов (строк). В качестве внешних портов схемы могут быть использованы узлы или имена элементов в списке связей. Имена формируются в виде иерархических названий с разделением значком (/). Например, имя U1/alpha/in описывает порт in, содержащийся в компоненте alpha, который является частью блока U1.

5.4. Запуск процесса экстракции

Чтобы начать экстракцию из топологии текущего (открытого) элемента необходимо выбрать пункт меню Tools > Extract. На экране появится диалоговое окно "Extract" (рис. 23).

На данном окне представлены три вкладки:

- "General" – для задания имен входного (ОПЭ) и выходного (SPICE) файлов;
- "Output" – для задания параметров формирования списка связей;
- "Subcircuit" – для задания параметров экстракции подсхем.

Запуск процесса экстракции осуществляется щелчком левой кнопки «мыши» на кнопке "Run". Кнопка "Ассерт" позволяет сохранить текущие параметры без запуска экстракции.

Вкладка "General" содержит поля:

- "Extract definition file" – для задания пути и имени файла ОПЭ с расширением ext;
- "SPICE extract output file" – для задания пути и имени файла описания экстрагированной схемы в SPICE-формате с расширением spc;
- "Label all devices" – позволяет маркировать элементы на топологии, путем создания прямоугольных областей (портов) на местах расположения этих элементов с соответствующими именами. Группа выбора "Place device labels on layer" определяет на каком слое следует рас-

- полагать маркирующие порты;
- "Bin size" – длина стороны одного анализируемого квадрата во внутренних единицах. Для увеличения скорости экстракции L-Edit делит весь топологический рисунок на определенное число квадратов и производит их отдельный последовательный анализ. Элементы, попавшие на границы квадратов, экстрагируются отдельно.

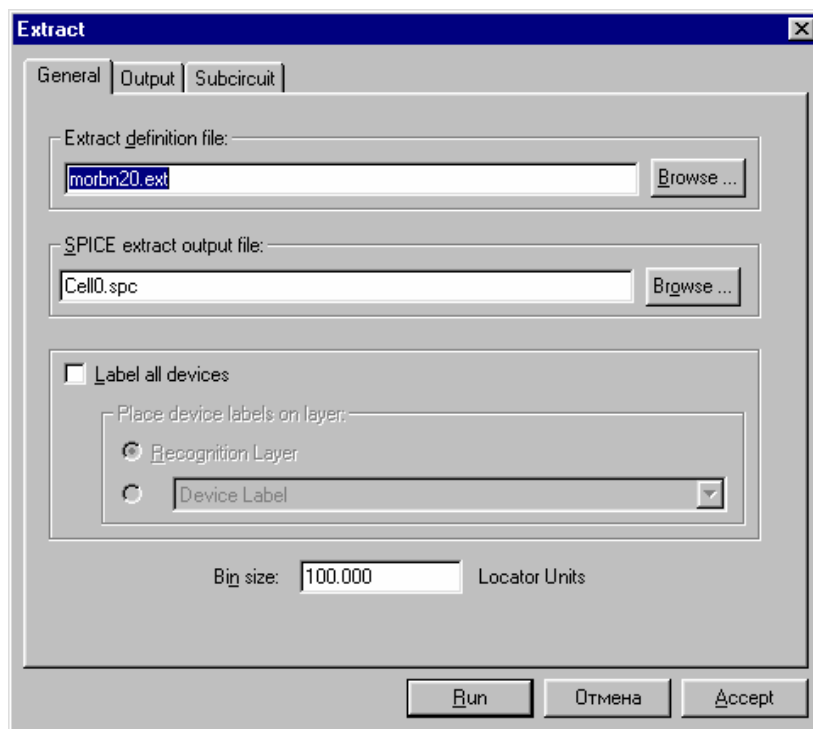


Рис. 23. Диалоговое окно задания параметров экстракции (вкладка General)

Вкладка "Output" (рис. 24) содержит поля:

- "Write node names" – запись имен узлов в список связей (в виде комментариев);
- "Write device coordinates (Locator Units)" – запись имен элементов, имен их выводов и координат ограничивающего прямоугольника в виде комментариев;
- "Write shorted devices" – запись "закороченных" элементов в виде комментариев. "Закороченные" элементы игнорируются при моделировании;
- "Write layer capacitance and resistance warnings" – запись предупреждений об ошибках определения паразитных емкостей и сопротивлений;
- "Write nodes and devices as" – запись имен узлов и элементов как числа (Integers) или как строки (Names). Порты, расположенные на топологии, могут быть использованы как имена узлов или элементов в списке связей;
- "Write values in scientific notation" – запись числовых значений в экспоненциальной или обычной форме;

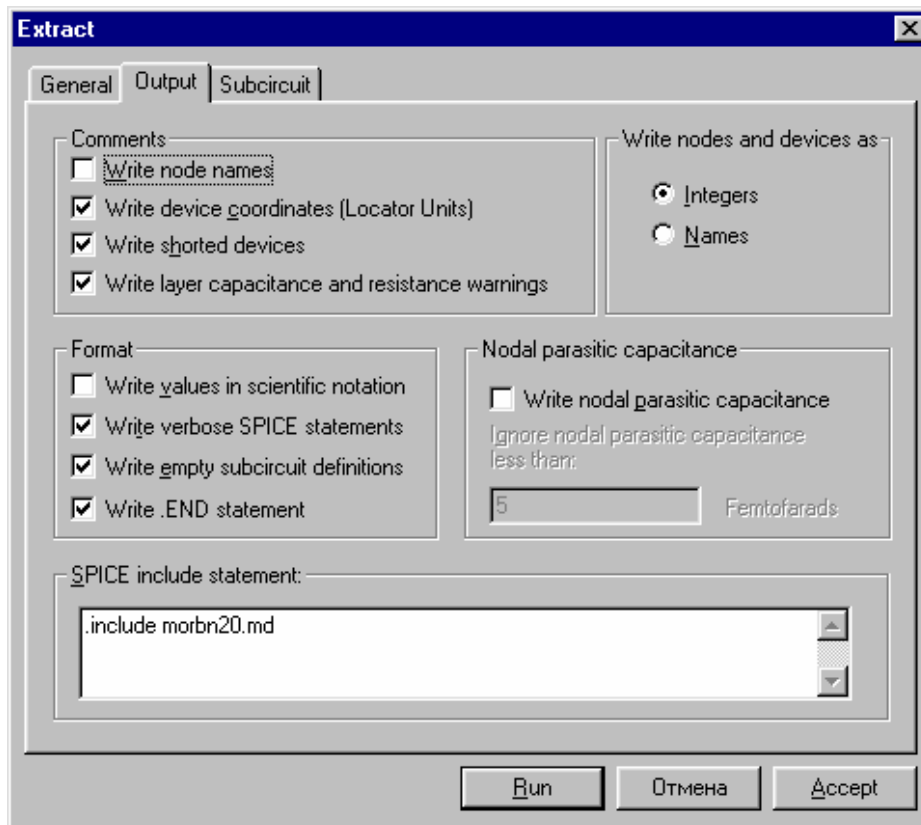


Рис. 24. Диалоговое окно задания параметров экстракции (вкладка Output)

- "Write verbose SPICE statements" – запись резисторов, индуктивностей и емкостей в файл списка связей с соответствующими значениями R=, L= или C=. Например, запись емкости будет иметь следующий формат: C xxx n1 n2 modelName C= cValue;
- "Write empty subcircuit definition" – запись определений подсхем в начале списка связей;
- "Write .END statement" – запись слова ".END" в конце файла;
- "Write nodal parasitic capacitance" – вычисление и запись паразитной емкости к подложке узла схемы;
- "Ignore nodal parasitic capacitance less than" – определяет минимальное значение записываемой емкости (фФ);
- "SPICE include statement" – задается текст, который запишется в файл. Обычно здесь задаются команды подключения файлов (.include), где содержатся модели элементов или подсхемы.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Состав САПР Tanner Pro.
2. Создание и сохранение топологических файлов.
3. Ввод информации о слоях.
4. Создание графических примитивов (прямоугольника).
5. Создание графических примитивов (полигона).

6. Создание графических примитивов (круга).
7. Создание графических примитивов (сектор круга).
8. Создание портов.
9. Редактирование объектов в топологическом редакторе L-Edit.
10. Создание иерархических элементов.
11. Открытие топологических файлов и сохранение в форматах CIF и GDSII.
12. Просмотр поперечного сечения структур.
13. Особенности использования EDIF-формата в редакторе L-Edit.
14. Основные положения EDIF-формата.
15. Свойства контактных площадок (Pads).
16. Свойства входных/выходных сигналов (I/O signals).
17. Критические цепи.
18. Синтез топологии.
19. Создание и сохранение правил проектирования.
20. Запуск процедуры проверки правил проектирования топологии.
21. Экстракция электрической схемы проекта из топологии.
22. Настройка параметров экстракции.
23. Автоматическое формирование имен.
24. Запуск процесса экстракции.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ивченко В.Г. Применение языка VHDL при проектировании специализированных СБИС: Учебное пособие.– Таганрог: Изд-во ТРТУ, 1999.– 80 с.
2. L-Edit User Guide. Tanner Research, Inc. Vol. 1. 1999. 487 p.
3. Рындин Е.А., Коноплев Б.Г. Субмикронные интегральные схемы: элементная база и проектирование.– Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2001.– 147 с.
4. D.A.Koester, R.Mahadevan, B.Hardy, K.W.Markus. MUMPs design handbook. Revision 5.0. URL: <http://www.memsrus.com>.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
1. ИНТЕРФЕЙС ТОПОЛОГИЧЕСКОГО РЕДАКТОРА L-EDIT САПР TANNER PRO	4
2. СОЗДАНИЕ И РЕДАКТИРОВАНИЕ ФАЙЛОВ ТОПОЛОГИИ В РЕДАКТОРЕ L-EDIT	9
2.1. Запуск топологического редактора	9
2.2. Создание и сохранение топологических файлов	9
2.3. Ввод информации о слоях	10
2.4. Создание графических примитивов	13
2.5. Создание портов	16
2.6. Редактирование объектов в топологическом редакторе L-Edit.....	18
2.7. Создание иерархических элементов.....	18
2.8. Открытие топологических файлов и сохранение в форматах CIF и GDSII	19
2.9. Просмотр поперечного сечения структур СБИС и микросистем	20
3. АВТОМАТИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ ТОПОЛОГИИ НА ОСНОВЕ СТРУКТУРНОЙ СХЕМЫ ПРОЕКТА В ФОРМАТЕ EDIF	22
3.1. Особенности использования EDIF-формата в редакторе L-Edit.....	22
3.2. Основные положения EDIF-формата	23
3.3. Свойства контактных площадок (Pads).....	25
3.4. Свойства входных/выходных сигналов (I/O signals)	25
3.5. Критические цепи.....	26
3.6. Синтез топологии	27
4. ПРОВЕРКА ПРАВИЛ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТОПОЛОГИИ	30
4.1. Создание и сохранение правил проектирования	30
4.2. Запуск процедуры проверки правил проектирования топологии	33
5. ЭКСТРАКЦИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СХЕМЫ ПРОЕКТА ИЗ ТОПОЛОГИИ	35
5.1. Общие сведения.....	35
5.2. Настройка параметров экстракции	35
5.3. Автоматическое формирование имен	36
5.4. Запуск процесса экстракции.....	36
КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ	38
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	39
СОДЕРЖАНИЕ	40

**Коноплев Борис Георгиевич
Рындин Евгений Адальбертович
Ковалев Андрей Владимирович
Лысенко Игорь Евгеньевич**

Руководство к лабораторной работе

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТОПОЛОГИИ СБИС И
МИКРОСИСТЕМ В САПР TANNER PRO**

Ответственный за выпуск *Лысенко И.Е.*
Редактор *Селезнева Н.И.*

ЛР 020565 от 23.06.1997 г.
Печать офсетная.
Формат 60 * 841/16
Усл. п. л. – 2,5.
Заказ № 244

Подписано к печати 1.09.2004
Бумага офсетная.
Уч.- изд. л. – 2,3.
Тираж 150 экз.

“С”

Издательство Таганрогского государственного
радиотехнического университета
ГСП 17А, Таганрог, 28, Некрасовский, 44
Типография Таганрогского государственного
радиотехнического университета
ГСП 17А, Таганрог, 28, Энгельса, 1