

**Министерство образования Российской Федерации**  
**Ульяновский государственный технический университет**

# **АНТЕННЫ И УСТРОЙСТВА СВЧ**

Методические указания к практическим и лабораторным занятиям  
для студентов специальности 200700 «Радиотехника»

Составитель Г.В. Дмитриенко

Ульяновск 2004

УДК 621.3 (076)  
ББК 32.845 я7  
А 72

Рецензент канд. техн. наук, доцент Дормидонтов А.В.

Одобрено секцией методических пособий  
научно-методического совета УлГТУ

А72      **Антенны** и устройства СВЧ: Методические указания к практическим и лабораторным занятиям для студентов специальности 200700 «Радиотехника» /Сост. Г.В. Дмитриенко. – Ульяновск: УлГТУ, 2004. – 52 с.

Указания составлены в соответствии с учебными программами курса «Антенны и устройства СВЧ» для специальности 200700 «Радиотехника». Изложены основные моменты проектирования и моделирования микрополосковых устройств на основе программы Microwave Office.

Работа подготовлена на кафедре «Радиотехника».

УДК 621.3 (076)  
ББК 32.845 я7

© Оформление. УлГТУ, 2004

# ОСНОВНЫЕ ЗАДАЧИ ЛАБОРАТОРНОГО ПРАКТИКУМА

Курс «Антенны и устройства СВЧ» является завершающим в программе подготовки студентов по направлению 200700 «Радиотехника». Лабораторные и практические занятия построены на моделировании антенн и устройств СВЧ в микрополосковом исполнении. Занятия проводятся на основе программы Microwave Office, которая производит компьютерное моделирование, начиная с электрической схемы заканчивая готовым изделием с полученными выходными характеристиками. Практические и лабораторные работы построены по этапам моделирования. Каждый этап подробно рассмотрен.

## 1. ОПИСАНИЕ РАБОТЫ ПРОГРАММЫ

### 1.1. Краткое содержание проекта

Окно просмотра проекта содержит четыре вкладки: **Project** (проект), **Elements** (элементы), **Variables** (переменные) и **Layout** (топология).

На вкладке **Project** (сокращено **Proj**, рис. 1.1) отображается дерево групп и модулей, которые уже используются, а также могут быть использованы в данном проекте. Сюда входят: блок комментариев, блок опций проекта, блок глобальных выражений, группа используемых внешних файлов данных, блок системных диаграмм, группа используемых схмотехнических модулей, группа используемых электромагнитных структур, группа используемых проводящих материалов, блок выходных выражений, группа отображения результатов расчета, группа целей оптимизации, группа статистического анализа и группа формирования выходных файлов.

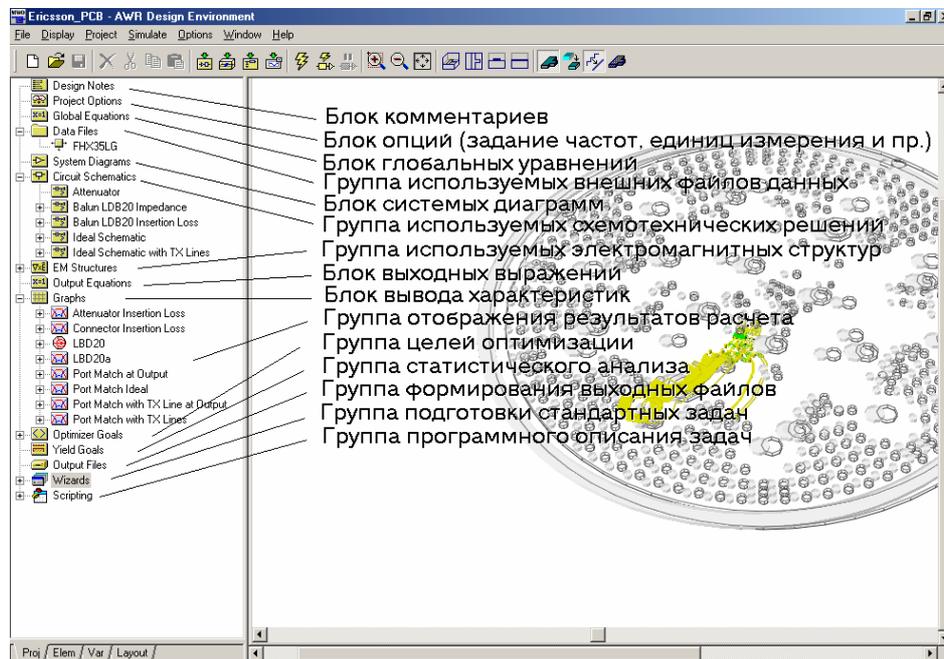
Как правило, при открытии проекта вкладка **Project** открывается первой, для перехода на нее необходимо щелкнуть на закладке с надписью **Proj** в нижней части окна просмотра проекта.

О наличии в группе вложенных модулей сигнализирует маленький квадратик в точке ветвления дерева проекта. Двойной щелчок на каждом модуле группы открывает соответствующее окно просмотра на рабочем столе Microwave Office или диалоговое окно, руководящее последующими действиями пользователя. Подсказка в виде контекстных меню, появляющихся при нажатии правой клавиши мыши на любом объекте проекта и предлагающие на выбор список возможных дальнейших действий. Перемещение между блоками и группами дерева проекта внутри вкладки можно также выполнить с помощью клавиш  $\langle \uparrow \rangle$  и  $\langle \downarrow \rangle$ .

 **Design Notes** **Блок комментариев (Design Notes)** предназначен для внесения сопроводительной информации в проект, а также комментарии, для других инженеров.

 **Project Options** **Блок опций проекта (Project Options)** служит для задания значений частот, единиц, параметров по умолчанию проекта.

 **Global Definitions** **Блок глобальных определений (Global Definitions)** служит для определения переменных, от которых зависят отдельные параметры элементов схем и изменение которых в проекте должно производиться пропорционально или синхронно.



*Рис. 1.1. Состав вкладки Project*

 **Data Files** **Группа внешних файлов данных (Data Files)** содержит список любых файлов данных, которые были добавлены к проекту извне. Внешние файлы данных дают возможность наглядно сравнивать результаты, полученные в ходе макетирования СВЧ устройства, с результатами расчета.

 **Circuit Schematics** **Группа схемотехнических модулей (Schematics)** отображает список всех частей проекта, заданных в виде электрических схем. Список имеет иерархическую структуру с возможностью многократного вложения отдельных модулей, которые могут быть заданы как схемы, подсхемы, списки соединений, внешние файлы и EM структуры.

 **EM Structures** **Группа EM структур (EM Structures)** отображает список всех частей проекта, заданных в виде EM структур. В данной группе содержится блок устанавливаемых по умолчанию параметров структур Default EM Options. Здесь устанавливаются параметры, действительные для всех без исключения EM модулей проекта, однако имеется возможность индивидуального задания параметров для каждого из них в отдельности.

 **Conductor Materials** **Группа проводящих материалов (Conductor Materials)** содержит список всех проводящих материалов, используемых в EM структурах проекта. По умолчанию в этой группе содержится идеальный и медный проводники, однако пользователь всегда может добавить сюда новые материалы.

 **Output Equations** **Блок выходных выражений (Output Equations)** служит для

определения переменных, получаемых из рассчитанных характеристик. Главное отличие выходных выражений от глобальных состоит в том, что рассчитанные с их помощью переменные можно отобразить на графике.

[-] **Graphs** **Группа отображения результатов расчета (Graphs)** содержит все графики, диаграммы и таблицы, полученные в процессе моделирования.

[-] **Optimizer Goals** **Группа целей оптимизации (Optimizer Goals)** содержит список рассчитываемых характеристик, которые необходимо оптимизировать в процессе работы с проектом.

[-] **Yield Goals** **Группа статистического анализа (Yield Goals)** содержит список характеристик, которые необходимо рассчитать с учетом случайного изменения заданных параметров элементов проекта.

[-] **Output Files** **Группа формирования выходных файлов (Output Files)** содержит список файлов в различных форматах, которые формируются по итогам моделирования.

## 1.2. Вкладка моделей элементов

Вкладка **Elements** (сокращенно **Elem**) предназначена для быстрого поиска и введения в проект модели элемента. Для перехода на нее необходимо щелкнуть на корешке с надписью **Elem** в нижней части окна просмотра проекта (рис. 1.2). В верхней части вкладки отображается иерархическое дерево всех доступных библиотек, а в нижней части — состав выбранной библиотеки.

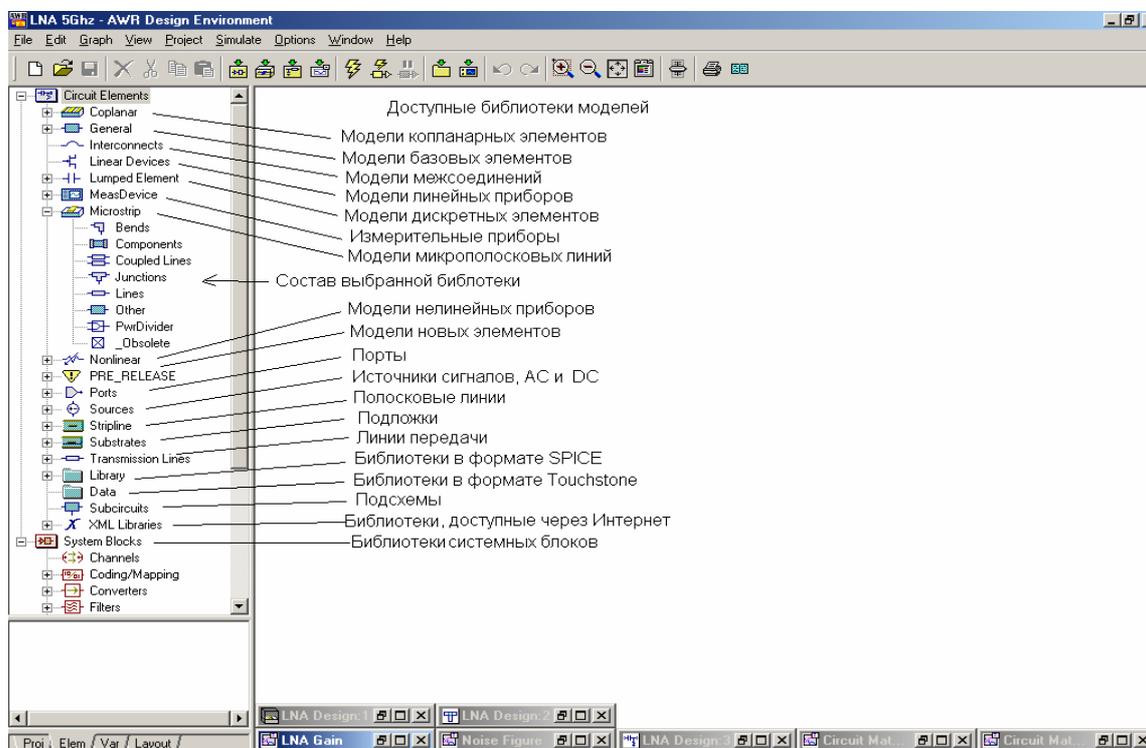


Рис. 1.2. Состав вкладки **Elements**

### 1.3. Вкладка переменных проекта

Вкладка просмотра изменяемых переменных проекта **Variables** (сокращенно **Var**) служит для просмотра и изменения значений, а также управления статусом различных параметров элементов схемы. Под статусом переменной подразумеваются три ее состояния: возможность изменения с помощью инструмента **Tuner** (кнопка **T**), возможность изменения в процессе оптимизации (кнопка **O**) и установки диапазона изменения переменной (кнопка **C**). Для перехода на вкладку **Variables** необходимо щелкнуть на корешке с надписью **Var** в нижней части окна просмотра проекта. В верхней части появившегося окна упрощенное дерево проекта, отражающее расположение параметров в схематехнических модулях, внешних файлах данных, а также переменных в блоках глобальных и выходных выражений.

В закладке **Var** (рис. 1.3) в табличной форме отображается список всех изменяемых переменных указанного модуля, три кнопки управления статусом, текущие их значения, а также границы их изменения.

### 1.4. Вкладка топологии проекта

Вкладка **Layout** предназначена для работы с топологиями, соответствующими отдельным схематехническим модулям проекта, и управления библиотеками топологических примитивов. В верхней части вкладки отображаются общие установки для работы с топологиями **Layer Setup** и список используемых библиотек **Cell Libraries**. В нижней части приведена таблица управления слоями топологии.

**Командное меню и панель инструментов** располагается в верхней части окна среды проектирования (рис. 1.4) и содержит все необходимые команды для работы с проектом (рис. 1.5). Отличительной особенностью командного меню является то, что оно имеет некоторую базовую конфигурацию, которая видоизменяется в процессе работы в зависимости от выполняемой операции. На рис. 1.5 показаны команды, имеющиеся в командном меню. Командное меню, панель инструментов MWO имеет базовую конфигурацию (рис. 1.6), которая видоизменяется в процессе работы в зависимости от выполняемой текущей операции.

### 1.5. Работа с проектами

Перед началом работы необходимо (но не обязательно) задать местоположение различных частей пакета Microwave Office. Для этого сразу после запуска программы нужно выполнить команду в меню **Options — Environment Options** и в появившемся окне, изображенном на рис. 1.7, сделать необходимые установки. При первых запусках программы рекомендуется оставить установки по умолчанию.

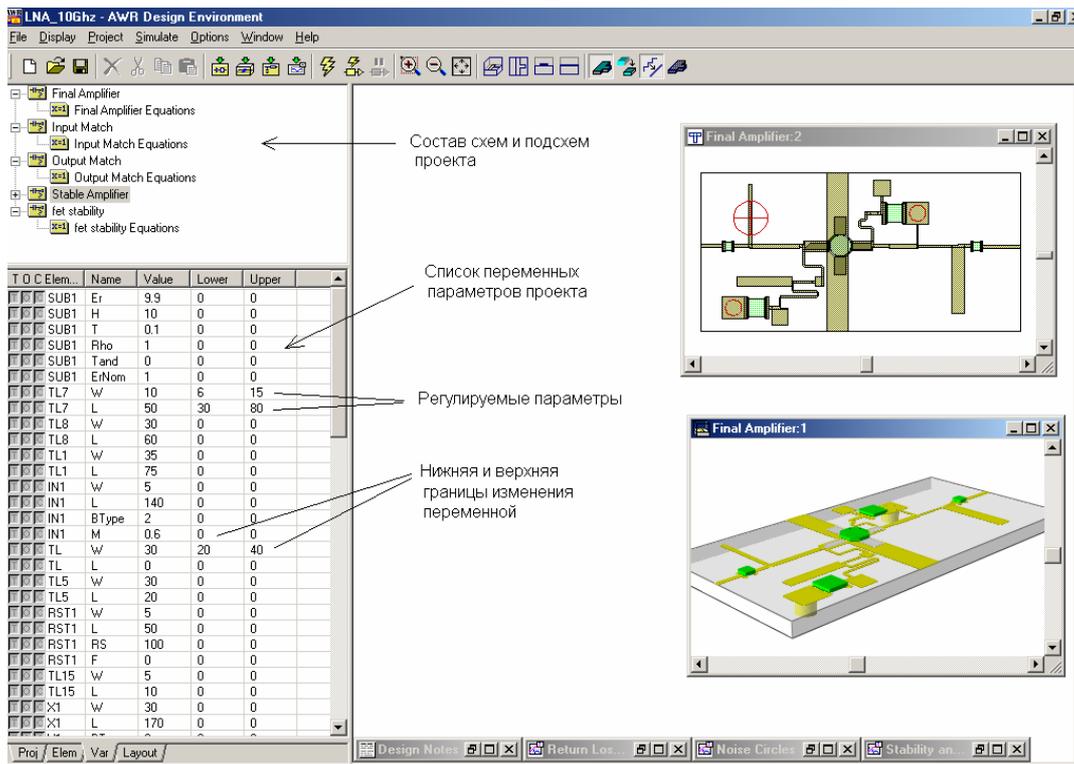


Рис. 1.3. Состав вкладки *Variables*

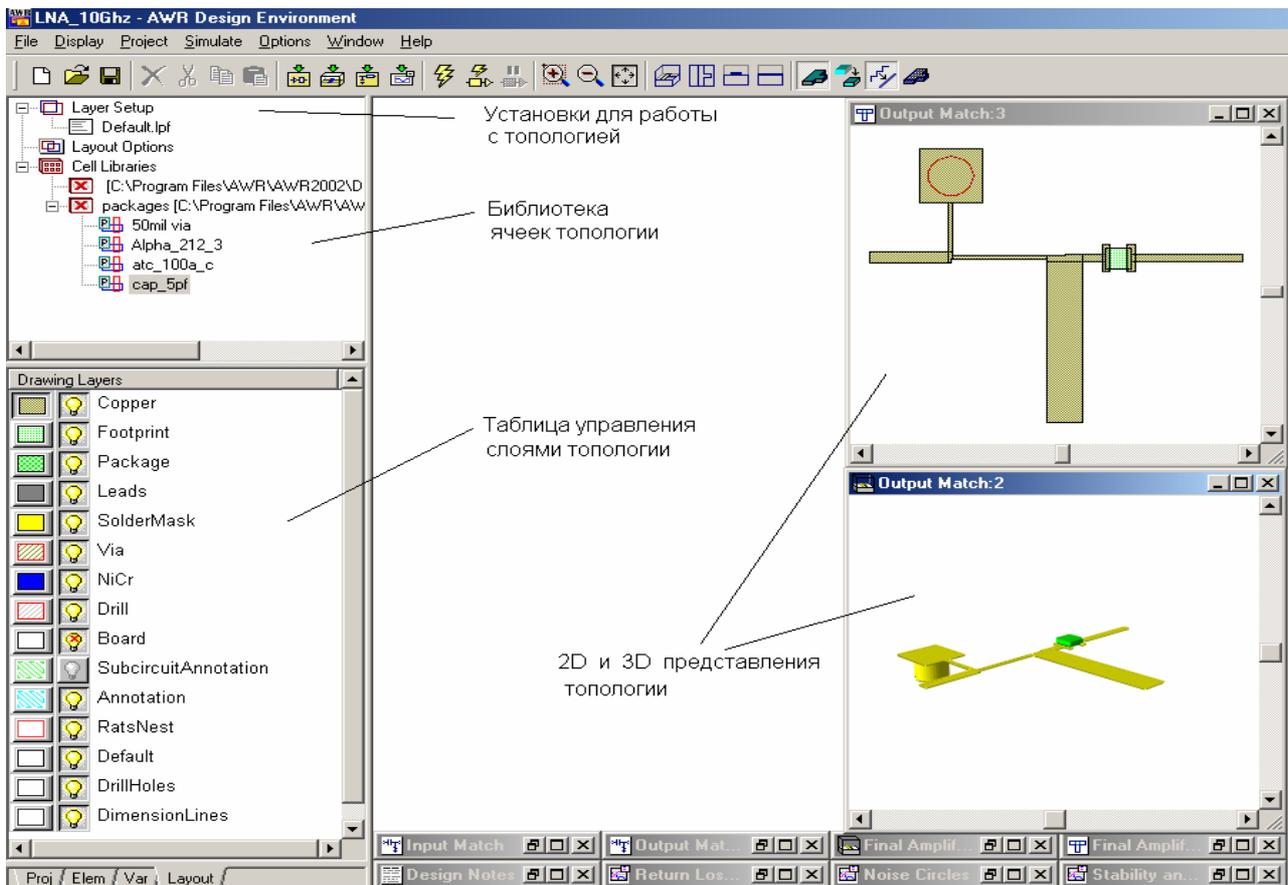


Рис. 1.4. Состав вкладки *Layout*

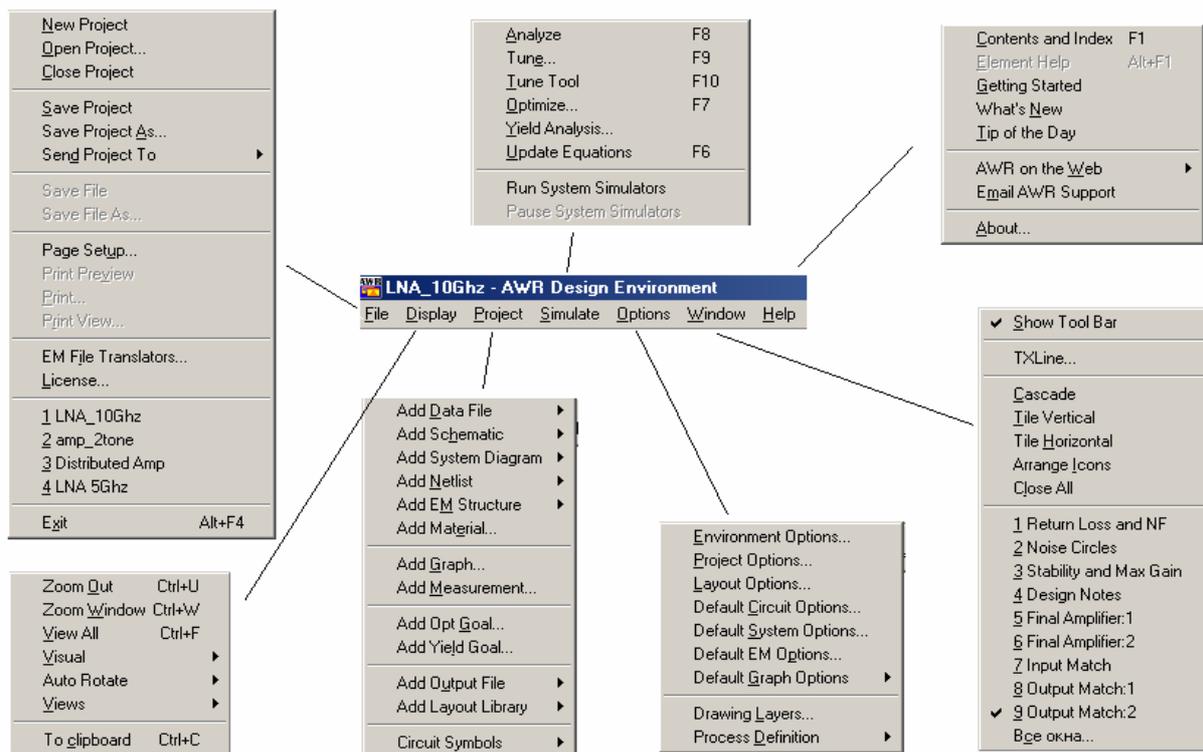


Рис. 1.5. Базовая конфигурация командного меню

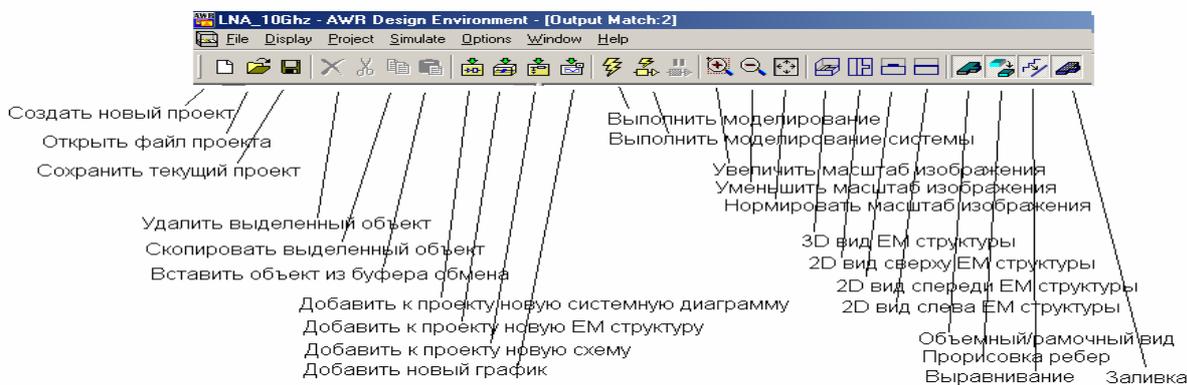


Рис. 1.6. Базовая конфигурация панели инструментов

**Создание нового проекта** – достаточно просто запустить программу Microwave Office. Если уже работаете в системе, то необходимо выполнить команду меню **File — New Project** или нажать кнопку на панели инструментов. В обоих случаях откроется проект, созданный по заданному в меню **File — Options** шаблону.

**Открытие ранее созданного проекта** – нужно выполнить команду меню **File — Open Project** или нажать кнопку на панели инструментов. Откроется стандартное окно выбора файла. В списке расширений файлов необходимо выбрать строку **Project Files (\*.emp)**, указать нужную папку и в ней выбрать нужный файл, после чего нажать кнопку <Открыть>.

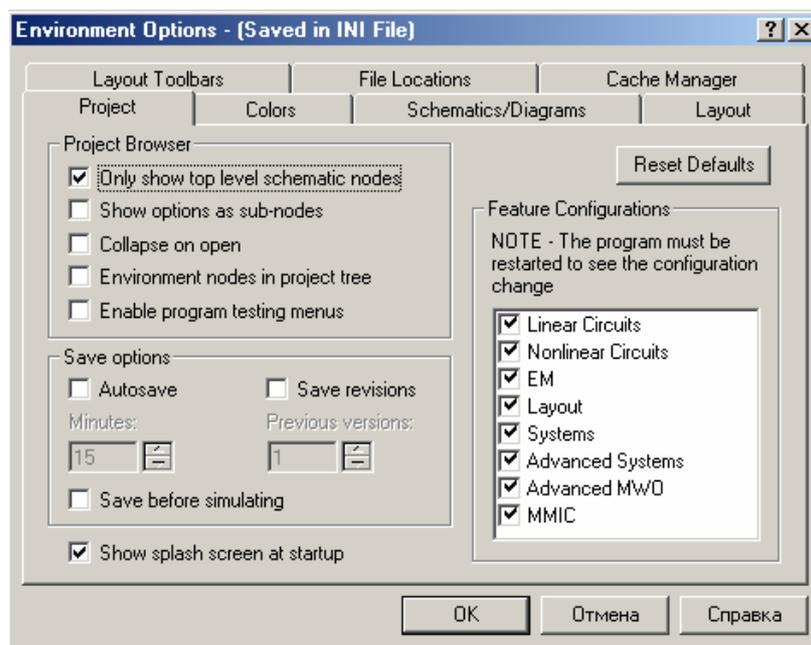


Рис. 1.7. Окно задания расположения файлов *File Locations*

## 1.6. Установка параметров проекта

Перед созданием нового проекта необходимо сделать некоторые установки, наиболее часто употребляемую размерность величин, параметры интерполяции, формат внешних файлов данных.

**Установка размерности физических величин** для установки или изменения размерности физических величин выполните команду **Options — Units**. На экране появится окно *Global Units*, изображенное на рис. 1.8, в котором в соответствующих полях показаны текущие установки проекта.

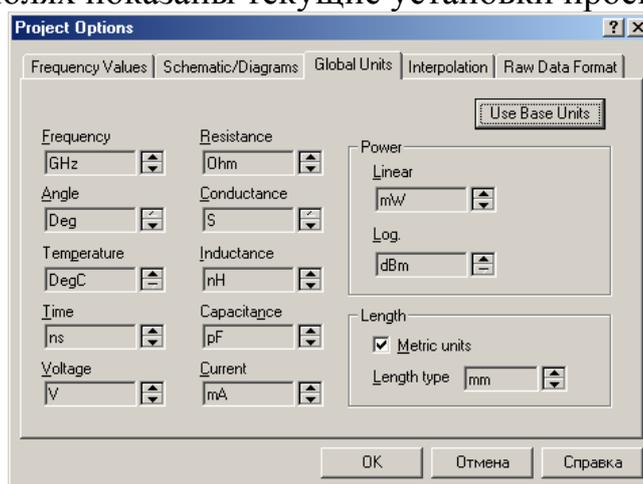


Рис. 1.8. Окно задания размерности величин

Изменение размерности можно производить на любом этапе работы с проектом, для чего нажатием кнопки последовательного перебора нужно выбрать

требуемую размерность. Обратите внимание, что длина имеет два набора размерностей, принципиально отличающихся друг от друга: для метрической и дюймовой систем измерения. Выбор системы измерения производится установкой флажка **Metric Units**. Далее для внесения сделанных изменений в проект необходимо нажать кнопку **<Ok>**, для их отмены — **<Cancel>**, для вызова справки — **<Help>**. После изменения размерности все величины указанного типа в проекте будут пересчитаны. Ниже приведены физические величины, размерность которых может быть изменена с помощью данного окна (в скобках приведен список доступных размерностей).

- **Frequency** — частота (Hz, kHz, MHz, GHz, THz);
- **Angle** — угол (Deg, Rad);
- **Temperature** — температура (DegC, DegK, DegF);
- **Time** — время (fs, ps, ns, us, ms, s, ks, Ms, Gs, Ts);
- **Voltage** — напряжение (fV, pV, nV, uV, mV, V, kV, MV, GV, TV);
- **Resistance** — сопротивление (fOhm, pOhm, nOhm, uOhm, mOhm, Ohm, kOhm, MOhm, GOhm, TOhm);
- **Conductance** — проводимость (fS, pS, nS, uS, mS, S);
- **Inductance** — индуктивность (fH, pH, nH, uH, mH, H, kH, MH, GH, TH);
- **Capacitance** — емкость (fF, pF, nF, uF, mF, F);
- **Current** — ток (fA, pA, nA, uA, mA, A, kA, MA, GA, TA);
- **Power Linear** — мощность в линейном масштабе (fW, pW, nW, uW, mW, W, kW, MW, GW, TW);
- **Power Log** — мощность в логарифмическом масштабе (dBm, dBW);
- **Length** — длина в метрической (fm, pm, nm, um, mm, m, km) или дюймовой (mil, inch, foot, mile) системе.

### 1.7. Установка фундаментальных частот проекта

Под понятием фундаментальных частот здесь подразумевается некоторый набор частот, в которых по умолчанию будет производиться анализ всех частей проекта. Для задания фундаментальных частот проекта необходимо выполнить двойной щелчок левой кнопкой мыши на объекте или выделить этот блок на дереве проекта и нажать клавишу **<Enter>**. На экране компьютера появится окно *Project Options*, изображенное на рис. 1.9.

В левой части окна отображается текущий набор частот (поле **Current Range**), а в центральной — средства его модификации (поле **Modify Range**). В правом нижнем углу расположен переключатель размерности частоты **Data Entry Unit**, значение по умолчанию которого соответствует глобальным установкам проекта. Изменение текущей размерности можно производить перебором списка доступных размерностей последовательным нажатием кнопки.

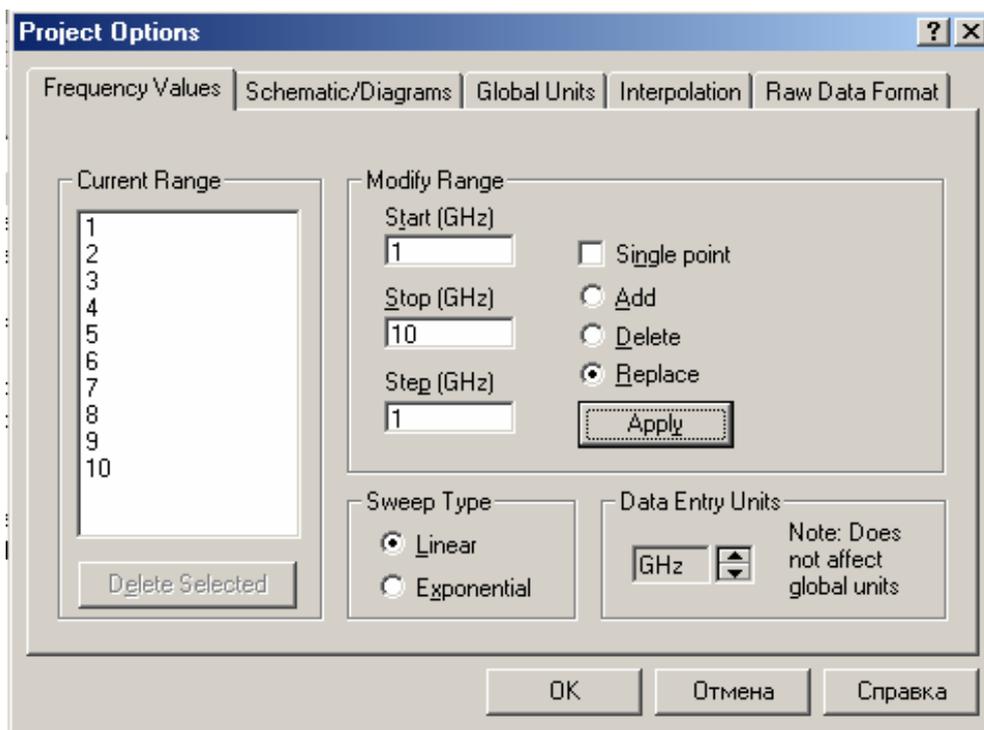


Рис. 1.9. Окно блока задания фундаментальных частот проекта

## 1.8 Расчет и создание графиков

**Добавление диаграммы (графика).** Щелчком правой клавиши мыши выбирают в дереве проекта опцию **Add Graph**, и в открывшемся диалоговом окне указывают имя графика. Должен быть также выбран тип графика: прямоугольный, полярный или др. и его параметры (рис. 1.10).

**Добавление характеристик.** Выберите опцию **Add Measurement** в дереве проекта, и откроется диалоговое окно, в котором выбираются параметры и индексы параметров, определяющие расчет новой характеристики. Когда используется «All Source» будут рассчитаны и выведены на график характеристики для всех источников данных (схем и подсхем), которые имеются в проекте. Опция «All Source» дает возможность сравнивать расчеты, полученные для разных схем и подсхем.

**Чтение данных из диаграммы или графика.** MWO позволяет вывести на график курсор данных (рис. 1.11) для показа величин, соответствующих конкретной точке графика. Чтобы использовать курсор данных, нажмите и удерживайте левую кнопку мыши у линии характеристики на диаграмме. Форма курсора изменится на «x» и рядом с курсором будут показаны данные.

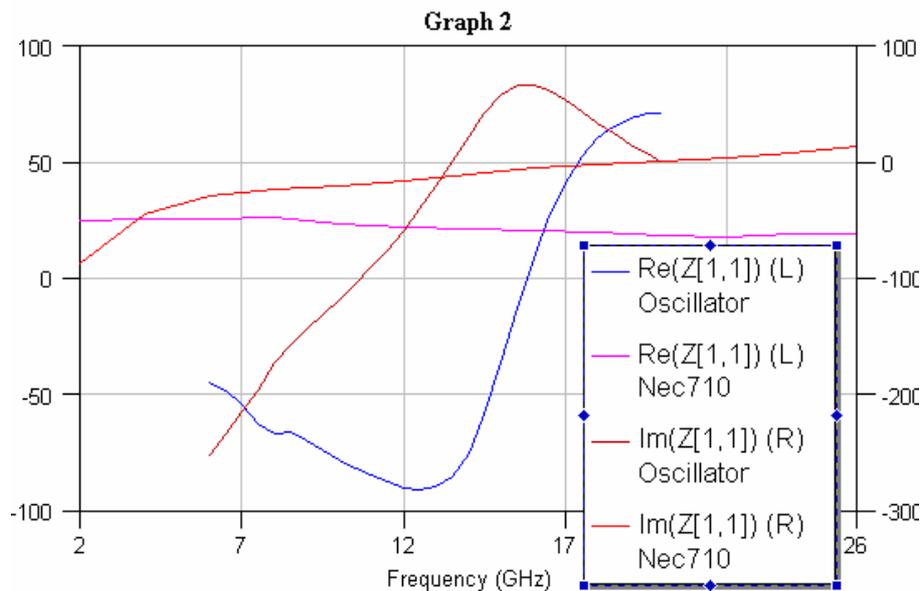


Рис. 1.10. Вывод графика входного импеданса в сечении схемы генератора на прямоугольную систему координат

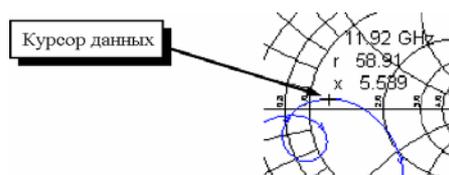


Рис. 1.11. Курсор данных

### 1.8.1. Различные типы диаграмм и графиков в MWO

**Диаграмма Смита** - может быть показана в различных форматах. В дополнение к стандартной диаграмме Смита с радиусом, равным единице, может также быть изображена расширенная и сжатая диаграмма Смита. Диаграмма Смита может быть показана как для полного сопротивления или же полной проводимости. Диаграмма Смита (как и все другие диаграммы и графики) имеет полностью перестраиваемую конфигурацию. Цвета, типы линии, шрифты, обозначения, маркеры и другие подробности определяются пользователем. Курсор, поставленный на диаграмму Смита, может сразу показать полное сопротивление, полную проводимость или коэффициент отражения.

**Прямоугольные графики** - используются для изображения характеристик, имеющих действительные значения. Обычно по оси  $X$  откладывается частота, а по оси  $Y$  – интересующая характеристика. Рассчитанные характеристики могут быть показаны и на левой, и на правой оси  $Y$ .

**Таблицы.** Характеристики выводятся в таблице в виде столбцов чисел. Первый столбец аналогичен оси  $X$  в прямоугольной системе координат, в него обычно

заносят частоту. Остающиеся столбцы используются для вывода результатов расчета. В заголовке каждого столбца указывается наименование характеристики и формат данных. Для параметров, получаемых из файлов данных с различными частотными точками, первый столбец станет объединением двух частотных диапазонов. Пример таблицы выходных данных приведен на рис. 1.12.

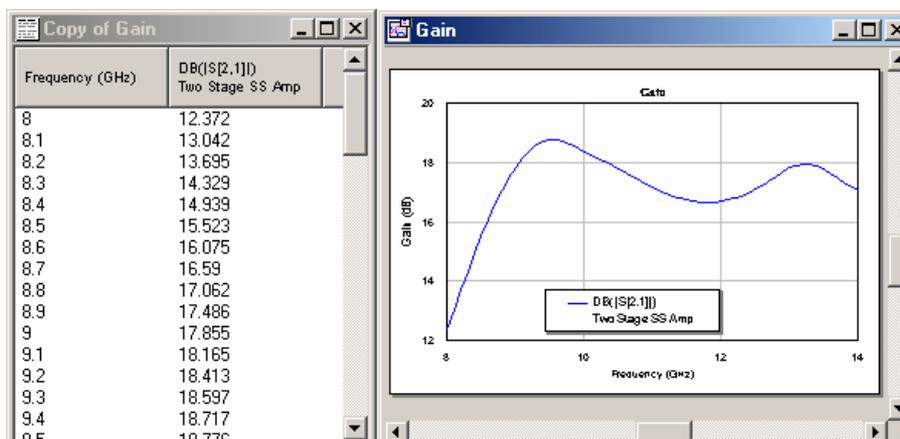


Рис. 1.12. Таблица результатов моделирования, дублируемая графиком усиления

**Копирование данных в электронную таблицу.** Табличное окно может использоваться для копирования данных в электронную таблицу, например в Excel. Чтобы скопировать данные, выберите в меню **Edit** пункт **All to Clipboard** (все в буфер обмена), затем вставьте результаты в электронную таблицу.

### 1.9. Форматирование графиков в MWO

Прямоугольный график, диаграмма в полярной системе координат и диаграмма Смита могут быть отредактированы после нажатия правой кнопки мыши, при установке курсора на данном графике и выбора опции **Properties...** Диалоговое окно задания формата диаграммы (графика) состоит из отдельных закладок (рис. 1.13). На них вводятся следующие величины:

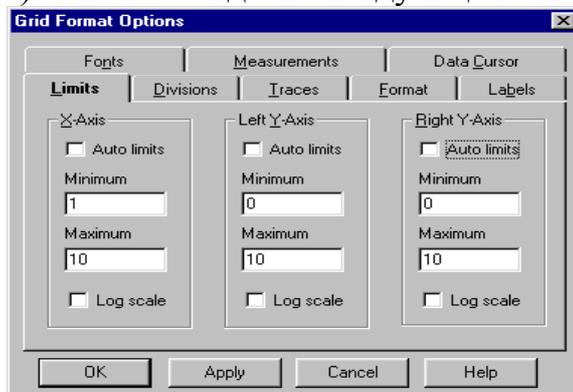


Рис. 1.13. Диалоговое окно задания формата графика

**Закладка Limits** (границы страниц). Предельные значения, откладываемые по каждой оси, устанавливаются независимо друг от друга. Для каждой оси указываются следующие параметры.

**Minimum/Maximum.** Если не выбран режим **Auto limits**, то здесь вводится минимальная/максимальная величина, откладываемая по указанной оси.

**Log scale** (логарифмическая шкала) отключение, если устанавливает логарифмический масштаб по данной оси.

**Закладка Division** (деления). Установка параметров для каждой оси. Пределы осей устанавливаются на закладке **Limits**.

**Auto.** Если в каком либо разделе выбрана опция **Auto**, то соответствующие параметры, приведенные в текущем разделе, определяются автоматически на основе данных моделирования.

**Закладка Traces** (линии графиков). Диалоговое окно для задания формы изображения графиков характеристик на заданных сетках. Номер каждого графика соответствует конкретной характеристике.

**Color.** Цвет для избранной линии может быть изменен, выбирая его из списка цветов.

**Symbol.** Символ, используемый для маркировки графиков, может быть изменен, выбирая из списка наименование нового символа. Если ни один из них не выбран, то на график не будет нанесен ни один символ.

**Line.** Тип линии избранной характеристики может быть изменен, выбирая его из списка.

**Weight.** Ширина линии, используемой для рисования графика. Она может быть изменена, выбирая новую ширину из списка.

**Закладка Markers** (маркеры). Маркеры ставят отметки на различные графики.

**Закладка Format** (формат). Закладка **Format** используется для установки общего вида границы и разделов сетки (рис. 1.14). Диалог, показанный на рисунке, соответствует заданию параметров прямоугольного графика. Диалоговое окно для других типов графиков подобное.

**Line Style** (типы линий). Установка параметров панели **Line Style** позволяет выбрать стиль линий, используемых для черчения сетки. Типы линии сеток могут быть выбраны для диаграмм Смита, полного сопротивления и полной проводимости.

**Color Border.** Выбирается цвет границ и линий деления сетки.

**Line Weight.** Эта опция устанавливает толщину линий, используемых для черчения границ и делений сетки.

**Visible.** Параметры видимости определяют, какие элементы графика будут видны:

**Border** – обрамление вокруг диаграммы (графика);

**Legend** - пояснительный текст (легенды);

**Legend border** - граница вокруг легенды.

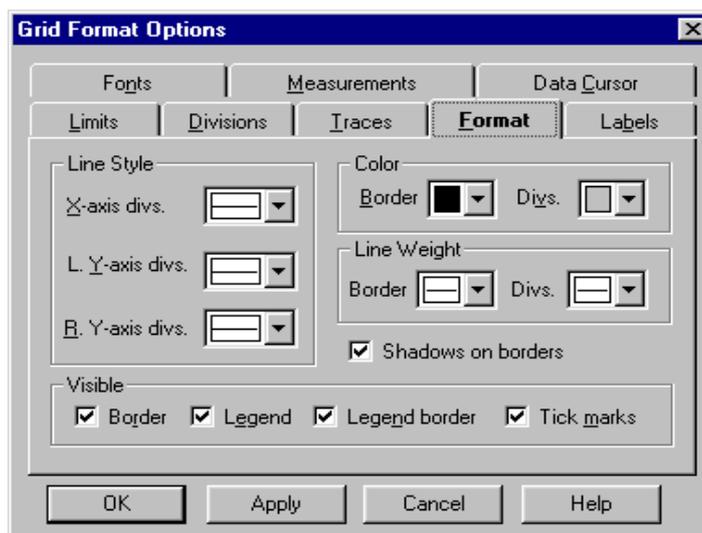


Рис. 1.14. Диалоговое окно закладки **Format**

**Закладка Labels.** Тексты заголовков и легенд графиков:

**Title** (заголовок) – изменение заданного по умолчанию названия графика.

**Show units** (покажите единицы) - задание идентификаторов отдельных осей (например, Voltage), в которых допустимы символы кириллицы.

**X-axis.** Текст, используемый для обозначения оси X.

**Left Y-axis / Right Y-axis (Левая/Правая ось Y)** - текст, используемый для обозначения левой и правой оси Y.

**Legend Entries (Ввод легенды).** Легенда может содержать один или два раздела: Data name и Measurement name, или оба, устанавливаемые кнопкой Both.

**Закладка Fonts** (шрифты). Пользователь может выбрать шрифт для различных составляющих графика.

**Title** – шрифт названия графика.

**Axis numbers** – шрифт, используемый для маркировки осей.

**Legends** – шрифт легенды.

**Закладка Measurements.** Задание параметров вида характеристик и выбор осей прямоугольных графиков.

**Закладка Grid (сетка) для диаграммы Смита.** Установки стиля диаграммы Смита:

**Size** – выбор типа диаграммы Смита:

**Normal** – нормальная диаграмма;

**Compressed (сжатая)** – измененная диаграмма, удобная для просмотра отрицательного полного сопротивления;

**Expanded (расширенная)** – диаграмма с увеличенным масштабом внутри.

Если выбрана опция **Auto Size**, то размер диаграммы Смита выбирается автоматически на основе анализа результатов моделирования.

**Auto Contour** – изменение плотности рисования контуров.

**Visible** (видимый) - параметры поля определяют, какие составляющие диаграммы Смита выводятся видимыми:

**Impedance Grid** – графики полных и реактивных сопротивлений;

**Admittance Grid** – графики реактивных сопротивлений и проводимостей;

**Value** – номера графиков.

**Закладка Grid** - используется для установки вида и параметров полярной диаграммы (рис. 1.15):

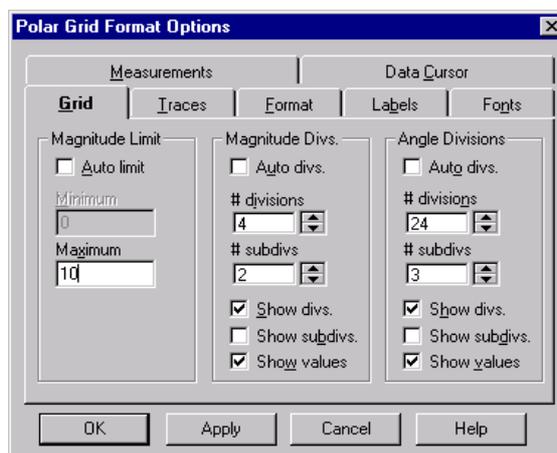


Рис. 1.15. Диалоговое окно закладки **Grid**

**Magnitude Limits.** Эти пределы устанавливаются для пересчета величин осей.

**Auto Limit.** Если выбран этот режим, то пределы будут определены автоматически.

**Minimum.** Для полярных диаграмм минимальная величина - всегда ноль.

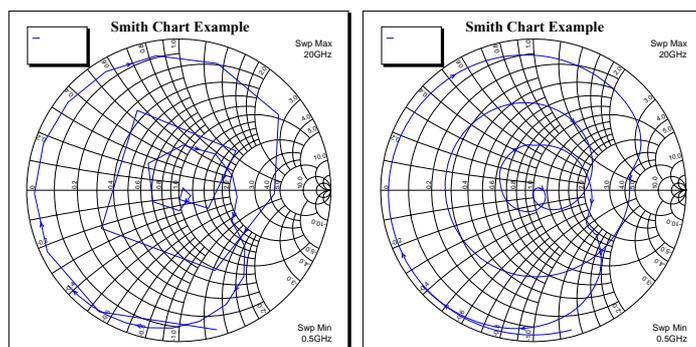
**Maximum.** Если опция **Autolimit** не выбрана, то максимальная величина, используемая для значений может быть введена здесь.

**Auto divs** – опция автоматической установки делений на сетку.

**Закладка Grid для антенной диаграммы.** Параметры сетки для антенной диаграммы идентичны параметрам сетки полярной диаграммы за исключением того, что доступна опция **Normalized**.

## 1.10. Сглаживание графиков в MWO

MWO имеет режим интерполяции выводимой информации из EM-моделирования или из файла данных, используя интерполяцию рациональной функцией. При интерполяции используется ноль-полусная модель данных. Чтобы интерполировать данные из файла данных, устанавливается опция **Smoothing** (сглаживание) в диалоге **Add Measurement** (см. результаты интерполяции на рис. 1.16).



a)

б)

Рис. 1.16. Круговые диаграммы до (а) и после (б) интерполяции

**Интерполяция рациональной функции.** Вид характеристик, для которых применена интерполяция дробно-рациональными функциями (они имеют разрешение на сглаживание), показан на рис. 1.17. Для такого сглаживания рациональные функции использованы для выполнения интерполяции с помощью ноль-полюсной модели.

**Размер окна (Window size).** Размер окна определяет максимальное число значений частоты, которые будут использоваться для вычисления интерполируемых данных. Каждый дискретный отсчет на оси  $X$  представляет собой значение частот в файле данных. Маркеры, выведенные в полужирном начертании, представляют собой точки, которые используются для интерполяции данных (рис. 1.17). При изменении точки интерполяции окно весовой обработки перемещается. Окно большего размера включает большее количество отсчетов данных, но расчеты будут проводиться намного медленнее.



Рис. 1.17. Окно интерполяции

**Предупреждение относительно интерполяции.** Интерполяция должна использоваться с осторожностью. Результаты интерполяции должны всегда проверяться визуально, чтобы удостовериться, что интерполированные данные не имеют разрыв. Например, если входные данные неустойчивы, интерполяция не даст верных результатов, и вместо уточнения данных выведет принципиально ошибочный результат. Если это так, попробуйте увеличить или уменьшить размер окна интерполяции.

**Число интерполируемых точек (Number of interpolated points).** Задается количество точек данных, которые используются для интерполяции (от 2 до 1000). Если используются только две точки, результатом интерполяции будет прямая

линия. Интерполируемые точки будут располагаться от самой нижней и до самой верхней частоты в файле данных.

## 2. СОЗДАНИЕ МИКРОПОЛОСКОВОЙ СТРУКТУРЫ

Для создания микрополосковой структуры СВЧ устройства необходимо выполнить следующие операции:

- Создание новой EM структуры;
- Задание размеров корпуса;
- Задание параметров подложки;
- Черчение топологии;
- Моделирование перемычек;
- Задание портов и линий исключения;
- Моделирование, просмотр плотности тока и электрического поля.

### 1. Создание EM структуры

Создание нового проекта:

1. Выберите **File > New Project**.
2. Выберите **File > Save Project As**. Появится диалог **Save As**.
3. Напечатайте имя проекта (например, «EM\_example»), и нажмите **Save**.
4. Создание новой EM структуры:
5. Выберите **Project > Add EM Structure > New EM Structure**
6. Напечатайте «**Interdigital Filter**» и нажмите **OK**.

В рабочем окне MWO появляется окно EM структуры.

**Замечание.** EMSight использует прямоугольную сетку для определения структур.

### 2. Задание корпуса

Корпус задает материал для всех слоев в EM структуре, устанавливает граничные условия и определяет общий размер структуры и минимальные единицы сетки разбиения, которые будут использоваться для спецификации материала проводников в структуре.

**Для задания корпуса:**

1. Нажмите два раза на **Enclosure** под **Integrate Filter** (под EM Structure) в дереве проекта. Появляется диалог информации о подложке (рис.2.1).
2. Выберите **Metric** в качестве единиц **Units**, и затем прокрутите стрелку и выберите mm.
3. В **Box Dimensions**, введите «10» как X\_Dimension, напечатайте «50» в X-Division, напечатайте «10» как Y-Dimension, и «50» как Y-Division

**Для определения диэлектрических слоев:**

4. Откройте закладку Dielectric Layers в диалоге Substrate Information (рис. 2.2)

5. Выберите **Layer 1** в разделе **Dielectric Layer Parameters**. Напечатайте «3» в боксе редактирования (внизу диалога) в колонке Thickness и напечатайте «1» в боксе редактирования внизу колонки «er». Оставьте значения по умолчанию в других колонках.

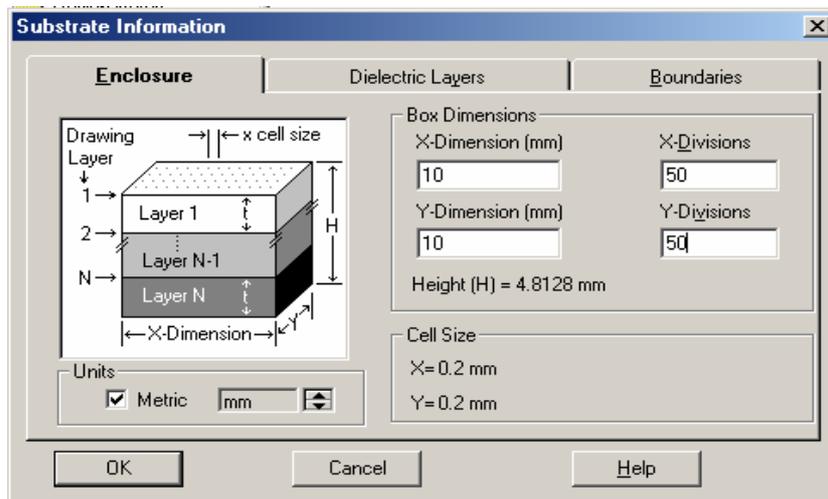


Рис. 2.1. Задание размеров корпуса и сетки деления по координатам

**Замечания.** Моделирование выполняется в два раза быстрее, если они без потерь. Таким образом, установите Loss Tangent=0 и используйте идеальные проводимости всех металлизаций и перемычек в ЕМ-структуре.

6. Выберите **Layer 2** в разделе **Dielectric Layer Parameters**. Напечатайте «0.635» в колонке **Thickness** (рис.2.2) и напечатайте «9.8» в боксе редактирования внизу колонки «er». Напечатайте «0.001» в боксе редактирования Loss Tangent и «4» в блоке ниже в колонке View Scale (это расширяет 3D вид для слоя в четыре раза по сравнению с его нормальной толщиной).

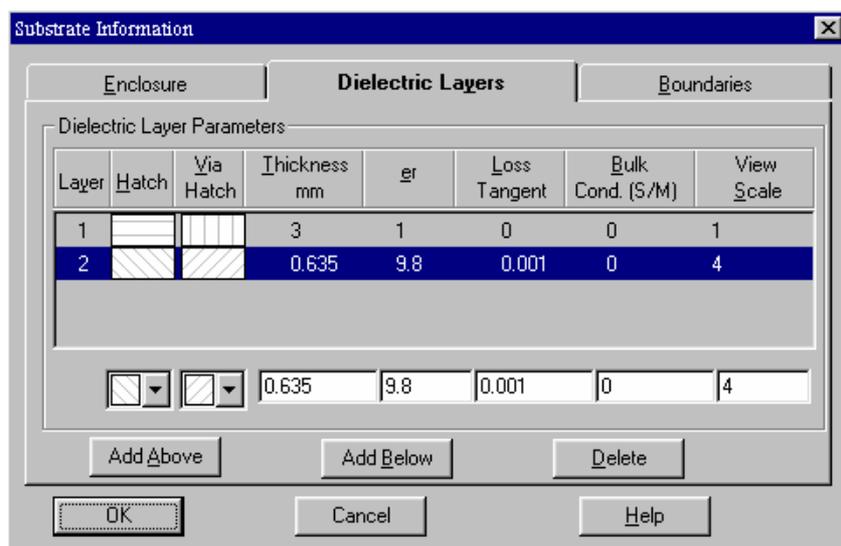
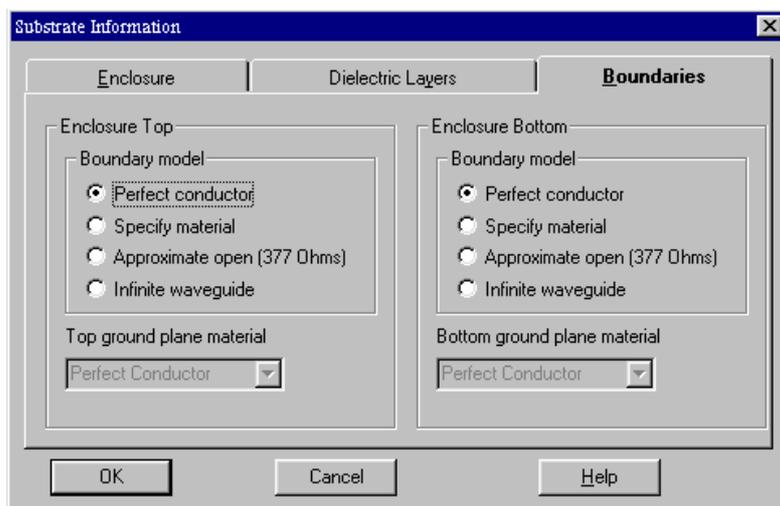


Рис. 2.2. Задание параметров диэлектрических слоев

Граничные условия для стенок корпуса всегда являются идеальными проводниками и не могут изменяться. Граничные условия для верха и дна корпуса имеют граничные условия по умолчанию, но они могут быть изменены по желанию. В данном примере эти границы остаются по умолчанию.

**Для просмотра граничных условий:**

Откройте закладку **Boundaries** в диалоге Substrate Information. Затем нажмите **ОК** для окончания процедуры задания граничных условий (рис. 2.3).

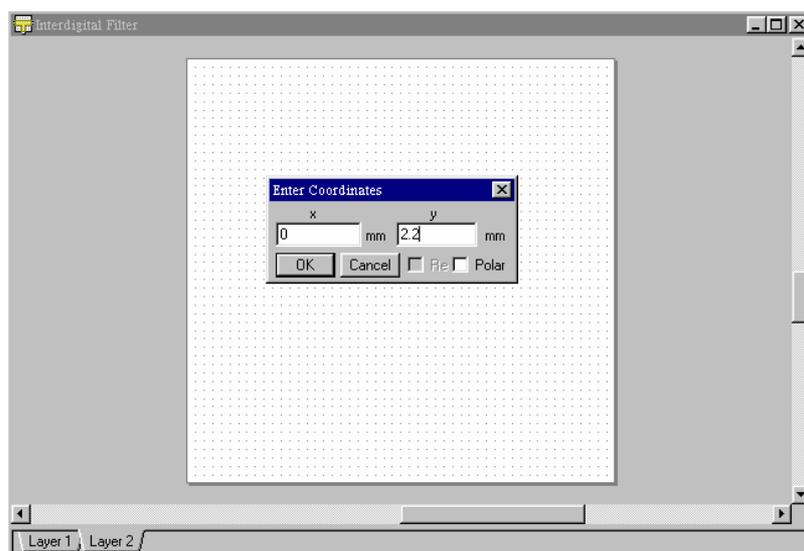


*Рис. 2.3. Граничные условия*

### 3. Добавление проводников к топологии

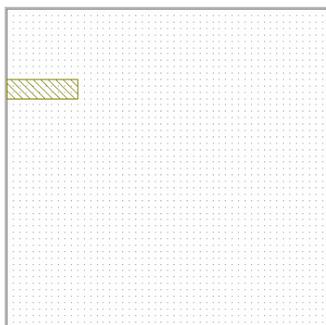
Для рисования физической топологии используют модельер EM.

1. Выберите **Draw > Add Rect Conductor** для добавления прямоугольного проводника.
2. Сдвиньте курсор в рабочее окно и нажмите клавишу **Tab**. Появится окно диалога ввода координат Enter Coordinates (рис. 2.4).



*Рис. 2.4. Начало рисования топологии с помощью ввода координат*

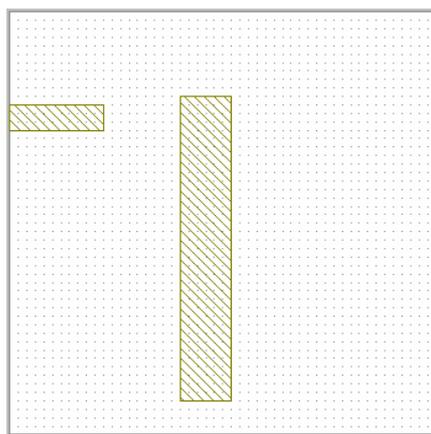
3. Напечатайте «0» в качестве величин  $x$  и «2.2» как величины  $y$ , и кликните **ОК**.
4. Нажмите клавишу **Tab** снова, чтобы увидеть диалог Enter Coordinates. Отметьте Re и напечатайте «2.2» как величину  $dx$ , и «0.6» как величину  $dy$ , и затем кликните **ОК**. Прямоугольный проводник будет иметь вид как на рис. 2.5.



*Рис. 2.5. Нарисованная форма проводника фильтра*

Чтобы нарисовать второй прямоугольный проводник:

5. Выберите **Draw > Add Rect Conductor**.
6. Сдвиньте курсор в окно фильтра и нажмите клавишу **Tab**. Появится окно диалога ввода координат Enter Coordinates. Впечатайте «4» как величина  $x$  и «2» как величину  $y$ , и затем кликните **ОК**.
7. Нажмите клавишу **Tab** снова чтобы вывести диалог Enter Coordinates. Напечатайте «1.2» как величину  $dx$ , и «7.2» как величину  $dy$ , и затем кликните **ОК**. Прямоугольный проводник будет иметь вид как на рис. 2.6.



*Рис. 2.6. Две нарисованные формы проводников фильтра*

Чтобы сдвинуть второй прямоугольник к первому проводнику:

8. Нажмите на второй прямоугольник. Появятся квадратики по углам прямоугольника.

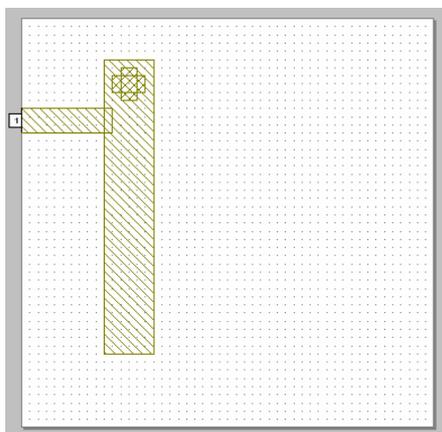


**Замечание.** Чтобы изменить вид 3D структуры, нажмите правой кнопкой мыши в 3D окне, затем выберите **Zoom Window**, **Zoom Out**, или **View All**. Чтобы вращать 3D структуру, кликните на ней и удерживая кнопку мыши, вращайте.

### 5. Добавление портов и плоскостей разгерметизации

EM моделировщик может задать электрические порты на краю корпуса и как пробники-перемычки, проходящие снизу или от поверхности дна. Для задания такого краевого порта:

1. Нажмите меньший проводник в структуре EM. Заметим, что проводник должен быть расположен точно по срезу левого края (X:0; Y:2.2), перед тем, как вы добавите крайовой порт к нему.
2. Выберите **Draw > Add Edge Port**.
3. Поместите курсор с левого края маленького проводника пока не появится квадратик, и нажмите левую кнопку мыши, для размещения порта. Маленький бокс с номером 1 (показывающий номер порта) появится с левого края проводника (рис. 2.8).



*Рис. 2.8. Установка порта с левого края микрополоскового фильтра*

Для вычитания величин электрической длины из результата моделирования, референсные плоскости для порта должны быть сдвинуты от края корпуса.

Для разгерметизации 1 мм электрической длины порта 1:

4. Нажмите правой кнопкой мыши в окне EM структуры, и выберите **View Area**.
5. Нажмите и удерживайте кнопку мыши чтобы увидеть увеличенный курсор затем протяните курсор вокруг порта 1 и маленького проводника.
6. Нажмите на порт 1. Четыре квадратика показывают их углы. Сдвиньте мышью вокруг края порта пока курсор не покажет двойную стрелку.
7. Нажмите и удерживайте клавишу мыши, чтобы увидеть **dx** и **dy**. Удерживайте кнопку мыши, протащите курсор вправо пока **dx** не покажет 1. Отпустите кнопку мыши, чтобы увидеть линию разгерметизации (рис. 2.9).

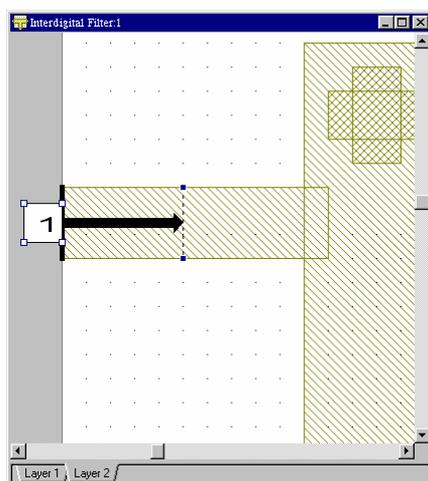


Рис. 2.9. Смещение опорной плоскости разгерметизации порта

## 6. Задание частот моделирования

Для задания частоты моделирования, сделайте:

1. В дереве проекта кликните правой кнопкой на **Interdigital Filter** под **EM Structure** и выберите **Options**. Появляется диалог Options.
2. Выберите закладку **Frequency Values**.
3. Активизируйте опцию **Use Project Frequency** для задания установки глобальных частот поверх установки глобальных частот проекта.
4. Убедитесь, что установлены GHz в **Data Entry Units**.
5. Напечатайте «1» в **Start** и «5» в **Stop**, и «1» в **Step**.
6. Нажмите **Apply** и затем **OK**. Окно Current Range показывает диапазон и шаг частот, который вы задали (рис. 2.10).

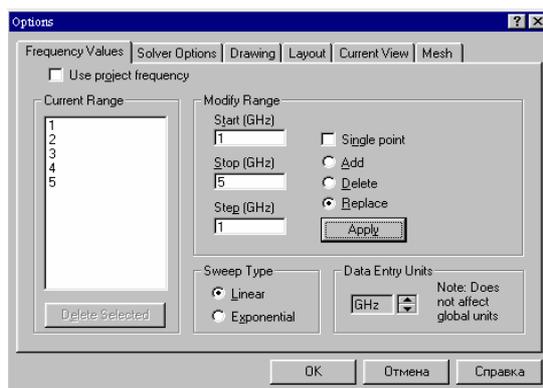


Рис. 2.10. Диалог установки частот моделирования

**Запуск моделирования.** Запустим моделирование для начальной топологии.

1. Дважды нажмите раздел Information под **Interdigital Filter** (под EM Structures). Появляется диалог **EM Solver Information** (рис. 2.11) для оценки времени моделирования данной структуры.

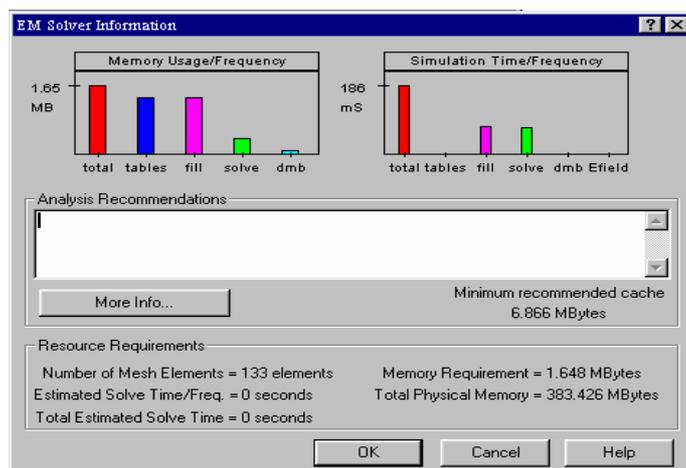


Рис. 2.11. Информация о необходимых ресурсах расчета EM задачи

2. Нажмите **OK** для закрытия этого диалога.
3. Выберите **Simulate > Analyze**. Индикатор процесса расчета (рис. 2.12) показывает частоты, на которых выполняется решение пошагово и процесс решения электромагнитного моделирования.

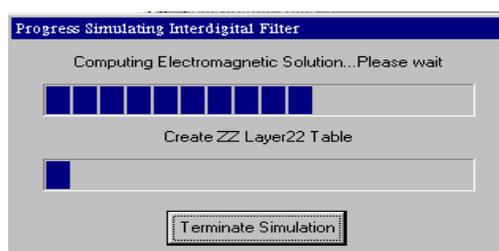


Рис. 2.12. Окно прогресса моделирования

## 7. Вывод результатов моделирования

Чтобы показать характеристики устройства на графике:

1. Выберите **Project > Add Graph**. Появляется диалог Graph.
2. Выберите **Rectangular** как Graph Type и кликните **OK**.
3. Нажмите на окно Graph 1 для активизации его (рис. 2.13).
4. Выберите **Project > Add Measurement**. Появляется диалог Add Measurement.
5. Выберите **S** как характеристику (рис. 2.14), выберите **Interdigital Filter** как **Data Source Name**, выберите **DB** в разделе Result Type, нажмите **ADD** и затем **OK**.
6. Выберите **Simulate > Analyze**. Характеристика будет показана на графике. Характеристика показывает, что резонансная частота находится вблизи 4 ГГц.

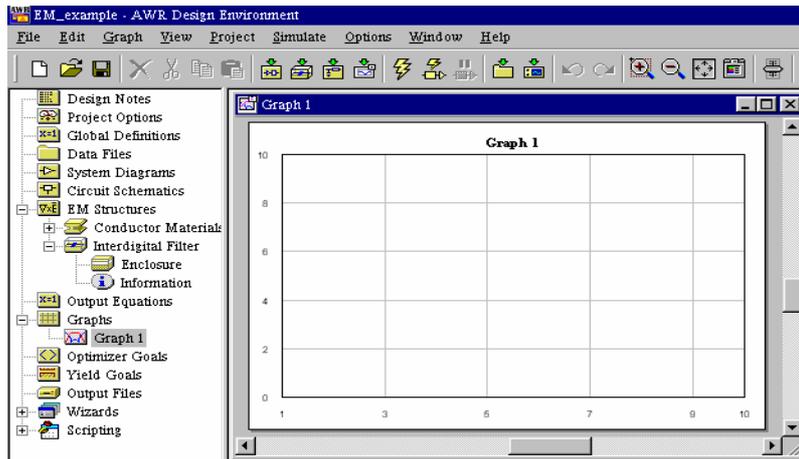


Рис. 2.13. Создания прямоугольного графика Graph 1

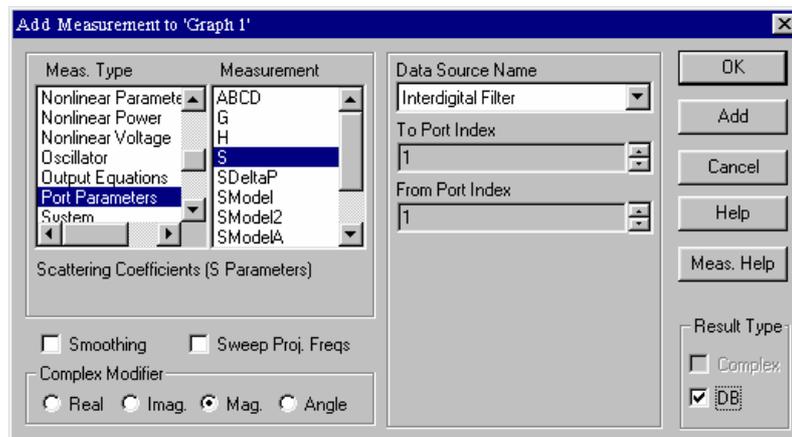


Рис. 2.14. Диалог вывода частотной характеристики на график

## 8. Анимирование тока и просмотр электромагнитного поля

Для просмотра анимированного тока и поля на проводниках сделайте:

1. Нажмите окно 3D, чтобы сделать его активным.
2. Выберите **Animate > Animate Play**. Анимированные токи показываются на топологии в 3D виде (рис. 2.15).

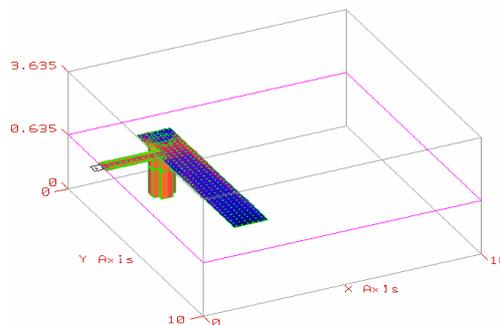
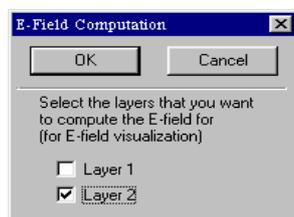


Рис. 2.15. Анимация тока на поверхности проводника

1. Выберите **Animate > Stop** для прекращения анимации. Чтобы показать электрическое поле на слое 2
2. Выберите **Animate > E-Field Setting**. Появляется диалог E-Field Computation (рис.2.16).



*Рис. 2.16. Установка для расчета электрического поля в диэлектрическом слое*

3. Выберите **Layer 2** и нажмите **OK**.
  4. Выберите **Animate > Analyze** для расчета электрического поля.
  5. Выберите **Animate > Play** для просмотра тока и электрического поля.
  6. Выберите **Animate > Stop** для остановки анимации.
- Для исключения расчета поля:
7. Выберите **Animate > E Field Setting**. Появится диалог расчета поля, в котором деселектируйте **Layer 2** и кликните **OK**.

### 3. СХЕМОТЕХНИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ

Графическое представление электрической схемы в MWO создается в окне **Schematics**. С ее помощью можно рассчитать малосигнальный коэффициент усиления, коэффициент шума, условия сопряженного согласования,  $S$ -параметры, устойчивость и др. (пример схемы, подготовленной для моделирования, приведен на рис. 3.1).

#### 1. Составление и решение схем. Подсхемы, порты и соединения.

**Подсхемы.** Программа **Voltaire XL** позволяет описать конструкцию в виде иерархической схемы, используя подсхемы. Подсхема становится блоком, вложенным в другой блок. Подсхема может представлять собой любой из четырех типов блоков, перечисленных ниже.

**Файлы данных.** Это обычно текстовый файл  $S$ -параметров или данных других типов, которые содержат параметры  $N$ -портовой схемы в диапазоне частот. Каждый объект файла данных представлен как элемент, расположенный в группе **data file** дерева проекта. Каждый файл данных имеет свое название. Оно отображается рядом со значком файла данных в проекте. Путь файла данных приводится после названия объекта файла данных в прямоугольных скобках [ ]. Измеренные  $S$ -параметры включаются в схему как подсхемы. Чтобы представить файл как подсхему, он должен быть сначала добавлен к проекту как файл

данных. Такие файлы автоматически указываются в списке подсхем, которые могут быть добавлены к схеме. Отметим, что файлы данных аналогичны файлам в формате Touchstone, могут содержать и шумовые параметры. Диапазон частот, в котором представлены данные в файле, должен быть достаточно широк, чтобы охватить всю полосу частот моделирования. Если данные измерены в более узкой полосе частот, то система будет экстраполировать данные, что может привести к неточным результатам.

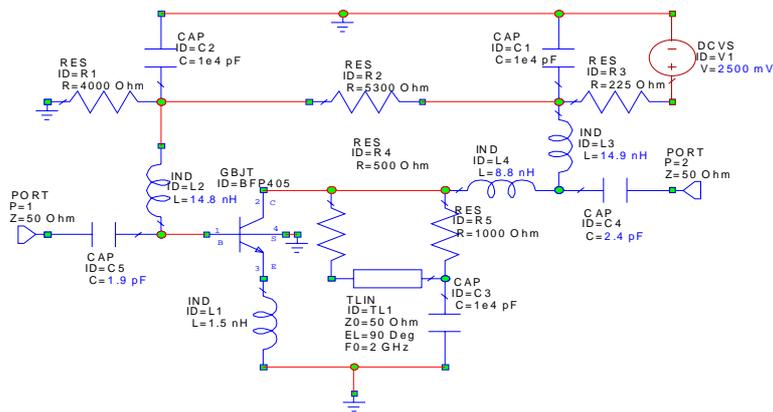


Рис. 3.1. Схема однокаскадного усилителя на ПТ

**Schematics (подсхемы).** Подсхема может быть другой схемой проекта, имеющей свое имя. Вложения схем одна в другую позволяет создавать неограниченное число иерархических уровней, так как любое схемное решение может включать другие подсхемы. Единственное исключение - подсхема не может быть помещена в схему верхнего уровня, когда подсхема прямо или косвенно связана с этой схемой (что привело бы к циклическому вложению).

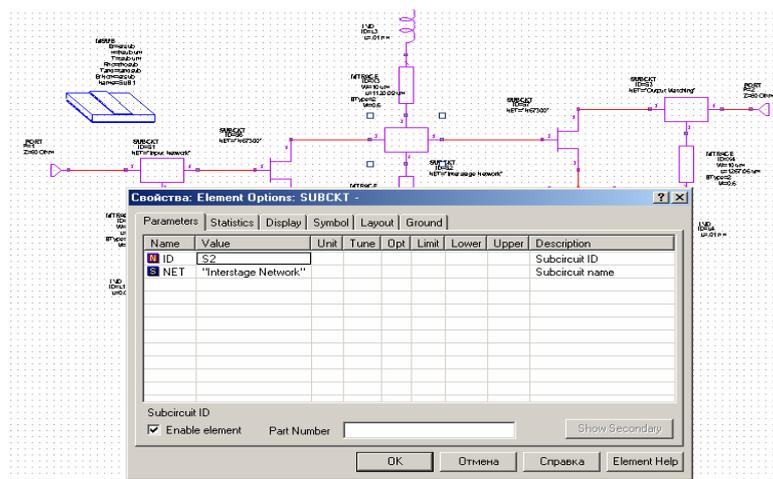


Рис. 3.2. Диалоговое окно редактирования параметров подсхемы SUBCKT

**Netlists (списки соединений).** Подсхема может быть описана также в виде текстового файла— списка соединений. Подсхемы в виде списков соединений в свою очередь могут содержать списки соединений или другие схемы (это позволяет при описании схемы комбинировать схемные решения и списки соединений).

**EM структура.** Подсхема может быть получена на основе EM-моделирования. Если EM-структура – часть проекта, все, что требуется, это включить EM-структуру как подсхему в схемное решение или в список соединений. Как правило, частотный диапазон, использованный для EM-моделирования, установлен для каждой отдельной структуры в EM-проекте.

**Соединения.** Схема в программе Voltaire XL описана как связанный набор подсхем и отдельных схемных элементов. После того, как схема определена, она может использоваться как подсхема подобно обычному элементу. Математически она представлена  $N \times N$  матрицей полной проводимости, где  $N$  – число узлов схемы. Если необходимы  $S$ -параметры или другие параметры, отображающие связи между портами этой схемы, Voltaire XL выполнит требуемые преобразования. Так как подсхема представлена матрицей полной проводимости, импедансы портов, к которым подключена подсхема, не включаются в другую подсхему. Это может эффективно использоваться, когда схема, содержащая порты, включается в другую схему как подсхема. На моделирование влияет только нагрузка порта на самом верхнем уровне иерархии. Пользователь может задавать импедансы порта каждой подсхемы и оставшиеся соединения между подсхемами любым способом.

**Порты и нормированные сопротивления.** По существу, большинство характеристик (коэффициенты устойчивости, импедансы, обеспечивающие сопряженное согласование, и т.п.) используют только порты 1 и 2, а все другие порты, если таковые имеются, нагружаются на нормированные импедансы. Значения нагрузок портов могут быть действительными или комплексными. Импеданс со стороны другой схемы может также использоваться как импеданс нагрузки. Чтобы нагрузить другую схему, используйте «Network Terminated Circuit Port» по имени Port TN. Этот элемент позволяет задать схему, которую нужно использовать как нагрузку, а также номер порта схемы, который нужно нагрузить. Не имеется ограничений на число портов, которые могут иметь нагрузки, и нет ограничений на число узлов портов для схемы, использованной как нагрузка. Когда подсхема используется в другой схеме, нагрузки порта подсхемы не включены. Если импедансы портов отличны от 50 Ом, то результирующие  $S$ -параметры будут нормированы к этим нагрузкам, не равным 50 Ом. Большинство других характеристик, которые отображаются на диаграмме Смита, автоматически будут нормированы к 50 Ом.

**Работа со схемой (Schematics).** Нажмите правой кнопкой мыши на элементе **Schematics** это позволит добавить к проекту схему или схемный файл (netlist) (см. рис. 3.3).

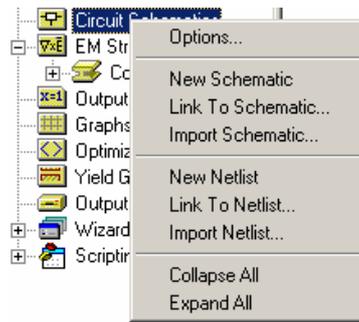


Рис. 3.3. Создание схем

Поясним команды меню на рис. 3.3:

**New Schematic (новая схема)**: в результате выполнения этой команды открывается окно для создания принципиальной схемы блока, входящего в проект. Одновременно создается копия файла, и она делается частью проекта. Копия файла имеет расширение имени (\*.sch), а по команде New Netlists создается файл с расширением (\*.ckt).

**Link To Schematic (связь со схемой)**: обеспечивается доступ к файлу с расширением имени .sch или .ckt, но его копирование в проект не выполняется. Файл должен иметь атрибут разрешения для чтения.

**Import Schematics (импорт схемы)**: щелчок на выбранном объекте в окне просмотра проекта или после команды Export из всплывающего меню выполняют импорт выбранного объекта в схему.

**Collapse All (сворачивание)**: по этой команде сворачиваются списки вложенных модулей всего проекта.

**Expand All (разворачивание)**: по этой команде разворачиваются списки вложенных модулей всего проекта.

## 2. Редактирование схемы

В дереве проекта в группе Schematics имеется объект **Default Ckt Options (Заданные по умолчанию опции)**. Двойное нажатие по этому объекту открывает диалоговое окно редактирования параметров анализа схем, устанавливаемых по умолчанию при схемотехническом моделировании.

**Harmonic Balance (гармонический баланс)**. При моделировании методом гармонического баланса указывают число гармоник, задают критерий сходимости и другие параметры.

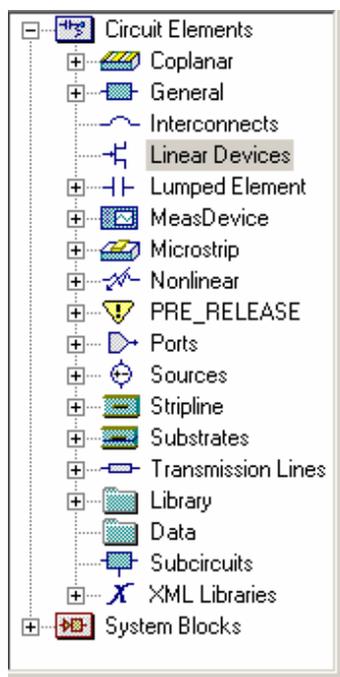
**Element Display (показать элемент)**. Задаются принимаемые по умолчанию параметры отображения элементов.

**Добавление элементов**. Принципиальная схема проекта состоит из проводников, символов заземлений, портов и прочих элементов (их краткий перечень приведен в табл. 3.1). Начертания и описания элементов находятся в специальных библиотеках, которые активизируются, когда пользователь раскрывает вкладку Elements (см. рис. 3.4). В окне просмотра имеется структура каталога, содержащая все элементы, доступные для использования в схемах.

Двойной щелчок на элементе дерева элементов открывает список всех доступных в данной библиотеке элементов. Например, после двойного щелчка на Linear Devices, в нижнем окне отображается список, приведенный в табл. 3.2.

Состав каталога элементов

Таблица 3.1.



Coplanar	Копланарные линии передачи
General	Компоненты на системном уровне: усилители, фильтры,...
Interconnects	Перемычки, воздушные мосты, заземления,...
Linear Devices	Линейные модели нелинейных приборов
Lumped Element	Дискретные элементы: резисторы, конденсаторы,...
MeasDevice	Амперметр, вольтметр, измеритель мощности
Microstrip	Микрополосковые элементы
Nonlinear	Нелинейные элементы
Ports	Порты
Sources	Источники сигналов
Substrates	Подложки
Transmission Lines	Линии передачи
Library	Библиотеки
Data	Файлы данных
Subcircuits	Подсхемы

Рис. 3.4. На закладке Elements помещен каталог библиотеки элементов

Подцепив курсором любой из символов этих элементов, можно с помощью мыши перенести его в поле схемы и установить в желаемом месте. Прежде, чем нажать на левую кнопку мыши при окончательной установке элемента в схеме, нажмите на правую кнопку, при этом элемент будет вращаться вокруг своей оси.

Линейные модели транзисторов

Таблица 3.2.

BIP	модель биполярного транзистора
HYBRI	гибридная схема
BIBP	биполярный транзистор с $\beta$ управлением
PIN	p-i-n диод
FET	полевой транзистор
PIN2	p-i-n диод

Модели портов

Таблица 3.3.

PORT_PLS	Порт с импульсным сигналом на входе
PORT_TRI	Порт с треугольным сигналом на входе
PORT_SAW	Порт с сигналом на входе
PORT_SQR	Порт с сигналом на входе

Порт в схему помещается непосредственно из списка элементов. Вдобавок к этому простейший односигнальный порт можно добавить из меню **Schematic**, выбрав команду **Add > Ports**. После активизации любого элемента, расположенного на схеме, и двойного щелчка по нему появляется диалоговое окно редактирования параметров порта (рис. 3.5).

Более подробную информацию о любом элементе можно получить, нажав на кнопку **Element Help**.

Подключение к схеме, например, импульсного сигнала выполняется с помощью порта **PORT\_PLS**. В табл. 3.4 приводится список параметров этого порта, приведенный в соответствующем диалоговом окне.

Параметры порта с импульсным сигналом

Таблица 3.4.

Имя параметра	Описание	Тип параметра	Значение по умолчанию
P	номер порта	нет	0
Z	импеданс нагрузки	сопротивление	50 Ом
AMP	величина ЭДС сигнала	напряжение	0 В
TW	длительность импульса	время	0 нс
TR	длительность фронта	время	0 нс
TF	длительность заднего фронта	время	0 нс
TD	время задержки	время	0 нс

Некоторые параметры заблокированы, другие доступны для редактирования и для задания в качестве оптимизируемых параметров. Если открыть отредактированные длительности фронта как дискретные параметры, то появятся дополнительные опции, например **Statistic** (статистическое распределение). Если порт установлен, его можно модифицировать. Порты редактируются как обычные элементы. Для изменения типа порта в диалоговом окне раскройте вкладку **Port** (рис.3.5) и сделайте необходимые изменения.

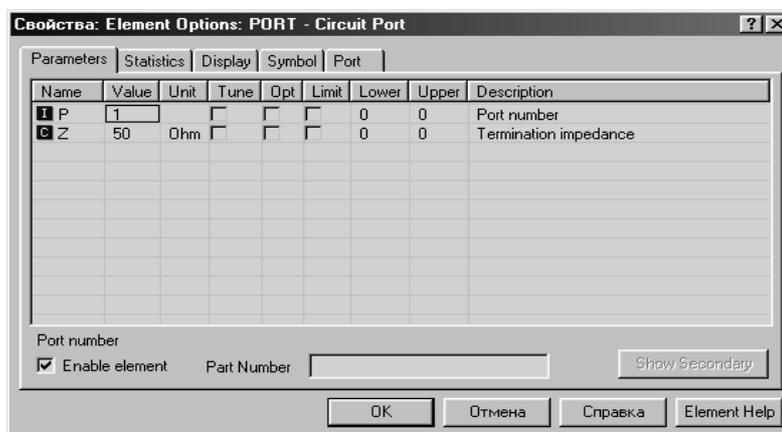


Рис. 3.5. Диалоговое окно редактирования параметров порта

Описание элементов вкладки **Port**:

*Port Type (тип порта)* – источник сигнала, нагрузка;

*Tone Type (тип возбуждения)* – тон 1, тон 2, тон 3, тоны 1 и 2;

*Network Terminated (нагрузка схемы)* – должна ли быть нагружена схема;

*Swept Power (сweeping мощности)* – должна ли изменяться мощность;

*Signal source (источник сигнала)* – треугольный, прямоугольный, пилообразный.

Можно изменить и вид графического символа элемента или чертеж ее ячейки на печатной плате, указывая их имена в списке **Compatible symbols** или **Compatible cells** (рис. 3.6).

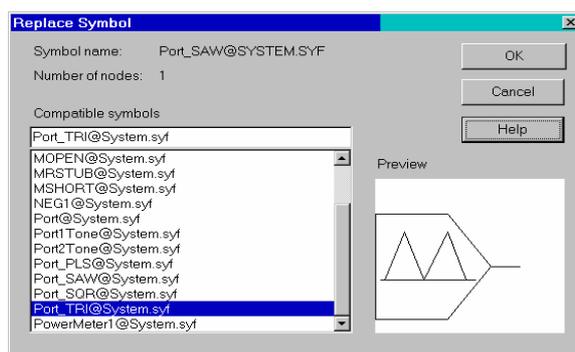


Рис. 3.6. Выбор графического символа элемента

Параметры порта можно редактировать и на самой схеме, выделяя и активизируя отдельные параметры в его описании.

### 3. Создания и моделирования схем

**Создание нового проекта.** В меню **File** выберите пункт **New Project** (новый проект).

**Создание новой схемы.** В меню **Project** выберите пункт **Add Schematic** (добавить схему) и далее в подменю выберите команду **New Schematic** (новая схема). В открывшемся диалоге **Create New Schematic** (создайте новую схему) введите название схемы.

**Активизация просмотра элементов.** Раскройте вкладку **Elem** (элементы) в нижней части окна проектов.

**Выбор элементов схемы.** В иерархическом списке **Circuit Elements** (элементы схем) выберите пункт **Lumped Elements** (элементы с сосредоточенными параметрами). Далее выберите пункт **Capacitor** (конденсатор), в результате чего в левом нижнем углу окна проекта появятся значки нескольких типов конденсаторов. Выберите значок **CAP** и, не отпуская левую кнопку мыши перетащите его в окно схемы. В окне схемы элемент можно перемещать при освобожденной левой кнопке. Для фиксации элемента на схеме сделайте левой кнопкой щелчок.

**Поворот элементов.** В списке **Circuit Elements** выберите элемент **Inductor** и

переместите в схему значок элемента IND Inductor (индуктивность). Сделайте щелчок правой кнопкой мыши, чтобы повернуть элемент на угол в  $90^0$ . Каждый последующий щелчок опять приведет к повороту элемента на  $90^0$ . Сориентировав элемент требуемым образом, установите его в нужное место схемы и зафиксируйте его положение щелчком левой кнопки мыши. После этого элемент можно снова повернуть с помощью контекстного меню, вызываемого щелчком правой кнопки. Соединение ее с имеющимся на схеме конденсатором произойдет автоматически, если выводы двух компонентов касаются друг друга.

**Копирование и вставка элементов схемы.** Далее выделите два элемента, CAP и IND, обведя вокруг них пунктирный прямоугольник, при нажатой и удерживаемой левой кнопке мыши. В меню **Edit** выберите команду **Copy**. Затем в меню **Edit** выберите команду **Paste** (вставка), чтобы получить второе изображение. Установите элементы, как показано на рис. 3.7. (Можно также нажать клавиши **Ctrl+C** для копирования и **Ctrl+V** для вставки).

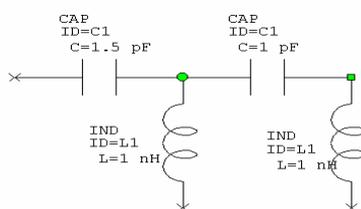


Рис. 3.7. Соединение компонентов

Далее следует добавить еще один конденсатор, чтобы схема получилась симметричной. Это можно сделать, выбрав конденсатор из закладки Elements перетащив его в окно схемы.

**Соединения элементов.** Теперь используйте средство трассировки, чтобы соединить выводы индуктивностей. Подведите курсор мыши на зеленый квадрат, означающий узел одной из индуктивностей. Когда курсор превратится в спиральку, произведено соединение с этим выводом. Щелкните левой клавишей мыши и протащите пунктирную линию к другому выводу. Затем следует щелкнуть курсором – знаки «X» превратятся в зеленые круги, и появится проводник, соединяющий эти выводы, как показано на рис. 3.7.

**Редактирование параметров элементов.** Величины элементов можно изменять с помощью диалогового окна Свойства, вызываемого двойным щелчком, по изображению элемента (рис. 3.8).

Список имеющихся в проекте компонентов помещен в верхний левый угол этого окна. Выберите в списке конденсатор C и установите значение его параметра Value (в данном случае емкость) равным 1.5 pF (пФ). Вы можете также заменить тип компонента ID (C, L и т. п.) из числа имеющихся в схеме. Затем выберите панель Constrained (ограничения) и установите значения нижнего предела и верхнего предела параметров текущего компонента, в данном случае 0 pF и 3 pF. Наконец установите галочки в окошке Tune (ручная подстройка) и

**Optimize** (оптимизация) и нажмите **ОК**.

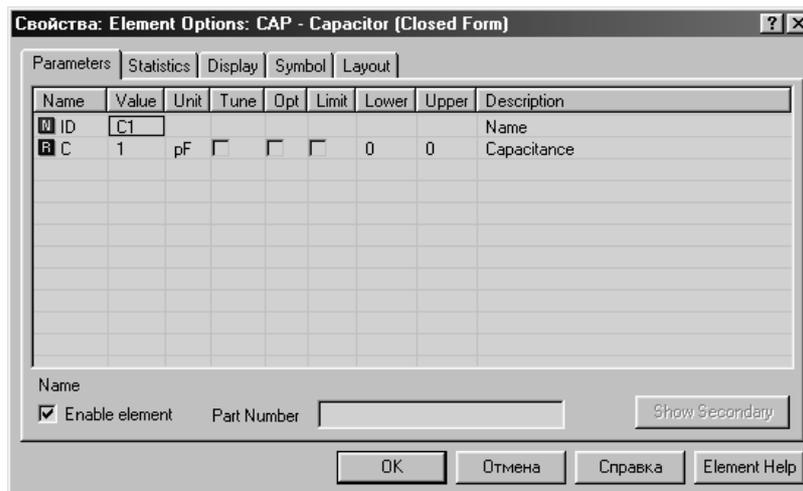


Рис. 3.8. Изменение величины элемента в диалоговом окне Свойства

**Редактирование параметров на схеме.** Для редактирования параметров компонентов схемы не обязательно вызывать диалоговое окно Свойства, это можно сделать прямо на схеме. Выделите не сам элемент, а его описание и сделайте двойной щелчок над параметром, который требуется изменить. Появится специальное окно редактирования с текущим значением параметра. Сделайте необходимые изменения и закройте окно простым щелчком в любом месте окна схемы.

**Добавление заземления.** Для завершения схемы фильтра нужно добавить порты  и заземления . Добавьте два порта на входе и выходе, щелкнув левой клавишей на кнопке **Port** (порт), расположенной на инструментальной панели. Подобно другим элементам, они могут вращаться нажатием правой кнопки мыши. Добавьте элемент «земля». Завершите создание схемы фильтра (рис. 3.9.)

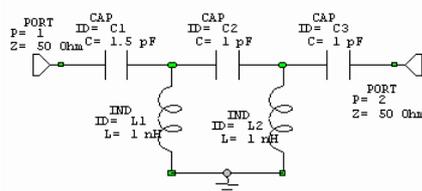


Рис. 3.9. Схема фильтра

**Задание диапазона частот анализа.** Для задания рабочего диапазона частот раскройте вкладку Project расположенную внизу основного окна. Выберите в иерархическом списке элемент **Project Options** (параметры проекта), что при-

ведет к открытию одноименного диалогового окна, в котором на вкладке **Frequency Values** (значения частоты) можно задать границы частотного диапазона и шаг изменения частоты (рис. 3.10).

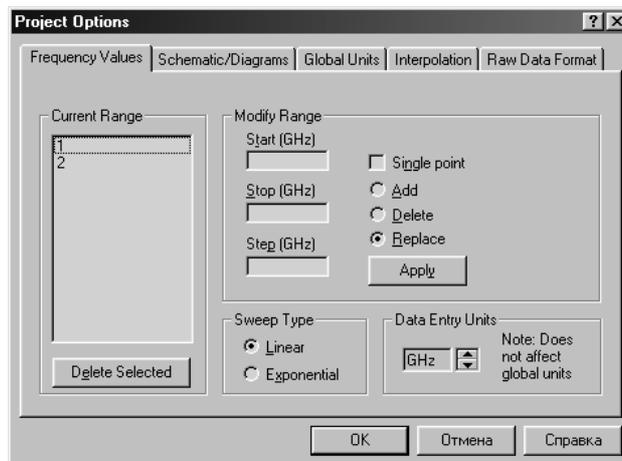


Рис. 3.10. Диалоговое окно задания диапазона частот

Введите в этом окне значения начальной частоты **Start**, конечной частоты **Stop** и величину шага **Step**. Нажмите кнопку **Apply** или **OK**.

**Добавление графика.** Для добавления в проект графика в меню **Project** выберите пункт **Add Graph** (добавить график) и в открывшемся диалоговом окне **Create Graph** (создание графика) установите кнопку **Rectangular** (рис. 3.11). Для закрытия диалогового окна нажмите кнопку **OK**.

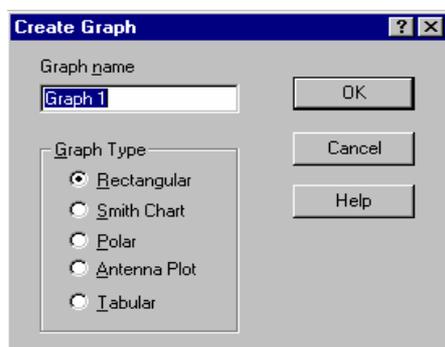


Рис. 3.11. Выбор типа графика

**Выбор рассчитываемых величин.** Задайте сначала величины, выводимые на первый график, для этого в меню **Project** создайте график **Graph 1**, а затем выберите команду **Add Measurement**. Отображаемые на графике характеристики выбираются в диалоговом окне, показанном на рис. 3.12.

В диалоговом окне **Add Measurement** (рис. 3.12) сделайте следующие установки:

- в списке **Meas. Type** (тип вычислений) выберите строку **Port Parameters** (па-

раметры входа, выхода);

- в списке **Measurement** (расчет характеристики) выберите элемент **S** [S-параметры];
- в раскрывающемся списке **Data Source Name**, выберите элемент **Low Pass Filter** или **All Sources**;
- установите два индекса S-параметра **To (From) Port Index**;
- в графе **Result Type** (тип результата) установите флажок **DB** (дБ) и нажмите кнопку **Apply** (применить) чтобы добавить вычисление  $S_{11}$  (в дБ);
- нажмите **ОК**.

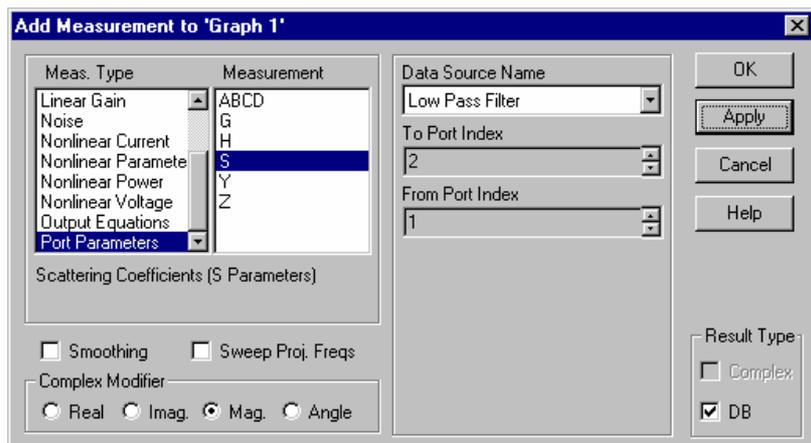


Рис. 3.12. Выбор рассчитываемых характеристик

#### 4. Выполнение моделирования

Запустите моделирование, нажав на кнопку . По его окончании будет построен график, подобный изображенному на рис. 3.13. С помощью мыши можно передвинуть его в нужное место и изменить режим объединения точек на характеристиках и другие параметры графиков с помощью диалогового окна **Grid Format Options** (также можно выбрать формы маркеров, изменить стиль и цвета линий и сделать другие модификации).

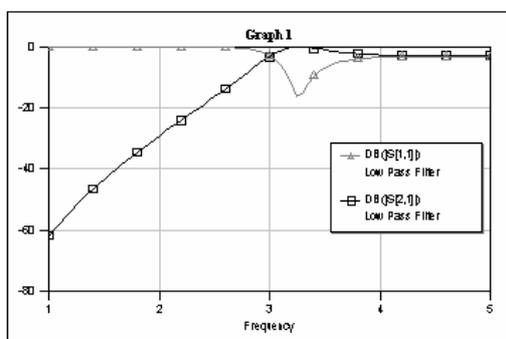


Рис. 3.13. Графики S-параметров

**Настройка схемы.** Нажмите на кнопку , в результате чего откроется диалоговое окно Variable Tuner (тюнер переменных, рис. 3.14). Тюнер переменных используется как механизм подстройки в реальном времени ранее введенных параметров (не более 10 одновременно), так что все изменения характеристик будут немедленно видны на графиках. Для работы с тюнером сначала нужно указать на подстраиваемые переменные. Для этого нажмите на кнопку, и затем щелчками курсора, изменившего свою форму, укажите на подстраиваемые элементы, например L1:L, C3:C, R2:R.

**Примечание:** Каждый параметр элемента, выбранный для подстройки, меняет свой цвет на синий, и для его изменения создается новый движковый регулятор в окне Variable Tuner. Выбрав для подстройки в схеме фильтра на рис. 3.10 все 5 параметров, получим окно Variable Tuner, рис. 3.14.

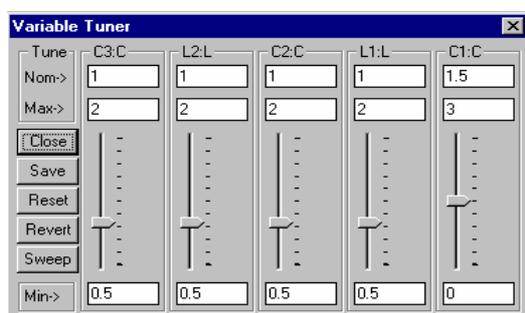


Рис. 3.15. Подстройка параметров

Попробуйте отрегулировать параметры, так чтобы получить следующий результат: [S11] – не более минус 14 dB на частотах выше 3 ГГц;

[S21] – не менее минус 20 dB на частотах выше 2 ГГц.

**Использование окна просмотра.** Прежде, чем оптимизировать цепь, необходимо задать варьируемые параметры и ввести ограничения на их величины. Это может быть легко выполнено, выбирая на схеме символ элемента, как указано на шаге 8. Альтернативный и более быстрый путь — использование окна просмотра. Щелкните на закладке **Variables**, появятся введенные данные. Выделите пункт High Pass Filter в верхней половине окна просмотра. Оно должно быть похожим на рис. 3.15.

T	O	C	Element	Name	Value	Lower	Upper
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	C1	C	0.98	0	3
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	L1	L	1.55	0	3
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	C2	C	0.57	0	3
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	L2	L	1.53	0	3
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	C3	C	1.09	0	3
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	P1	Z	50	0	0
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	P2	Z	50	0	0

Рис. 3.15. Окно просмотра закладки Variables

Кнопки «Т», «О» и «С» используются для того, чтобы включить или отключить Tuning (настройку), Optimization (оптимизацию) и Constraints (ограничения) параметров введенных элементов. Колонка Element (элемент) включает идентификаторы ID введенных элементов. Нажмите на панель «Т», чтобы включить текущий элемент в Тюнер переменных. Затем нажмите на панели «О» и «С» для каждого из параметров компонентов L и C. Неизменяемыми остались только сопротивления Z. Введите верхнее ограничение 3 нГн и 3 пФ для каждого L и C элемента, соответственно. Закройте тюнер переменных, щелкнув на крестик в его верхнем правом углу.

## 5. Установки оптимизации схемы

После установки параметров теперь все готово для проведения оптимизации цели. Сначала в меню **Project** выберите команду **Add Opt Goal** (добавить условия оптимизации, диалоговое окно показано на рис. 3.16).

Установите первую цель оптимизации, выбирая:

**Measurement:** DB[S[1,1]] — оптимизируемая характеристика;

**Goal Type:** Meas < Goal — критерий оптимизации;

**Range:** 3 GHz для MAX — начальная частота в диапазоне частот, в котором должно выполняться условие оптимизации;

**Goal** — цель оптимизации, равная в данном примере 14 дБ.

Повторите процесс оптимизации с целью добиться того, чтобы  $S[21] < 25$  дБ в диапазоне 0...2 ГГц.

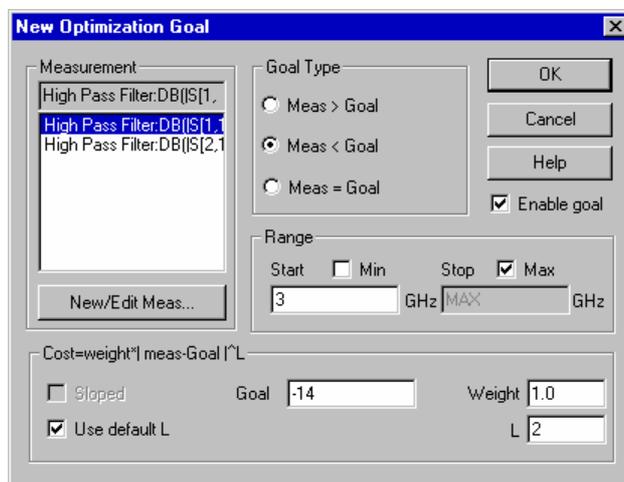


Рис.3.17. Диалоговое окно команды *Add Optimization Goal*

**Запуск на оптимизацию.** В меню **Simulate** выберите команду **Optimize**. В открывшемся одноименном диалоговом окне установите флажок **Show All Iterations** (показать все итерации) и выберите любой из методов оптимизации в раскрывающемся списке **Optimization Methods**, рис. 3.17. Нажмите кнопку **Start** (пуск).



Рис. 3.17. Настройка и выполнение оптимизации

В диалоговом окне будет вычерчен график функции ошибки (или Cost). Когда Cost = 0, нажмите кнопку **Stop**. На этом процесс оптимизации завершается.

## 4. СОЗДАНИЕ ТОПОЛОГИИ СХЕМЫ

Для создания топологии схемы необходимо выполнить следующие действия:

- Импорт файла процессирования топологии (LPF).
- Редактирование единиц базы данных и размера сетки.
- Импорт библиотеки ячеек.
- Импорт и размещение файла данных в схеме.
- Изменение схемного символа.
- Размещение микрополосковых линий в топологии.
- Установка соответствия трафарета и схемного элемента.
- Просмотр топологии.
- Создание ячейки трафарета.
- Привязка топологической ячейки к топологии.
- Манипуляция элементами MTRACE в топологии.
- Слияние форм в топологии.
- Экспорт топологии.

### 1. Импорт файла процессирования слоев

Файл **Layer Process File (LPF)** имеет установки топологии, включая нарисованные слои, соединения между слоями, информацию о 3D представлении и топологию для электромагнитного моделирования EMSight.

Чтобы импортировать LPF:

1. Нажмите закладку **Layout** внизу, чтобы открыть менеджер топологии;
2. Нажмите правой кнопкой мыши **Layer Setup**, и выберите **Import Process Definition**. Появляется окно **Open**;
3. Выберите директорию **...\AWR\AWR2002** (это директория по умолчанию, где инсталлирован MWO);

4. Подсветите файл **MIC\_English.lpf** и нажмите **Open**. Появится окно менеджера топологии, которое будет выглядеть как на рис. 4.1.

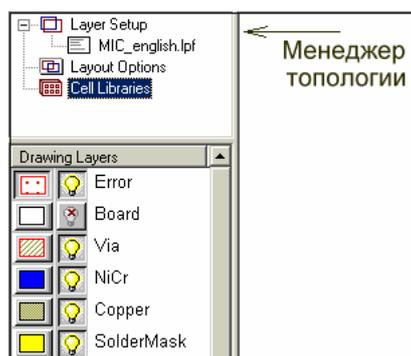


Рис. 4.1. Окна управления топологией

## 2. Редактирование единиц базы данных и размера сетки

Единицы базы данных определяют точность топологии. Очень важно, что этот параметр не нужно изменять после того, как он установлен. Изменение единиц может привести к ошибкам округления, что вызовет проблемы в топологическом файле. Размер сетки важен еще и потому, что многие проекты должны перечерчивать сетку. Сетка должна быть больше или равна единице базы данных. Из-за того, что размер сетки кратен единице в базе данных, рекомендуется устанавливать размер сетки ровно в 10 раз крупнее, чем единицы в базе данных. Это заранее установленная минимальная сетка.

Чтобы отредактировать единицу базы данных и размер сетки:

1. Выберите **Options > Layout Options** (рис. 4.2)
2. Напечатайте «1» в **Grid Spacing** и «0.1» в **Database size**, затем нажмите **OK**.

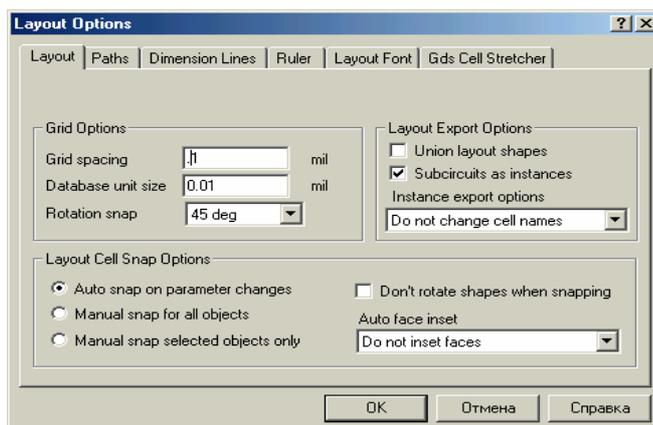


Рис. 4.2. Диалог установки опций топологии

## 3. Импорт библиотеки ячеек GDSII

Чтобы импортировать библиотеку ячеек GDSII:

1. Нажмите правой кнопкой мыши на **Cell Library** в менеджере топологии и выберите Read GDSII Library.
2. Выберите директорию ... \AWR\AWR2002 (или директорию, где установлен MWO).
3. Откройте поддиректорию **Examples** и затем дважды нажмите на **Quick Start**.
4. Нажмите файл **packages.gds**, а затем на **Open**. Импортированная библиотека ячеек показывается в менеджере топологий (рис. 4.3).

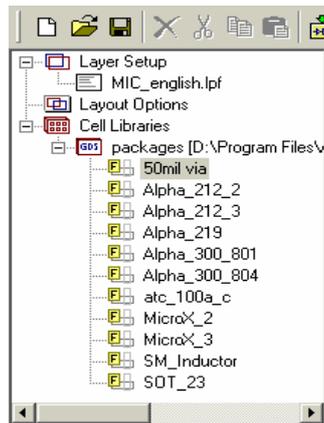


Рис. 4.3. Содержание импортированной библиотеки ячеек

#### 4. Импорт файла данных

1. Нажмите закладку **Proj.**
2. Нажмите правой кнопкой мыши **Data Files** в дереве проекта и выберите **Import Data File**. Появится окно **Open**.
3. Выберите директорию ... \AWR\AWR2002.
4. Дважды нажмите на поддиректорию **Examples**, а затем на поддиректорию **Quick Start**.
5. Нажмите файл **N76038a.s2p** и затем **Open** (рис. 4.4).

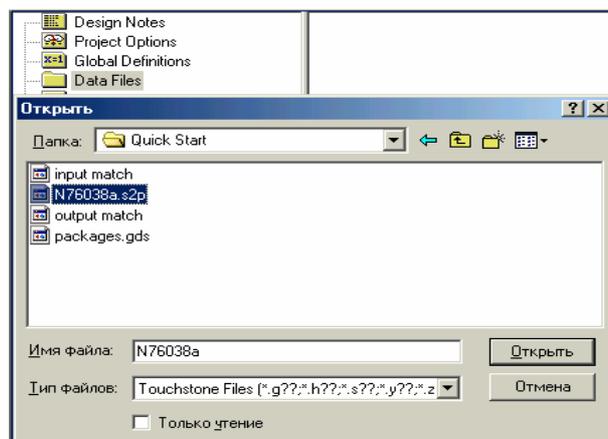


Рис. 4.4. Выбор импортируемого файла данных

Чтобы поместить файл данных на схеме:

1. Нажмите правой кнопкой мыши **Circuit Schematics** в дереве проекта и выберите **New Schematics**. Появится диалог Create New Schematic.
2. Напечатайте «**qs layout**» и затем кликните **OK**.
3. Нажмите закладку **Elem** внизу окна, чтобы увидеть браузер элементов.
4. Найдите пункт **Subcircuits** и нажмите на него. Внизу появятся модели подсхем.
5. Нажмите на модель **N76038a** и, удерживая мышью, перетащите этот элемент на схему (рис. 4.5).

Вы можете изменить количество выводов у этого элемента, поскольку ячейка должна иметь то же самое количество выводов, как и количество узлов у схемного элемента.

Чтобы добавить земляной вывод к файлу транзистора:

1. Дважды нажмите на элемент подсхемы в окне схемы. Появится диалог **Element Option**.

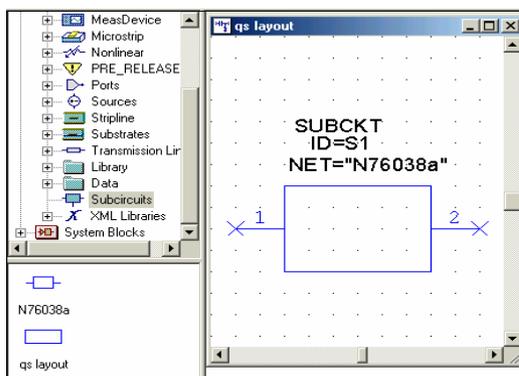


Рис. 4.5. Установка подсхемы в схемное окно

2. Выберите закладку **Ground** (рис. 4.6).

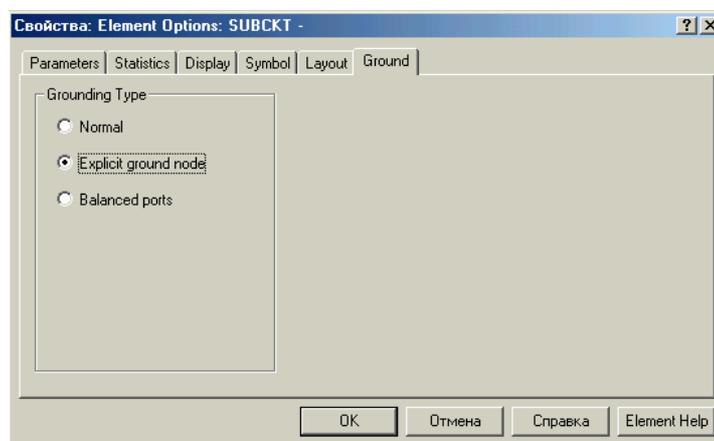


Рис. 4.6. Установка типа вывода заземления

3. Выберите **Explicit ground node** и кликните **ОК**. Появляется третий вывод у подсхемы.

### 5. Изменение символа элемента

Символ данной и любой другой подсхемы может быть изменен. Для FET удобно выбрать такой символ, чтобы видеть, какие узлы соответствуют затвору, истоку и стоку. Для изменения символа:

1. Нажмите дважды на элемент подсхемы в схематическом окне. Появляется диалог **Element Option**.
2. Нажмите закладку **Symbol**.
3. Выберите **FET@system.syf** в меню и затем нажмите **ОК**. Таким образом, символ подсхемы стал соответствовать рис. 4.7, что отражает его функциональное назначение.

### 6. Помещение микрополосковых элементов в топологию

Микрополосковые элементы имеют топологические ячейки по умолчанию. Эти топологические ячейки параметризованы и топология их меняется динамически.

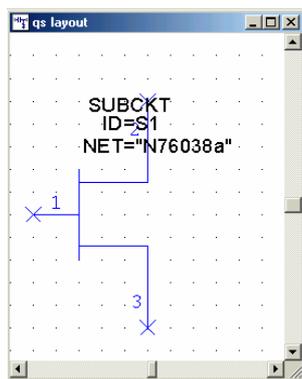


Рис. 4.7. Выбранный новый символ четырехполюсника

Для размещения микрополоскового элемента:

1. Нажмите закладку **Elem**, чтобы увидеть браузер.
2. Дважды нажмите на **Microstrip** в браузере.
3. Нажмите на **Lines**, чтобы увидеть модели линии в нижней панели (рис. 4.8).
4. Нажмите модель **MLIN** и перетащите элемент на схему, соединив его с подсхемой **N7068a**.
5. Теперь нажмите **Junction** в браузере Microstrip. В нижней панели появятся символы выходы (junction). Обратим внимание, что элементы, обозначенные \$ в конце имени элемента описываются (имеют свои атрибуты) характеристиками порта, к которому они присоединены. Элементы, которые имеют «X» на этом конце создаются из таблицы генерации модели

EM. Таким образом, имя «MTEREX&» это микрополосковое разветвление, основанное на таблице, рассчитанной по EM модели, которая получает свою ширину от портов к которому она присоединена.

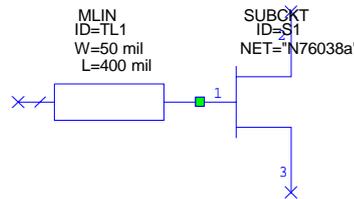


Рис. 4.8. Дополнение схемы микрополосковой линией

6. Нажмите на модель MTEES\$, перетащите этот элемент на схему и присоедините его к элементу MLIN.
7. Нажмите **Lines** в разделе **Microstrip**. Кликните модель **MTRACE** в нижнем окне и перетащите этот элемент в схему, поместив его слева от MTEES\$.
8. Нажмите модель **MLEF**, перетащите ее в схему, сделав поворот и присоедините к узлу 3 элемента MTEES\$.
9. Дважды нажмите на элемент **MTRACE** на схеме, чтобы открыть окно Element Options.
10. Отредактируйте параметры элемента MTRACE и согласуйте их как на рис. 4.9.
11. Повторите шаг 9 для редактирования их параметров элементов MLIN и MLEF.
12. Нажмите **Substrates** в браузере элементов. Модели подложек появятся в нижней панели.
13. Нажмите на модель **MSUB** и перетащите ее на схему.
14. Дважды нажмите на элемент **MSUB** и установите параметры подложки, как на рис. 4.10. Нажмите **OK**.
15. Нажмите кнопку **Port** и перенесите его на схему, поместив слева элемента MTRACE. Аналогично, установите второй порт к стоку транзистора. А к истоку транзистора присоедините землю.

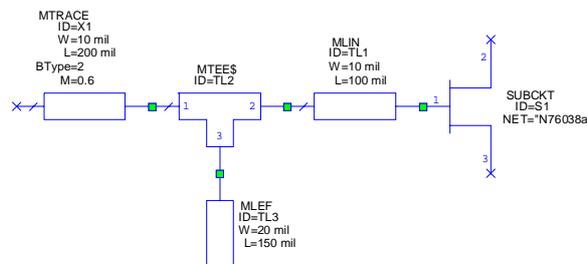


Рис. 4.9. Дополнение схемы усилителя шлейфом и линией

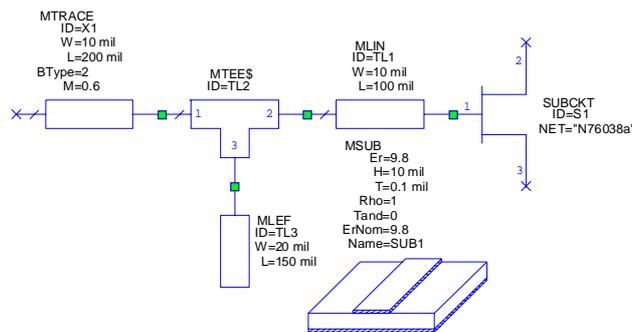


Рис. 4.10. Включение данных о подложке в схему транзисторного СВЧ усилителя

### 7. Установка соответствия топологии ячейки и элемента схемы

Топологическая ячейка, которая представляет топологию, может быть связана со схемным элементом. Для этого:

1. Дважды нажмите элемент подсхемы **N76038a** в схематическом окне, для вывода диалога **Element Option**.
2. Откройте закладку **Layout** (рис. 4.11).
3. Выберите **Alpha\_212\_3** в **Compatible cells** и затем кликните **OK**.

### 8. Просмотр топологии

Схема и топология – это разное представление одной и той же базы данных. Любые редактирования параметров на схеме немедленно отражаются на топологии и наоборот. Чтобы увидеть топологию:

1. Нажмите на схематическое окно и сделайте его активным.
2. Выберите **Schematic > View Layout**. Топология появится в топологическом окне.

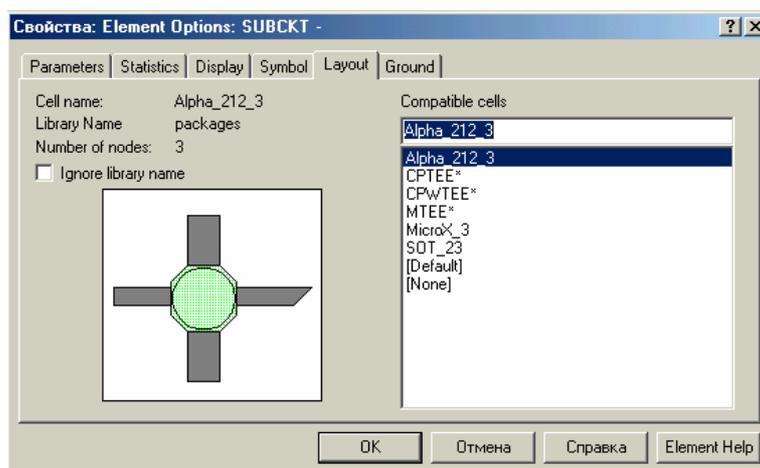


Рис. 4.11. Выбор символа ячейки

3. Выберите **Edit > Snap Together**, чтобы соединить все фаски элементов топологических ячеек вместе (рис. 4.12). Для вывода топологии можно также нажать кнопку **View Layout** на инструментальной панели.

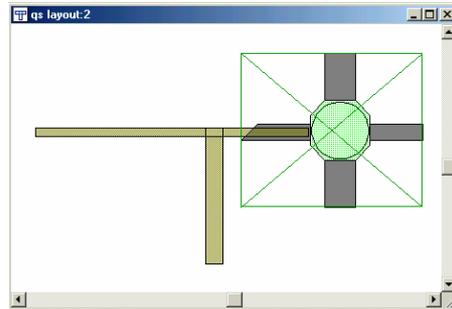


Рис. 4.12. Создание и слияние топологии

### 9. Привязка (фиксация) топологической ячейки

Топологические ячейки имеют различные свойства, которые определяют связи каждой ячейки в общей топологии. Одно из важнейших свойств - это фиксация положения. Оно сохраняет положение ячейки так, что она не будет изменена никакими операциями сдвига. Это свойство обычно используется для задания опорных точек топологии.

Чтобы зафиксировать топологическую ячейку:

1. Выберите соответствующую ячейку **Alpha\_212\_3**. Нажмите правой кнопкой мыши и выберите **Shape Properties** для вывода диалога свойств ячейки.
2. Нажмите закладку **Layout** выберите **Use for anchor** и затем кликните **ОК**. Топологическая ячейка получит теперь следующий символ якоря, как показано на рис. 4.13.

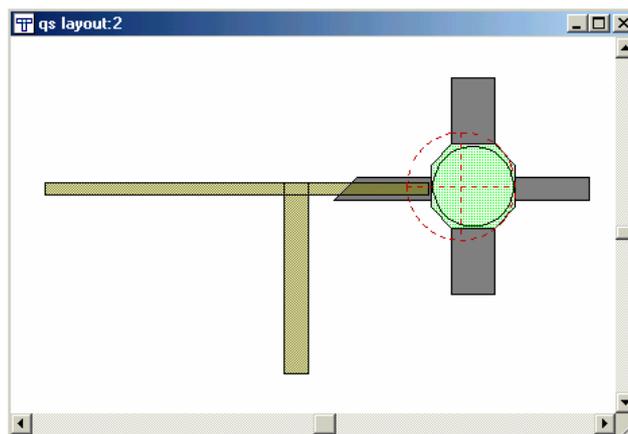


Рис. 4.13. Окончательная фиксация положения транзистора

### 10. Создание топологической ячейки

Чтобы создать топологическую ячейку:

1. Нажмите кнопку **Set Grid Snap Multiple** на инструментальной панели и установите его на 10x.



Рис. 4.14. Команда установки частоты сетки

2. Откройте закладку **Layout** для активизации менеджера топологии.
3. Правой кнопкой нажмите на **Packages** и выберите **New Layout Cell** (рис. 4.15). Появится диалог Create New Layout Cell.

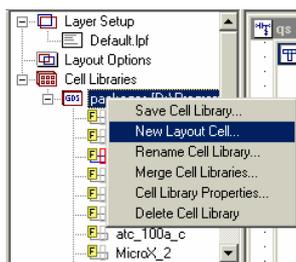


Рис. 4.15. Команда создания новой топологической ячейки

4. Назовите ячейку «**chip cap**» и нажмите **ОК**.
5. Нажмите прямоугольную кнопку «Copper» в левом столбике, чтобы активизировать слой меди, как показано на нижнем рисунке (не нажимайте лампочку (рис. 4.16), так как это задает только высвечивание слоя для показа).

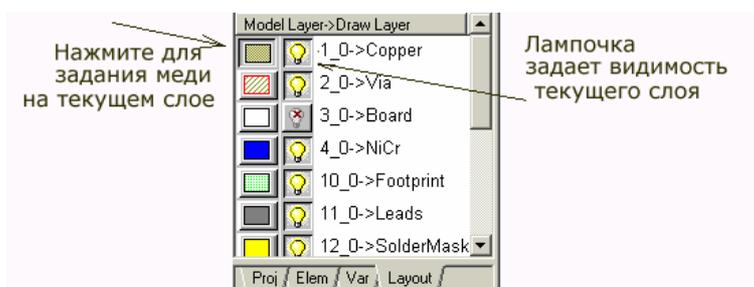


Рис. 4.16. Выбор слоя для создания и редактирования

6. Выберите **Layout > Rectangle**.
7. Сдвиньте курсор в окно рисования и затем нажмите на клавишу **Tab**. Появится диалог ввода координат.
8. Напечатайте «0» и «10» соответственно в поля x и y и нажмите **ОК**.
9. Нажмите снова клавишу **Tab** для ввода координат и введите «10» и «-10» в поля **dx** и **dy**, соответственно. В результате будет нарисована форма, рис. 4.17.

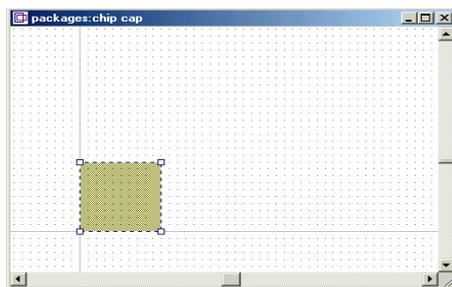


Рис. 4.17. Создание формы на слое

10. Нажмите бокс Footprint (площадки) в левой колонке нижней панели менеджера топологии, чтобы активизировать слой подложки как активный слой.
11. Нажмите окно рисования, чтобы сделать его активным.
12. Выберите **Layout > Rectangle**.
13. Сместите курсор с окна рисования, затем нажмите на клавишу **Tab**. Введите координаты «10» и «10» соответственно в поле **x** и **y** и нажмите **OK**.
14. Нажмите **Tab** снова и введите «20» и «-10» в поля **dx** и **dy** соответственно. Топология будет соответствовать рис. 4.18.
15. Нажмите снова на квадратик **copper** в окне рисования и нажмите **Ctrl+C**, а затем **Ctrl+V** чтобы внести в его буфер. Сдвиньте положение курсора и скопируйте квадратик меди справа прямоугольника, а затем нажмите на него, чтобы разместить точно в нужное место (рис. 4.19).

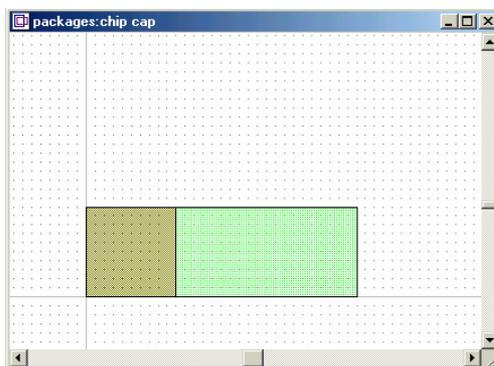


Рис. 4.18. Добавление формы на другом слое

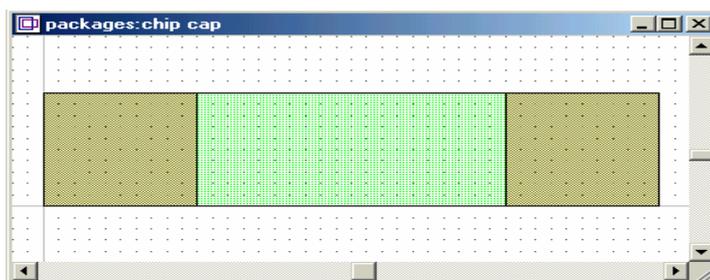


Рис. 4.19. Создание форм ячейки на двух слоях

Добавление портов в топологической ячейке. Порты в топологической ячейке задаются фасками (стыковочными гранями), определяемыми на топологии для соединения с другими ячейками. Стрелки ориентации портов задают направление соединения со смежной ячейкой.

Чтобы добавить порты к топологической ячейке:

1. Выберите **Layout > Cell Port**.
2. Сдвиньте курсор в окно рисования, нажмите и удерживайте клавишу **Ctrl**, пока сдвигаете курсор сверху нижней левой вершины квадрата символа до появления символа квадрата (рис. 4.20). Не отпускайте клавишу **Ctrl**.

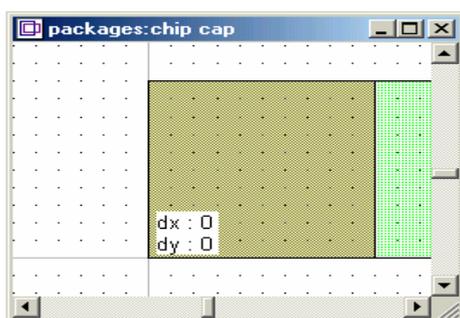


Рис. 4.20. Установление координаты стыковочной грани

3. Пока клавиша **Ctrl** нажата, нажмите и удерживайте кнопку мыши, пока вы сдвигаете курсор к верхней вершине до появления другого квадрата (рис. 4.21). Отпустите клавишу мыши, а затем клавишу **Ctrl**.

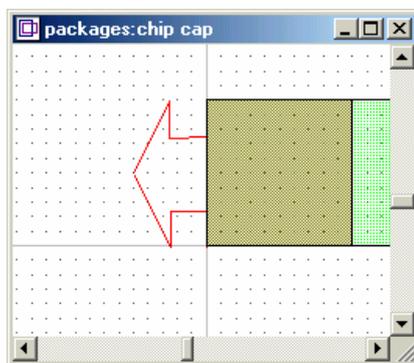


Рис. 4.21. Создание порта на стыковочной грани

4. Повторите шаги с 1 до 3, помещая порт на противоположной стороне, но начинайте рисовать на верхней вершине и ведите курсор вниз.
5. Нажмите на **X** сверху справа окна **chip cap**.

### Редактирование схемы и связь топологии и схемы навесного конденсатора.

Чтобы отредактировать схему и связанного с ней топологию навесного конденсатора:

1. Нажмите на PORT 1 в окне схемы.
2. Нажмите и удерживайте клавишу **Ctrl**, и удерживайте кнопку мыши, пока вы перетаскиваете порт от элемента MTRACE.
3. Нажмите закладку **Elem**, дважды нажмите на **Lumped Element**, затем нажмите на Capacitor, чтобы увидеть модели емкости в нижней панели.
4. Нажмите модель CAP и удерживая кнопку мыши, перетащите элемент на схему, отпустите кнопку мыши, поместив элемент между PORT 1 и элементом MTRACE.
5. Дважды нажмите на элемент CAP C1 в окне схемы. Появляется диалог Element Options (рис. 4.22).
6. Нажмите закладку **Layout**.

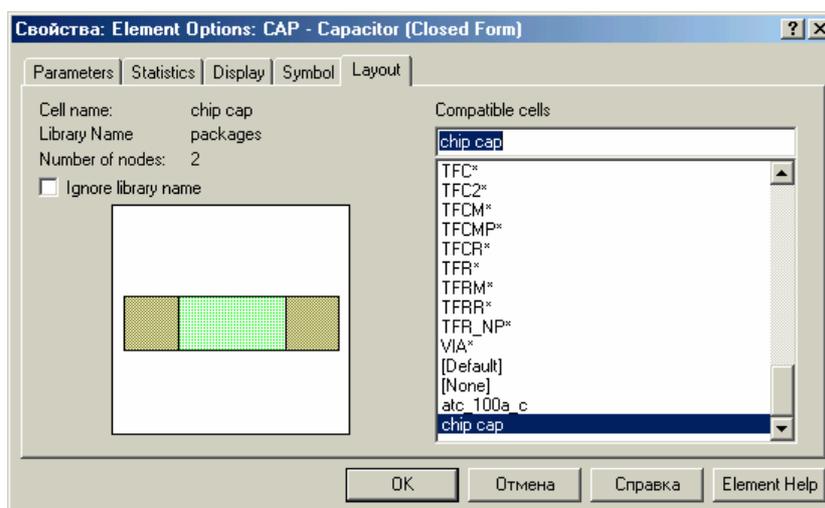


Рис. 4.22. Установка нового символа элементу C1

7. Выберите **chip cap** в **Compatible cells** и кликните **OK**.
8. Выберите **Schematic > View Layout**. Новая обновленная топология включила ячейку навесного конденсатора.

## 11. Функции слияния для топологических ячеек

Функции слияния связывают стыковочные грани топологических ячеек в различных конфигурациях. MWO 2002 имеет новые опции слияния, которые можно установить из диалога Layout Option. Для спецификации опций слияния топологий:

1. Выберите **Option > Layout Options**. Появляется окно Layout Options (рис. 4.23).
2. Выберите **Manual snap selected objects only** в разделе **Layout Cell Snap Options**. Нажмите **OK**. Это будет режим привязки к сетке только выбранного объекта.

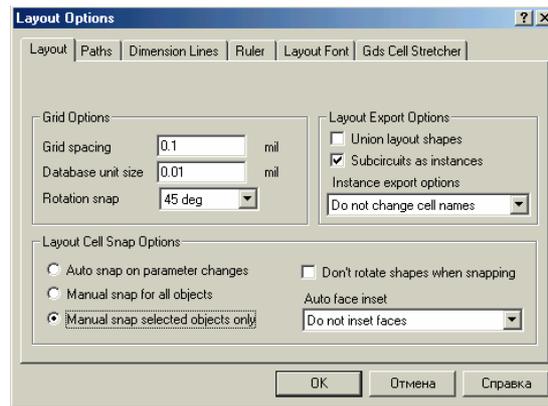


Рис. 4.23. Установка опций топологии для интерактивного объединения форм

Чтобы отодвинуть топологические ячейки одна от другой так, чтобы были видны изменения:

3. Нажмите на топологическую ячейку MLEF и удерживая кнопку мыши, перетащите её в новое положение. Нажмите при размещении на новом месте.
4. Повторите шаг 3 с элементов MTRACE и ячейкой навесного конденсатора. Положение топологической ячейки как на рис. 4.24.

Красные нити показывают, что фаски топологических ячеек не сливаются вместе.

5. Удерживайте клавишу **Ctrl**, выберите топологические ячейки MLEF, MTRACE и MTEES в топологическом окне (рис. 4.25).
6. Нажмите кнопку **Snap Together** на инструментальной линейке. Отметим, что топология навесного конденсатора и топологическая ячейка MLIN не слиты вместе.

Чтобы слить все фаски вместе:

7. Нажмите **Ctrl+A** на клавиатуре и выберите все топологические ячейки. Кликните кнопку **Snap Together** на инструментальной линейке. Топология будет иметь вид как на рис. 4.26.

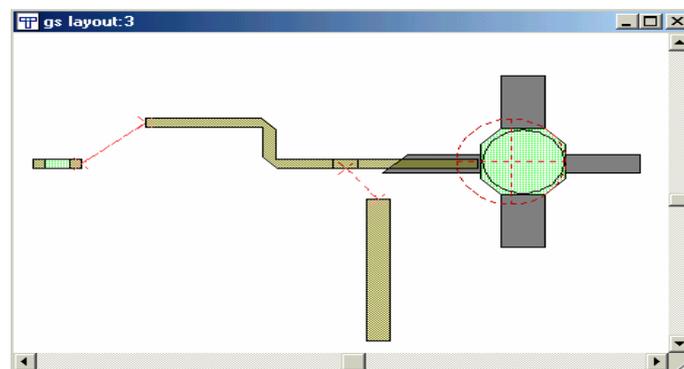


Рис. 4.24. Перенесение элементов C1 и шлейфа в другие положения

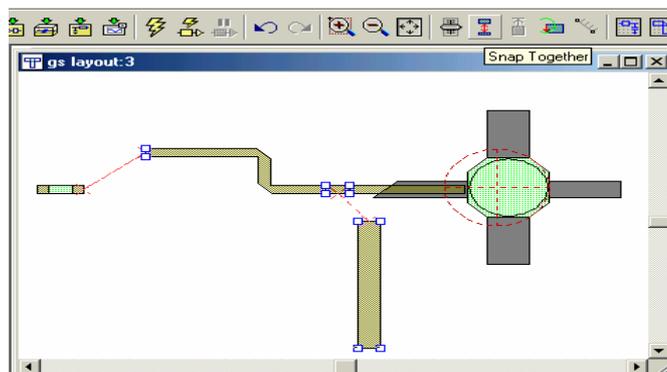


Рис. 4.25. Активизация элементов для слияния

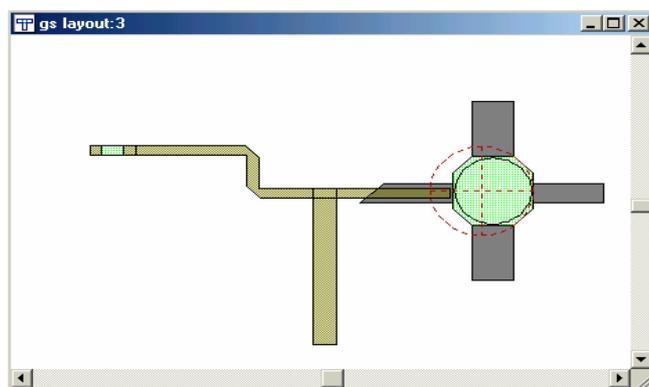


Рис. 4.26. Новая слитая топология усилителя

Функция «snap to fit» оканчивает трассировку топологических ячеек MTRACE для спецификации смежных топологических ячеек.

## 12. Экспорт топологии

Чтобы экспортировать топологию:

1. Выберите **Options > Drawing Layers** для задания слоев и для экспорта в файл. Появляется диалог Layer Setup.
2. Кликните закладку **Export Mapping**.
3. Кликните закладку **DXF** внизу диалога, снимите выделение всех нарисованных слоев, кроме слоя меди в **Write Layers** и кликните **OK**.
4. Выберите **Layer > Export Layout**. Появляется диалог **Save As**.
5. Выберите формат **DXF (\*.dxf)** в разделе **Save as type**.
6. Впечатайте «myfile» как **File Name** и кликните **Save** для экспорта файла со слоем меди как файл DXF.

Сохранить работу выбором **File > Save Project**.

## Библиографический список

1. Гупта К., Гардж Р., Чадха Р. Машинное проектирование СВЧ устройств. — М.: Радио и связь, 1987. — 430 с.
2. Карсон. Высокочастотные усилители. — М. Радио и Связь, 1981. — 216 с.
3. Курушин А. А., Подковырин С. И. Программа анализа и проектирования СВЧ схем Touchstone/DOS. — М.: МИЭМ, 1998. — 251 с.
4. Разевиг В. Д., Потапов Ю. В., Курушин А. А. Проектирование СВЧ устройств помощью Microwave Office. — М.: , 2002. Солон-Р, 550с.
5. Текшев В. Б., Разевиг В. Д., Плигин С. Г. Автоматизированное проектирование микроминиатюрных полупроводниковых узлов СВЧ радиоприемных устройств. — М.: Изд-во МЭИ, 1987.
6. Installation Guide. — El Segundo: Applied Wave Research, Inc., 2002, PDF файл.
7. Microwave Office Getting Started Guide. — El Segundo: Applied Wave Research, Inc., 2002, PDF файл.
8. Visual System Simulator Getting Started Guide. — El Segundo: Applied Wave Research, Inc., 2002, PDF файл.
9. Microwave Office 2001. Reference Guide. — El Segundo: Applied Wave Research, Inc., 2000.
10. Microwave Office 2001. EMSight. User's Guide. — El Segundo: Applied Wave Research, Inc., 2000.
11. Microwave Office 2001. Element Catalog. — El Segundo: Applied Wave Research, Inc., 2000.

Учебное издание

Антенны и устройства СВЧ

Методические указания

Составитель ДМИТРИЕНКО Герман Вячеславович

Редактор Е.С. Милюгина

Подписано в печать 18.05.2004. Формат 60×84/16.

Бумага писчая. Печать трафаретная.

Усл. печ. л. 3,03. уч. изд. л. 2,50. Тираж 100 экз.

Заказ

Ульяновский государственный технический университет

432027, г. Ульяновск, ул. Сев. Венец, д. 32

Типография УлГТУ, 432027, г. Ульяновск, ул. Сев. Венец, д. 32