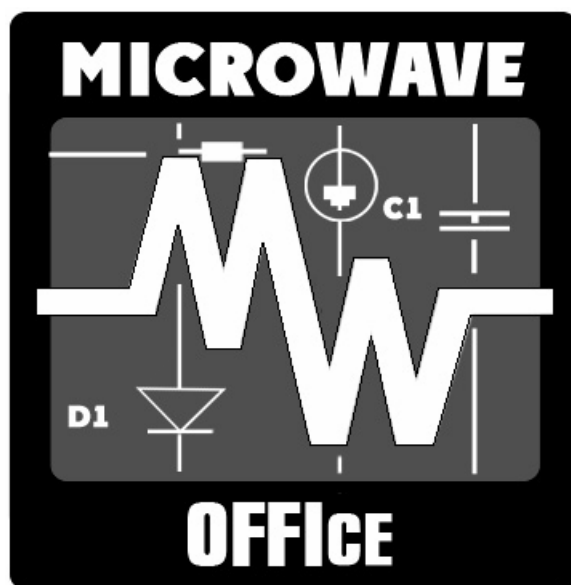


**ОСНОВЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ**  
**В**  
**MICROWAVE OFFICE 2007**  
**(на примерах)**



2008 г



Введение.....	3
1 Среда проектирования Microwave Office.....	4
1.1 Запуск Microwave Office .....	4
1.2 Компоненты среды проектирования.....	4
1.3 Работа с проектами .....	6
1.4 Основные элементы среды проектирования .....	6
1.5 Сценарии и мастера .....	13
1.6 Помощь .....	13
2. Линейное моделирование.....	15
2.1. Моделирование ФНЧ на сосредоточенных элементах .....	15
2.2. Моделирование микрополоскового заграждающего фильтра .....	23
2.3. Моделирование микрополоскового аттенюатора на резисторах .....	30
2.4. Моделирование микрополоскового 2-х диодного аттенюатора.....	34
3. Нелинейное моделирование .....	44
3.1. Моделирование усилителя мощности. ....	44
3.2. Моделирование балансного смесителя на диодах.....	56
4. Создание топологии схемы .....	64
5. Электромагнитное моделирование.....	75
5.1. Моделирование встречноштыревого микрополоскового фильтра .....	75
5.2. Моделирование микрополоскового аттенюатора.....	88
5.3 Моделирование микрополоскового двухсекционного делителя мощности. ....	96
5.4. Моделирование микрополоскового двухсекционного симметризованного направленного ответвителя.....	102



*Настоящее пособие не раскрывает всех возможностей программы Microwave Office 2007. Его цель – помочь быстро освоить основы работы в среде моделирования этой программы на конкретных примерах. Пособие составлено с использованием Getting Started, входящего в состав документации Microwave Office 2007 и которое содержит примеры по различным видам моделирования. К этим примерам добавлен ряд других, чтобы показать дополнительные особенности работы в среде моделирования, которые полезно освоить уже при первом знакомстве с работой программы.*

*Е.Е. Дмитриев*

## Введение

Одним из популярных программных продуктов, используемым для проектирования радиочастотных устройств и устройств СВЧ, является AWR DESIGN ENVIRONMENT (AWRDE) компании Applied Wave Research. Он включает в себя три мощных инструментальных средства: Microwave Office (MWO), Visual System Simulator (VSS) и Analog Office (ANO). Эти средства интегрированы в единую среду проектирования и могут использоваться вместе, не выходя из среды проектирования. Это пособие включает информацию только о Microwave Office.

Microwave Office позволяет создавать схемы, состоящие из элементов схем (сосредоточенных и распределённых) и электромагнитных структур. Для моделирования можно использовать один из методов: линейное моделирование, усовершенствованный гармонический баланс, ряды Вольтера, электромагнитное моделирование (EMSiht) или дополнительный имитатор HSPICE. Результаты могут выводиться в различных графических формах или в таблице в зависимости от цели проводимого анализа. Можно настраивать или оптимизировать проекты и все изменения немедленно и автоматически отражаются на графиках и в топологии.

Справочная система Microwave Office обеспечивает информацию обо всех окнах, пунктах меню, и концепциях. К справочной системе можно обратиться через **Пуск > Программы > AWR 2007 > Awr Design Environment Help**, или выбрав **Help** из выпадающего меню, или нажав клавишу **F1**.

Для инсталляции Microwave Office компьютер должен удовлетворять следующим минимальным требованиям (в скобках указаны рекомендуемые требования):

- o процессор Pentium III (многоядерный процессор). AWR рекомендует использовать процессоры Intel;
- o 512 Мб (1 Гб) оперативной памяти;
- o 250 Мб свободного места на жёстком диске;
- o операционная система Microsoft Windows 2000, XP или Vista.

Если вы обновляете версию Microwave Office, то сохраните старую версию до тех пор, пока не проверите, работают ли ваши проекты в новой версии.

# 1 Среда проектирования Microwave Office

## 1.1 Запуск Microwave Office

Чтобы запустить Microwave Office, сделайте следующее:

- Нажмите кнопку **Пуск**;
- Выберите **Программы>AWR2007>AWR Design Environment**. Откроется главное окно Microwave Office, показанное на рис. 1.1.

Если при инсталляции Microwave Office не был сконфигурирован так, чтобы находиться в меню **Программы**, тогда щёлкните значок **Мой компьютер** на рабочем столе, выберите диск и папку, в которую установлен Microwave Office, найдите файл **MWOffice.exe** и запустите его. После запуска программы откроется главное окно Microwave Office (рис 1.1):

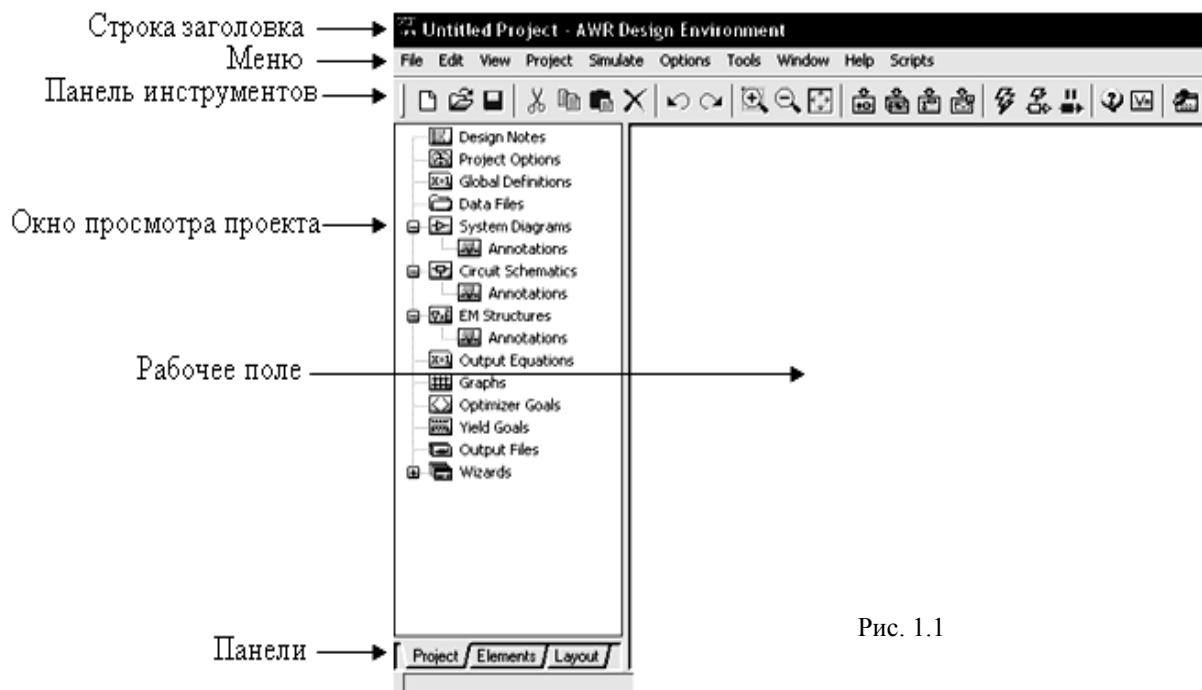


Рис. 1.1

## 1.2 Компоненты среды проектирования

Главное окно Microwave Office содержит все компоненты, которые составляют среду проектирования. Именно через это окно проектируются линейные и нелинейные схемы, устанавливаются электромагнитные структуры (EM), создаются топологии, выполняется моделирование, и отображаются графики. Основные компоненты среды проектирования описаны ниже:

Компонент	Описание
Меню	Строка выпадающих меню, расположенная в верхней части окна, для выполнения различных задач Microwave Office.
Панель инструментов	Строка значков, расположенных ниже выпадающего меню, которые обеспечивают доступ к часто используемым командам типа создания новых схем, выполнения моделирования, или настройки значений параметров или переменных.
Окно просмотра проекта	Древовидная структура групп и модулей, которая определяет активный проект Microwave Office, включая схемы, электромагнитные структуры (EM), частоты моделирования и выходные графики.
Рабочее поле	Зона, в которой проектируются схемы, электромагнитные структуры (EM), отображаются и редактируются топологии, и выводятся графики.
Панели	Строка панелей, расположенная в нижней части левого окна, которая позволяет переключать содержание этого окна. <b>Project</b> – включает окно просмотра проекта. <b>Elements</b> – включает окно просмотра элементов для формирования схем. <b>Layout</b> – включает окно менеджера топологии, которое позволяет определить параметры для черчения и просмотра топологии.

Многие функции и команды, доступные из меню, также доступны через панель инструментов и/или окно просмотра проекта.

Вид и состав меню и панели инструментов динамически изменяются в зависимости от открытого активного окна. Установите курсор на значок панели инструментов, чтобы увидеть его описание.

Окно просмотра проекта всегда активно после загрузки Microwave Office. Щёлкните правой кнопкой мышки по группе в окне просмотра проекта, чтобы вызвать всплывающее меню с соответствующими этой группе командами.

В пределах рабочего поля вы можете перемещаться, используя вертикальную и горизонтальную полосы прокрутки и изменять размеры внутри окна, используя значки на панели инструментов. Вы можете нажимать на элементы схемы правой кнопкой мышки, чтобы вызвать всплывающее меню с соответствующими командами. Вы можете также копировать и вставлять элементы, порты и проводники из одной схемы или проекта в другие, используя значки панели инструментов.

На вкладке **Project** левого окна проекта отображается дерево групп и модулей, которые уже используются, а также могут быть использованы в данном проекте. Сюда входят:

- модуль примечаний к проекту (Design Notes);
- модуль задания глобальных опций проекта (Project Options);
- модуль глобальных выражений (Global Equations);
- модуль использования внешних файлов данных (Data Files);
- группа используемых схем системы для VSS, если VSS установлено (System Diagrams);
- группа используемых схематических модулей (Circuit Schematics);
- группа используемых электромагнитных структур (EM Structures);
- модуль выходных соотношений (Output Equations);
- группа отображения результатов анализа (Graphs);
- группа целей оптимизации (Optimizer Goals);
- группа целей статистического анализа (Yield Goals);
- список выходных файлов (Output Files);
- группа мастеров (Wizards);

Чтобы раскрыть группу, содержащую подгруппы, нужно щёлкнуть мышкой по значку “+” слева от группы. У раскрытой группы значок “+” меняется на “-”, щелчок мышкой по которому сворачивает группу.

Двойной щелчок мышкой по группе или модулю вызывает различные действия в зависимости от назначения группы или модуля. Двойной щелчок по **Design Notes**, **Global Definitions** и **Output Equations** открывает соответственно окна для создания примечаний к проекту (это одно из немногих мест в Microwave Office, где можно использовать русские буквы), создания глобальных определений проекта и создания выходных соотношений. Двойной щелчок по **Project Options**, **System Diagrams** и **Circuit Schematics** открывает диалоговые окна для определения соответствующих опций. Двойной щелчок по остальным группам и модулям не вызывает никаких действий.

Щелчок правой кнопкой мышки по любой группе или модулю, а также по любому объекту проекта, открывает контекстное меню, предлагающие на выбор список возможных дальнейших действий.

На вкладке **Elements** отображается дерево используемых библиотек “защитных” моделей элементов построения схематических модулей: портов, источников, сосредоточенных и распределенных, линейных и нелинейных, идеальных и неидеальных элементов, а также внешних импортируемых библиотек моделей и подсхем. Все модели объединены в соответствующие группы, содержание которых отражается в нижней части окна. Добавление того или иного элемента в схему проекта производится привычным методом Drag-and-Drop (возьми-и-брось), а редактирование параметров - или в списке прямо на схеме, или в специальном диалоговом окне, открываемом при двойном щелчке по элементу.

Контекстное меню, появляющееся при щелчке правой кнопкой мышки по элементу, даёт возможность изменить отображение элементов в окне, а также содержит команду вызова справки об этом элементе.

Группа отображения результатов анализа на вкладке **Project** предлагает наглядную демонстрацию результатов расчета на диаграммах различного типа в зависимости от выбранного типа анализа.

Здесь возможно простое отображение S-параметров схем на диаграммах Смита, графиках в прямоугольных и полярных координатах, а также более сложная прорисовка форм и спектров сигналов в различных точках схемы или диаграмм направленности антенн, да еще и в диапазоне частот.

Заметим также, что именно эта группа, совместно с используемыми моделями элементов и сигнальных портов, является определяющей при выборе того метода анализа, который будет использоваться в вашем проекте. Кроме того, в одном проекте могут комбинироваться различные методы анализа, а их результаты отражаться на одних и тех же графиках.

Группа оптимизации содержит список назначенных целей оптимизации текущей схемы. Под целью оптимизации здесь подразумевается некоторая граница изменения какой-либо характеристики анализируемой схемы, к которой должен стремиться выбранный метод оптимизации при изменении определенных параметров элементов.

Каждая введенная цель оптимизации сразу же отображается на соответствующем графике, что позволяет в последующем легко проверить ее параметры, а также легко изменить их тут же на графике с помощью мышки.

Заметим, что оптимизация и настройка не работают в электромагнитном моделировании, которое позволяет выполнить анализ созданной топологии на электродинамическом уровне. Структура, построенная из набора проводящих и резистивных полигонов, а также межслойных соединений произвольной геометрической формы, анализируется внутри ограниченной многослойной области прямоугольной формы. Боковые границы этой области всегда идеально проводящие, а верхняя и нижняя границы могут быть заданы тремя различными способами: проводящая поверхность с потерями (или без них), эквивалент открытого пространства и бесконечного волновода. Количество анализируемых слоев, межслойных соединений и внешних портов теоретически неограниченно.

Графические возможности модуля электродинамического анализа позволяют пользователю наблюдать цветное трехмерное анимационное изображение токов высокой частоты, на котором отображается не только амплитуда, но и направление этих токов.

### 1.3 Работа с проектами

В среде проектирования Microwave Office используются проекты, организуемые и управляемые из древовидной структуры в окне просмотра проектов.

Проект представляет собой любой желательный набор моделей и может включать одну или более линейных схем, нелинейных схем, и/или электромагнитных структур. Проект также включает всё связанное с проектом, типа глобальных значений параметров, импортированных файлов, топологий и выходных графиков. При сохранении проекта автоматически сохраняется всё связанное с ним. Проекты в Microwave Office сохраняются как \*.emp файлы.

После создания проекта вы можете реализовывать свои замыслы. Вы можете генерировать топологию этого проекта и выводить её в DXF, GDSII или Gerber файлах. Вы можете выполнить моделирование, чтобы сделать анализ проекта и просмотреть результаты на ряде графиков, которые вы определили. После этого вы можете настраивать или оптимизировать значения параметров или переменных. Так как все части Microwave Office интегрированы, все ваши модификации автоматически отображаются на схеме и в топологии.

### 1.4 Основные элементы среды проектирования

В этом разделе описаны только основные окна, пункты меню и команды, необходимые для выполнения основных задач Microwave Office, таких как: создание проекта, схемы, рисунка электромагнитных структур, топологий, выполнение моделирования и отображение выходных графиков.

Многие, описанные здесь операции по созданию проекта, могут быть выполнены различными способами: из основного меню, из панели инструментов, из всплывающих меню и/или окна просмотра проекта. В этом руководстве не описываются все способы выполнить определённую операцию.

#### Создание, открытие и запись проектов.

Создание проекта – первый шаг к формированию и моделированию ваших проектов. Организация и управление проектом и всем связанным с ним производится в древовидной структуре групп и модулей в окне просмотра проектов при нажатой панели **Project** (рис. 1.2). После запуска Microwave Office по умолчанию загруженным или активным является проект без названия (Untitled Project). Имя активного проекта отображается в заголовке основного окна.

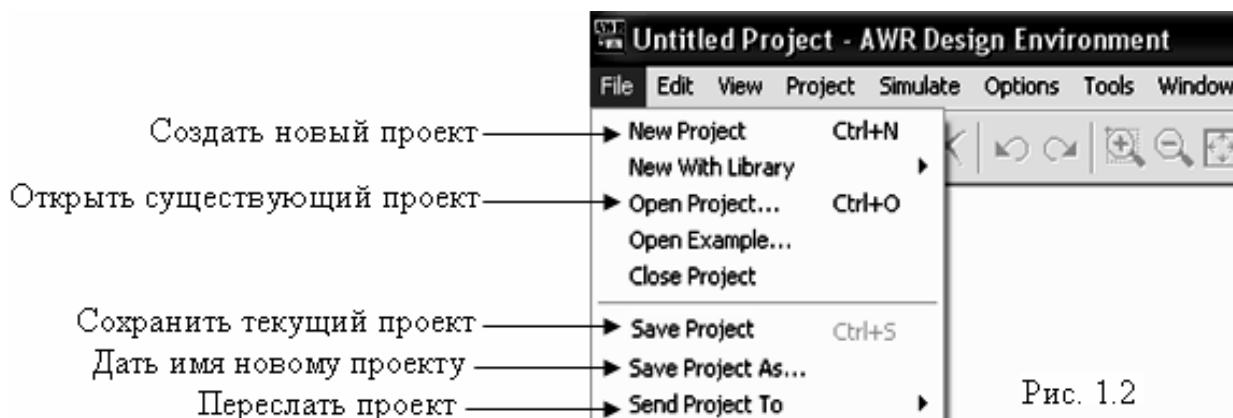


Рис. 1.2

Для создания нового проекта нужно выбрать в меню **File>New Project**. Затем нужно дать имя новому проекту, выбрав **File>Save Project As** в том же меню. Имя проекта отображается в заголовке окна.

Для открытия существующего проекта нужно выбрать **File>Open Project**.

Для сохранения текущего проекта нужно выбрать **File>Save Project**.



## Создание схем и списка цепей.

Схемы – это графическое изображение схем, а список цепей – это текстовое описание схем. Проект Microwave Office может включать множество линейных и нелинейных схем и/или списков цепей, а также электромагнитных структур.

Чтобы создать новую схему или список цепей, нужно щёлкнуть правой кнопкой мышки по группе **Circuit Schematics** и выбрать **New Schematic** или **New Netlist** и, в открывшемся поле ввода, ввести имя схемы или списка цепей (рис. 1.3). Если на жёстком диске имеется файл, который содержит схему, то схему из этого файла можно импортировать в проект. В этом случае схема включается в состав проекта. Для этого нужно выбрать **Import Schematic**. Или можно связать схему из файла с проектом, выбрав **Link To Schematic**. В этом случае схема не включается в проект, а осуществляется только связь с ней и файл со связанной схемой нельзя удалить или перенести в другую директорию, чтобы эта связь не оборвалась. Аналогичные операции можно выполнять и для списков цепей.

Если в проекте создано много схем и/или списков цепей, их можно сгруппировать в папки, выбрав **Create Folder**.

После того, как определено имя схемы или списка цепей, на рабочем поле открывается пустое окно схемы (рис. 1.3) или списка цепей, в заголовке которого отображается присвоенное имя, а в окне просмотра проектов отображается новая схема или список цепей, как подгруппа в группе **Circuit Schematics**. Подгруппа новой схемы или списка цепей содержат все параметры и опции, которые определяют и описывают схему или список цепей. Кроме того, меню и панель инструментов отображают новый специфический набор команд и инструментов для формирования и моделирования схемы или списка цепей.

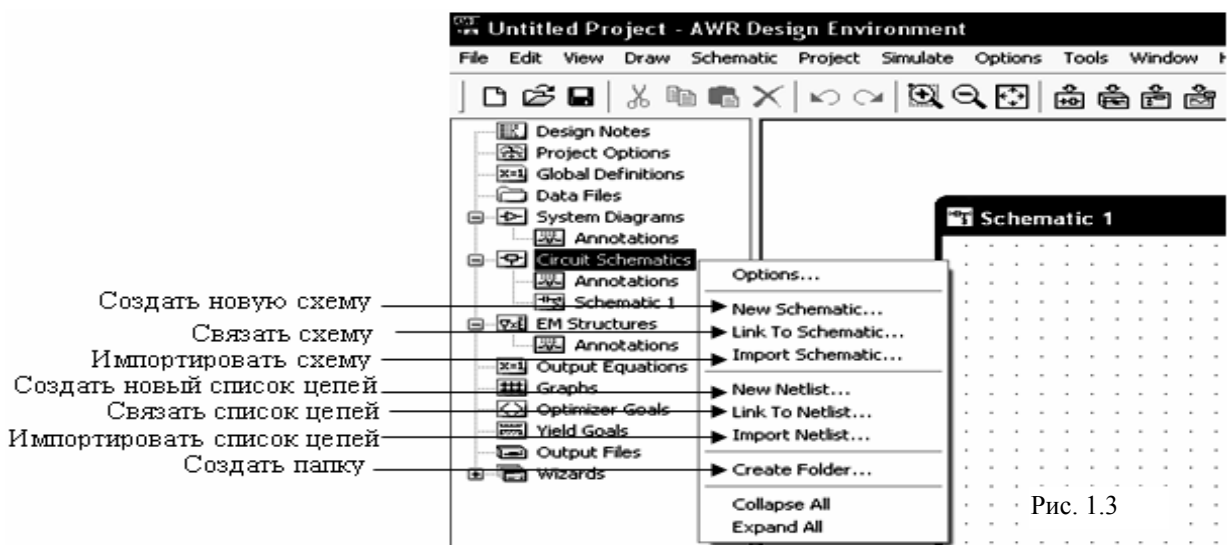


Рис. 1.3

## Добавление элементов в схему.

Чтобы добавить элементы в схему, необходимо в левом окне проекта открыть вкладку просмотра элементов, щёлкнув левой кнопкой мышки по панели **Elements** в нижней части левого окна (рис. 1.4).

Нажимая значки + или – возле группы, можно развернуть или свернуть группу, а при нажатии на значок желательной подгруппы, например, **Capacitor** (Конденсатор) или **Inductor** (Индуктивность), в

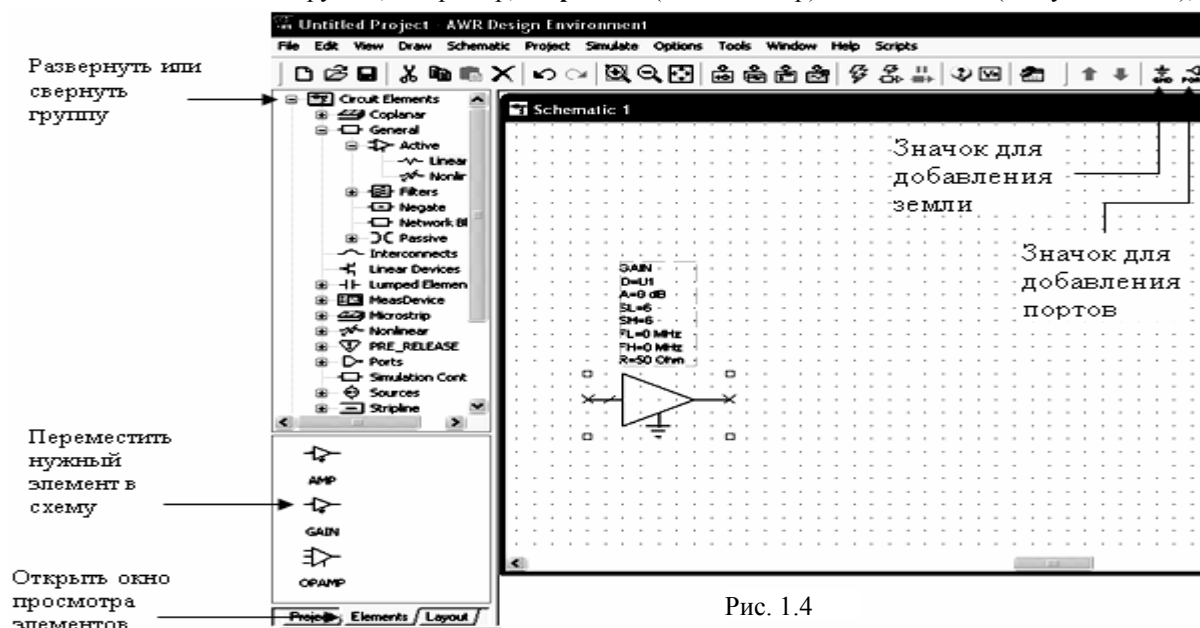


Рис. 1.4

нижней части окна просмотра элементов отображаются доступные элементы из этой подгруппы.

Чтобы поместить нужный элемент в схему, поместите курсор на элемент, нажмите левую кнопку мышки и, не отпуская кнопки, переместите его в окно схемы. Здесь, в любом свободном месте окна, отпустите кнопку. Щёлкая правой кнопкой мышки, можно вращать элемент, чтобы получить нужную ориентацию. Затем, не нажимая кнопку мышки, элемент нужно поместить в соответствующее место и зафиксировать его, щёлкнув левой кнопкой мышки.

Параметры элемента располагаются в окне схемы рядом с элементом. Чтобы изменить значение какого либо параметра, нужно дважды щёлкнуть левой кнопкой мышки по этому параметру. Откроется поле ввода, в котором можно отредактировать значение параметра. Или можно дважды щёлкнуть левой кнопкой мышки по элементу. В этом случае открывается диалоговое окно свойств элемента, в котором можно изменить значения всех параметров элемента.

Если поместить курсор на отображаемые параметры элемента и нажать левую кнопку мышки, можно переместить отображение параметров в любое другое место для удобства чтения схемы.

Кроме обычных элементов в Microwave Office включён ряд “интеллектуальных” элементов и X-моделей. “Интеллектуальные” (ICell) элементы отличаются тем, что они не требуют ввода никаких параметров. Все значения параметров они автоматически получают от подключённых к ним других элементов. В окне просмотра элементов такие элементы на конце имеют символ \$. X-модели являются элементами, параметры которых определены с помощью электромагнитного моделирования и сохраняются в специальных таблицах. Эти элементы на конце имеют символ X. X-модели позволяют совместить высокую точность модели, быстроту анализа и возможность настройки и оптимизации. Однако перед применением X-модели должны быть заполнены, что занимает значительное время. Но однажды заполненная X-модель затем может использоваться в любом проекте. В Microwave Office включены X-модели, уже заполненные для некоторых распространённых диэлектриков. Файлы X-моделей имеют расширение **EMX** и хранятся в папке **EM\_Models**. Например, имя файла **Microstrip\_10p2\_MOPENX.EMX** говорит о том, что это X-модель разомкнутого конца в отрезке микрополосковой линии на диэлектрике с диэлектрической проницаемостью **10.2**. Наличие готовых X-моделей даёт возможность вместо заполнения X-модели использовать готовую для диэлектрика с близким значением диэлектрической проницаемости, возможно с небольшой потерей в точности. Например, если в параметрах элемента подложки ввести  $\epsilon_r=10$  и  $\epsilon_r\text{Nom}=10$ , и в схеме имеется X-модель, то анализ выполняться не будет. Появится окно сообщения, что X-модель не заполнена и требуется её заполнить. Но если изменить значение  $\epsilon_r\text{Nom}$  и в параметрах подложки ввести  $\epsilon_r=10$  и  $\epsilon_r\text{Nom}=10.2$ , то анализ будет выполнен.

В Microwave Office в схему можно включать подсхемы в виде блоков, что позволяет создавать иерархические структуры схем. Таким блоком могут быть схемы, списки цепей, электромагнитные структуры или файлы данных.

Чтобы добавить подсхему, нужно щёлкнуть мышкой по **Subcircuits** (Подсхемы) в окне просмотра элементов. Доступные подсхемы отображаются в нижней части этого окна. Они включают все схемы, списки цепей и электромагнитные структуры, связанные с проектом, а также любые импортированные файлы данных, определённые для проекта.


Чтобы добавить файл данных как подсхему, он должен быть сначала импортирован и добавлен к проекту как объект. Чтобы сделать это, выберите **Project>Add Data File** в окне просмотра проекта. Любые импортированные файлы данных автоматически отображаются в перечне доступных подсхем в окне просмотра элементов.

Для размещения желательной подсхемы, её нужно просто перетащить мышкой в окно схем, при необходимости повернуть, щёлкая правой кнопкой мышки, и установить в нужное место.

Для редактирования параметров подсхемы нужно щёлкнуть по подсхеме правой кнопкой и выбрать **Edit Subcircuit** во всплывающем меню. Или открыть схему, список цепей, электромагнитную структуру или файл данных на рабочем поле (через окно просмотра проектов), соответствующие редактируемой подсхеме. Редактирование делается так же, как и редактирование параметров отдельного элемента.


## Добавление портов (входов) и проводов в схему.


Чтобы добавить в схему обычный порт для линейного моделирования, щёлкните по группе **Ports** (Порты) в окне просмотра элементов, перетащите элемент **PORT** в окно схемы, при необходимости разверните его, щёлкая правой кнопкой мышки, установите в нужное место схемы и щёлкните левой кнопкой мышки, чтобы зафиксировать порт. Этот порт можно так же добавить в схему, щёлкнув по значку

**Port**  на панели инструментов.

Чтобы добавить специальный порт к схеме, например, порт для гармонического баланса, нужно раскрыть группу **Ports** в окне просмотра элементов, затем щёлкнуть левой кнопкой мышки по нужной подгруппе портов. Доступные типы портов будут отображены в нижней части левого окна.

Отредактировать параметры порта можно двойным щелчком мышки по порту в окне схем. Откроется диалоговое окно, в котором можно ввести новые значения параметра.

Чтобы добавить в схему землю, щёлкните по значку **Ground**  на панели инструментов.

Чтобы соединить два элемента схемы проводом, нужно установить курсор возле точки элемента схемы, к которой нужно подключить начало провода. Курсор должен отображаться в виде соленоида . Нажмите в этой позиции левую кнопку мышки, чтобы зафиксировать начало провода, и, отпустив кнопку мышки, двигайте мышкой к месту, где нужно сделать изгиб провода. Щёлкните снова левой кнопкой, чтобы зафиксировать изгиб. Изгибов можно делать сколько угодно. Чтобы закончить подключение провода, щёлкните по другому элементу, к которому нужно присоединить провод, или по другому проводу. Для отмены соединения проводом нажмите клавишу **Esc**.

### Добавление данных к списку цепей.


При создании списка цепей открывается пустое окно **Netlist**, в котором вы вводите базовый текст описания схемы. Данные списка цепи размещаются в блоках в особом порядке, где каждый блок определяет различные атрибуты элемента, типа единиц измерения, уравнений или элементных связей. Для большей информации о создании списка цепи см. Руководство пользователя Microwave Office.

### Создание топологии схем.

Топология – это изображение физического представления цепей, в котором каждому компоненту схемы соответствует элемент топологии. В объектно-ориентированной среде Microwave Office топология тесно связана со схемой и электромагнитной структурой, которые она представляет, это просто другой вид тех же самых цепей. Любые изменения, сделанные в схеме или электромагнитной структуре, автоматически и немедленно отображаются в соответствующей топологии.

Для создания топологии схемы, щёлкните по схеме, чтобы сделать её активной и выберите

**View>New Layout View** в меню или щёлкните по значку **New Schematic**

**Layout View**  на панели инструментов.

На рабочем поле откроется окно топологии с автоматически созданной топологией схемы, если для элементов схемы имеются соответствующие элементы топологии. Однако элементы топологии могут быть соединены между собой неверно или не соединены вовсе, как показано на рис. 15, при этом пунктирными красными

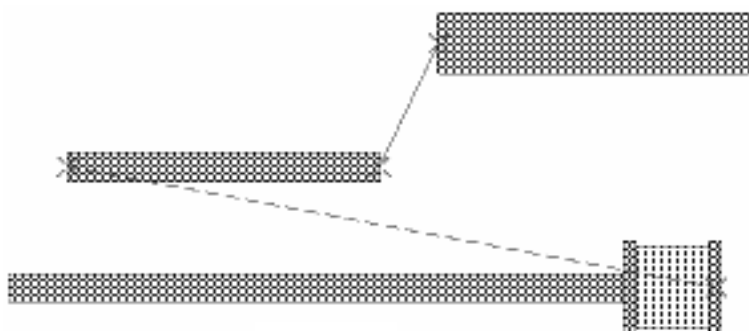



Рис. 1.5

линиями указываются общие точки соединения элементов топологии, т.е. точки, в которых эти элементы должны быть соединены. Чтобы правильно скомпоновать топологию, выберите в меню **Edit>Select All**, чтобы выделить все элементы топологии, затем выберите в меню **Edit>Snap Together** или щёлкните по

значку **Snap Together**  на панели инструментов. Топология будет скомпонована автоматически, как

показано на рис. 1.6. При желании это можно сделать и вручную. Для этого установите курсор на элемент, который нужно переместить в другое место, нажмите левую кнопку мышки и, не отпуская кнопки, переместите элемент.

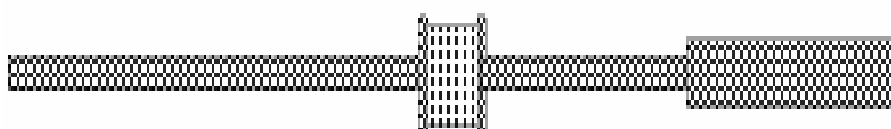


Рис. 1.6

тите элемент.

Когда после выполнения команды **View>New Layout View** создана топология схемы, элементы топологии автоматически назначаются для тех элементов схемы, у которых имеется элемент топологии, соответствующий электрическому элементу. Это такие элементы, как элементы симметричной и микрополосковой линии, компланарного волновода и т.п. На схеме элементы, для которых в топологии создан топологический элемент, будут отображаться сиреневым цветом. Те элементы схемы, для которых нет топологического представления (например, транзистор), в схеме будут отображаться синим цветом.

Для элементов схемы, у которых нет соответствующих топологических элементов, вы должны их создать сами или импортировать через менеджера топологии (**Layout Manager**), как будет описано далее.

Изменять атрибуты топологии, свойства черчения и создавать новые элементы топологии, которых нет среди задаваемых по умолчанию, можно нажав панель **Layout** в нижней части левого окна. Менеджер топологии заменит при этом окно просмотра проектов (рис. 1.7).

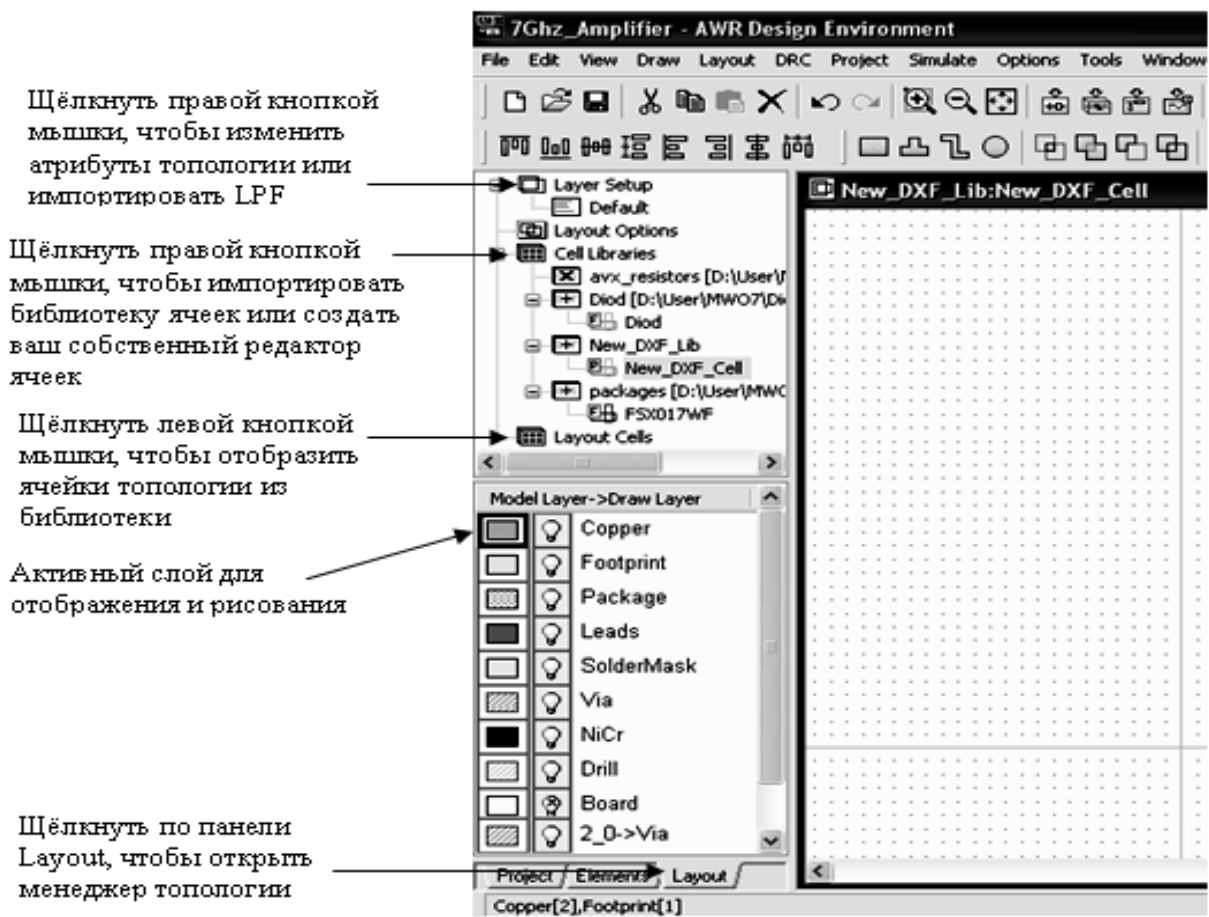


Рис. 1.7

Группа **Layer Setup** (Установка Слоёв) в менеджере топологии определяет атрибуты, такие как свойства черчения (цвет линии, рисунок слоя и т.д.), 3-х мерные свойства (толщина и т.д.) и положение слоёв. Чтобы изменить атрибуты слоя, щёлкните правой кнопкой мышки по **Layer Setup** и выберите **Edit Drawing Layers** (Редактирование слоёв черчения) во всплывающем меню. Вы можете также импортировать файл обработки слоя (LPF) для определения его атрибутов, щёлкнув правой кнопкой мышки **Layer Setup** и выбирая **Import Process Definition** из всплывающего меню.

Группа **Cell Libraries** (Библиотека элементов) в Менеджере топологии позволяет создавать шаблоны ячеек для элементов, которых нет в задаваемых по умолчанию. Редактор элементов включает такие возможности, как по координатный ввод, булевы операции для вычитания и объединения форм, копирование массива, произвольное вращение, группировку и инструментальные средства совмещения. Вы можете так же импортировать библиотеки шаблонов элементов типа CDSII или DXF в Microwave Office.

Как только библиотеки элементов топологии созданы или импортированы, их можно просматривать и выбирать необходимые элементы для включения в топологию. Нажмите обозначения + или -, чтобы развернуть или свернуть библиотеки элементов топологии и выберите необходимый элемент. Доступные элементы топологии отображаются в нижней части левого окна. Чтобы поместить элемент топологии в окно топологии, просто нажмите на него левой кнопкой мышки и переместите в окно топологии. Отпустив кнопку мышки, позиционируйте его и щёлкните левой кнопкой мышки, чтобы зафиксировать.

Ячейка топологии может выводиться в файл в формате GDSII или DXF. Для экспортирования ячейки в файл, щёлкните правой кнопкой мышки по её имени в Менеджере топологии и выберите **Export Layout Cell**.

Вся топология схемы также может выводиться в файлах GDSII или DXF. Для вывода топологии сделайте активным окно топологии схемы, и выберите в меню **Layout>Export**.

## Создание электромагнитных структур (EM).

В 7-ой версии Microwave Office интерфейс пользователя для работы с электромагнитными структурами значительно изменился. Прежним остался только способ создания электромагнитных структур.

Электромагнитная структура представляет собой набор из одного или нескольких диэлектрических слоёв, расположенных в прямоугольном корпусе. На каждом из диэлектрических слоёв могут быть нанесены слои материала для топологических форм (проводящих и резистивных полосок или полигонов, межслойных перемычек). Чтобы можно было отличить слои друг от друга, диэлектрическим слоям на-

значаются номера (нумерация слоёв начинается с верхнего слоя). Слоям материалов назначаются индивидуальные имена для каждого типа материалов. При этом нужно различать два типа слоёв материалов:

- Слои модели (**Model Layers**), которые содержат информацию для параметризованных ячеек топологии и для ячеек топологического чертежа (фотошаблона).
- Слои черчения (**Drawing Layers**), которые используются для вычерчивания топологических форм и для экспорта топологии. Эти слои содержат информацию, необходимую для выполнения чертежа (тип и толщина линий, текстура и цвет заполнения и т.п.).

Слои модели и слои черчения обычно имеют одни и те же имена, хотя это и не обязательно.

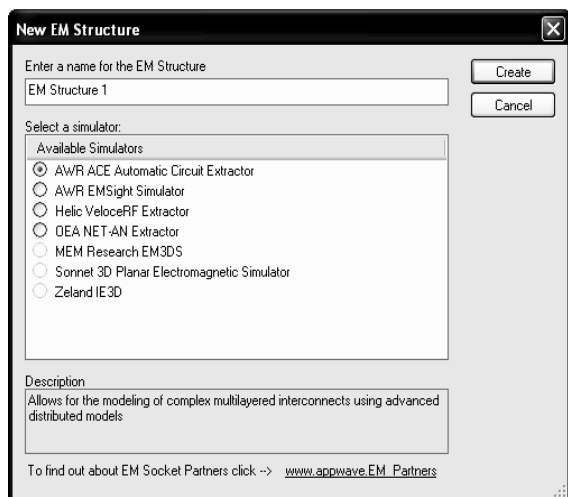
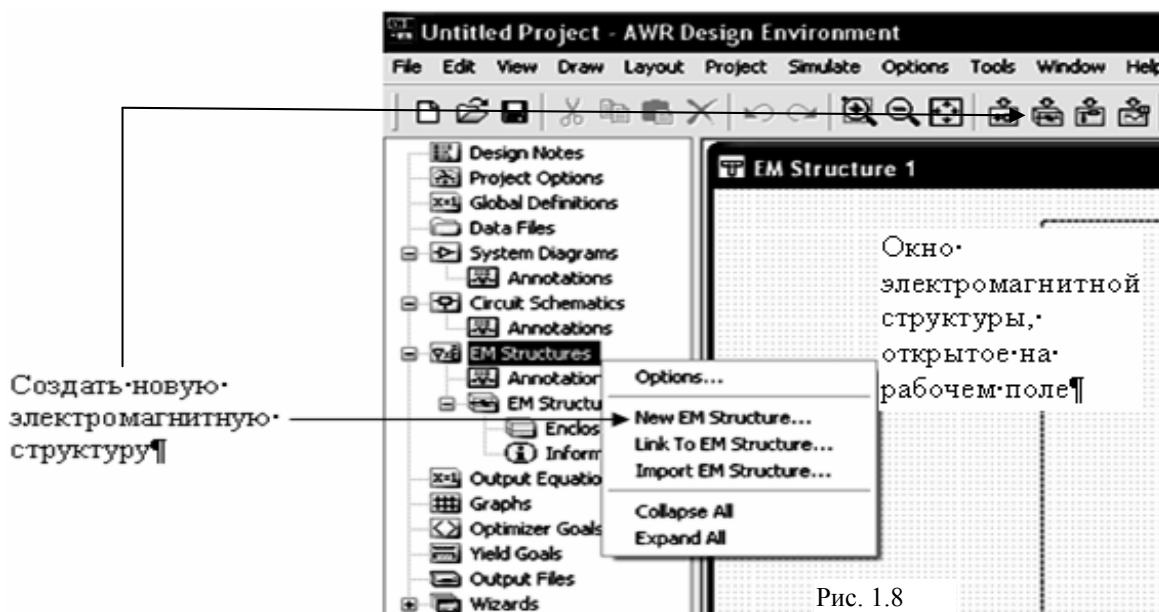
Номер слоя диэлектрика, на котором вычерчиваются формы топологии, указывается в поле **EM Layer** в окне свойств каждой из форм или в окне менеджера топологии. Имя материала для каждой топологической формы указывается в поле **Material** в указанных выше окнах.

Поскольку на одном и том же диэлектрическом слое могут быть размещены топологические формы из разных материалов, для каждого из материалов должен быть назначен свой слой черчения. Этот слой указывается в поле **Drawing Layer** в окне свойств топологической формы. Конкретные способы назначения слоёв и материалов будут показаны далее в примерах моделирования электромагнитных структур.

Выполненная установка слоёв и материалов достаточна для выполнения анализа электромагнитной структуры. Однако этого не достаточно для выполнения некоторых других операций, например, для импорта топологии из DXF или GDSII файлов. Имена слоёв должны быть записаны в DXF файле. Кроме того должны быть созданы таблицы соответствия между слоями:

- **Model Layer Mapping** – таблица соответствия между слоями модели (**Model Layer**) и слоями черчения (**Drawing Layer**).
- **EM Layer Mapping** – таблица соответствия между слоями черчения (**Drawing Layer**) и слоями диэлектрика (**EM Layer**).
- **File Export Mapping** – таблица соответствия между слоями черчения (**Drawing Layer**) и слоями, записываемыми в файл (**File Layer**).

Эти таблицы доступны выбором в меню **Options>Drawing Options**.



Чтобы создать новую электромагнитную структуру, щёлкните правой кнопкой мышки по группе **EM Structures** в окне просмотра проектов и выберите **New EM Structure**. Или щёлкните левой кнопкой мышки по значку **New EM Structure** на панели инструментов (рис. 1.8). Откроется диалоговое окно, в котором нужно присвоить имя создаваемой электромагнитной структуре и выбрать решающее устройство для анализа структуры (рис. 1.9).

После присвоения имени электромагнитной структуре на рабочем поле открывается пустое окно электромагнитной структуры (рис. 1.8) и в окне просмотра проекта отображается новая электромагнитная структура, как подгруппа в группе **EM Structures**. Подгруппа новой электромагнитной структуры содержит все параметры и опции, которые определяют и описывают её. Кроме того, в меню и на пане-

ли инструментов появляются новые пункты для черчения и моделирования электромагнитных структур.

Прежде чем начертить электромагнитную структуру, необходимо определить параметры корпуса. Корпус определяется краевыми условиями и диэлектрическими материалами каждого слоя структуры.

Для определения корпуса дважды щёлкните по подгруппе **Enclosure** (Корпус) в окне просмотра проектов (рис. 1.10). Откроется диалоговое окно, в котором можно ввести необходимую информацию.

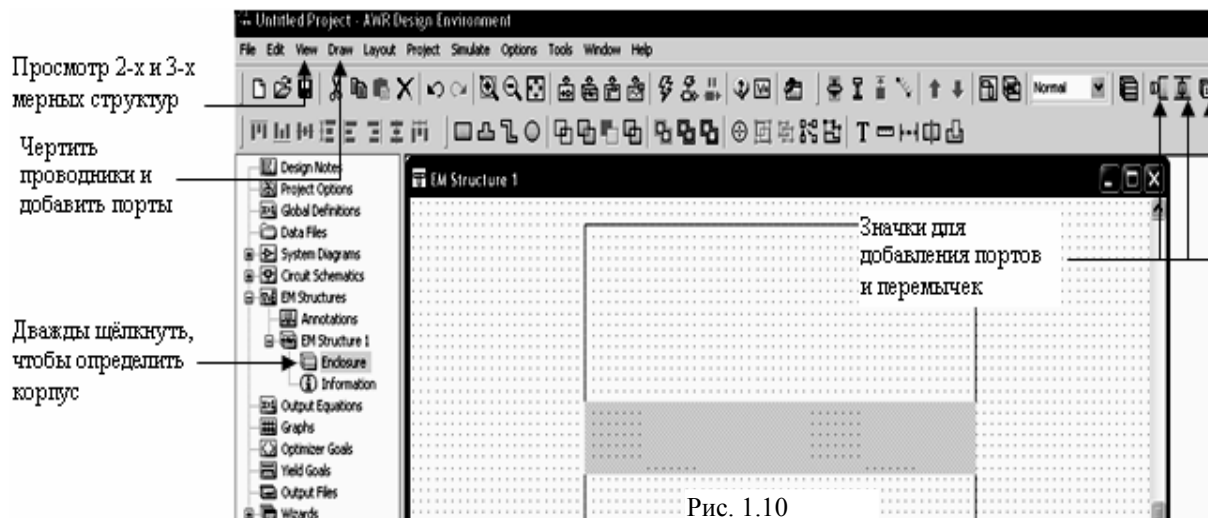


Рис. 1.10

После определения параметров корпуса можно чертить проводники, выбрав **Draw** (Рисовать) в выпадающем меню, чтобы отобразить опции рисования, или, щёлкая соответствующие значки на панели инструментов. Можно чертить элементы топологии типа проводников различной формы, межслойных переходов и портов. Так же можно вычерчивать дополнительные элементы топологии, такие как реперные знаки, технологические площадки, текстовые надписи (можно использовать русские буквы) и т.п.


Электромагнитные структуры можно просматривать в 2-х и в 3-х мерном отображении, выбрав команду **View** (Просмотр) из выпадающего меню. Токи в структуре и электромагнитные поля можно просмотреть, выбрав команду **Animate** (Анимация) из выпадающего меню.

**Замечание.** При создании топологии в электромагнитных структурах обратите внимание, что в 7-ой версии Microwave Office изменено направление оси Y. Теперь она направлена снизу вверх.

### Создание выходных графиков и добавление единиц измерения.

Microwave Office даёт возможность просматривать результаты моделирования в виде различных графиков. Перед выполнением моделирования необходимо создать график. Необходимо так же определить данные или единицы измерения, которые вы хотите видеть на графике, типа усиления, шумов или коэффициентов отражения.

Чтобы создать график, щёлкните правой кнопкой мышки по группе **Graphs** (Графики) в окне просмотра проектов и выберите **Add Graph** (Добавить график) из всплывающего меню. Или щёлкните

левой кнопкой мышки по значку **New Graph**  на панели инструментов. Появится диалоговое окно, в котором нужно задать имя графика и его тип. Пустой график появится на рабочем поле, и имя графика появится как подгруппа в группе **Graphs** в окне просмотра проекта. Доступны следующие виды графиков:

Тип графика	Описание
Прямоугольный	Отображает измеряемые величины по осям X – Y, обычно по частоте
Диаграмма Смита	Отображает импедансы или адмитансы на круговой диаграмме
Полярный	Отображает величины и углы измеряемых величин
Гистограммы	Отображает измеряемые величины в виде гистограммы
Антенная диаграмма	Отображает измеряемые величины в виде диаграммы направленности
Таблица	Отображает измеряемые величины в виде таблицы, обычно по частоте


Чтобы определить, какие данные вы хотите видеть на графике, щёлкните правой кнопкой мышки по имени нового графика в окне просмотра проекта и выберите **Add Measurement** во всплывающем меню или щёлкните правой кнопкой мышки по графику и выберите **Add Measurement**. Откроется диалоговое окно, в котором можно выбрать необходимое из списка измеряемых величин.

Чтобы просмотреть справку о различных параметрах единицы измерения, выделите представляющую интерес единицу измерения в диалоговом окне **Add Measurement** и нажмите **Meas. Help**.

Полученный после выполнения анализа график можно закрепить, чтобы его можно было сравнить с другими вариантами моделирования, например, при каких-то изменениях в схеме. Чтобы закрепить график выберите в меню **Graph>Freeze Traces** при активном окне графика. Затем выполните изменение в схеме и выполните анализ снова. Чтобы снять закрепление графика выберите в меню **Graph>Clear Frozen**.

### Установка частот для анализа и выполнение моделирования.

Чтобы установить частоты для моделирования, дважды щёлкните по группе **Options** (Опции) в окне просмотра проектов или выберите в меню **Options>Project Options**. Откроется диалоговое окно, на вкладке **Frequencies** которого можно определить частоты для моделирования. По умолчанию все созданные в проекте схемы используют для анализа частоты, установленные в этом окне. Для любой схемы или электромагнитной структуры проекта вы можете отменить использование частот проекта и назначить индивидуальные частоты для анализа данной схемы или структуры. Для этого щёлкните правой кнопкой мышки по имени схемы или электромагнитной структуры в окне просмотра проекта и выберите **Options**. В открывшемся диалоговом окне снимите “галочку” в **Use project defaults** и введите частоты, которые будут использоваться только для выбранной схемы или структуры.

Чтобы выполнить моделирование созданного проекта, выберите в меню **Simulate>Analyze** или щёлкните левой кнопкой мышки по значку **Analyze**  на панели инструментов.

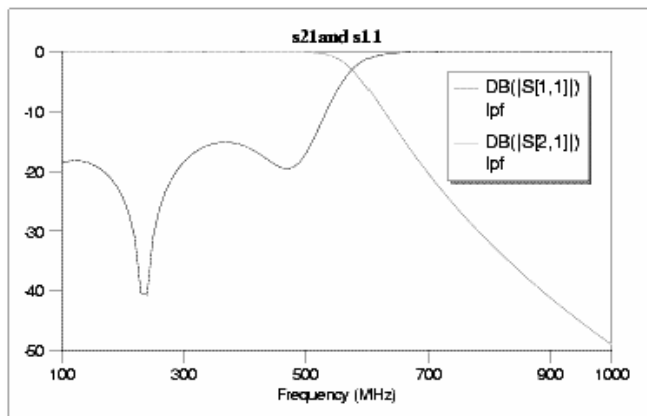




Рис. 1.11

Microwave Office выполнит моделирование, автоматически выполняя соответствующий метод моделирования для различных частей проекта, т. е. линейное моделирование, гармонический баланс, моделирование нелинейными рядами Вольтера, или моделирование электромагнитной структуры.

После окончания моделирования, результаты можно просматривать на созданных графиках (рис. 1.11) и затем настраивать и/или оптимизировать при необходимости. Блок настройки Microwave Office в режиме реального времени позволяет сразу же наблюдать изменение выходных параметров на графике при изменении параметров схемы движком тюнера или при проведении оптимизации.

При настройке или оптимизации автоматически изменяется схема и связанные с изменяемыми параметрами элементы топологии. Для настройки схемы нажмите значок **Tune Tool**  на панели инструментов и выберите параметры в схеме, которые вы желаете настроить. Затем нажмите значок **Tune**,  чтобы их настроить.

## 1.5 Сценарии и мастера

Сценарии и мастера позволяют автоматизировать и расширить функциональные возможности Microwave Office.

Сценарии – это программы Basic, которые пользователи могут записывать, чтобы, например, автоматизировать задачи формирования схемы в Microwave Office. Чтобы получить доступ к созданию сценариев, выберите в меню **Tools>Scripting Editor**.

Мастера – это файлы динамически загружаемых библиотек (DLL), которые можно использовать, как добавочные инструментальные средства, например, для синтеза фильтров. Мастера отображаются как подгруппы в группе **Wizards** в окне просмотра проекта.

## 1.6 Помощь

Страницы помощи Microwave Office обеспечивают необходимую информацию об окнах, пунктах меню, диалоговых окнах, а так же обо всех элементах Microwave Office.

Для получения справки выберите в меню **Help** или нажмите клавишу **F1**. Кроме того доступна также следующая контекстная помощь:

- Кнопки помощи **Help** имеются в большинстве диалоговых окон.
- Помощь по каждому элементу схемы можно получить, если выделить элемент на схеме и нажать **Alt+F1**. Или дважды щёлкнуть по элементу на схеме левой кнопкой мышки и в открывшемся

окне щёлкнуть по кнопке **Element Help**. Или в окне просмотра элементов щёлкнуть по элементу правой кнопкой мышки и выбрать **Element Help**.

- Помощь по любой измеряемой величине для графиков можно получить, если щёлкнуть правой кнопкой мышки по имени графика в окне просмотра проекта, выбрать **Add Measurement** и в открывшемся окне щёлкнуть по кнопке **Meas Help**. Или щёлкнуть правой кнопкой мышки по имени измеряемой величины в окне просмотра проекта, выбрать **Properties** и в открывшемся окне щёлкнуть по кнопке **Meas Help**.



## 2. Линейное моделирование

Линейное моделирование для определения характеристик электрической цепи использует метод узловых напряжений. Оно может применяться для цепей типа усилителей в линейном режиме, фильтров, направленных ответвителей, делителей мощности и других, чьи элементы могут быть описаны матрицей полных проводимостей. Для линейного моделирования характерно определение измеряемых величин типа усиления, устойчивости, коэффициента отражения, коэффициента передачи.

В блок линейного программирования включён блок настройки в реальном масштабе времени, который позволяет настраивать элементы схемы и сразу наблюдать результаты настройки. Имеется возможность также выполнить оптимизацию различными методами и статистический анализ.

Следующие примеры иллюстрируют некоторые из основных особенностей линейного моделирования в Microwave Office.

### 2.1. Моделирование ФНЧ на сосредоточенных элементах

Этот пример показывает, как использовать Microwave Office для моделирования ФНЧ на базовых сосредоточенных элементах, используя линейное моделирование. Такое моделирование включает следующие основные шаги:

- Создание схемы;
- Добавление графиков и измеряемых величин;
- Анализ схемы;
- Настройка схемы;
- Создание переменных для оптимизации;
- Оптимизация схемы.

#### Создание нового проекта.

Сначала нужно создать новый проект. Для его создания сделайте следующее:

1. Выберите в меню **File>New Project** (Файл>Новый проект).
2. Выберите в меню **File>Save Project As** (Файл>Сохранить проект как). Откроется диалоговое окно **Save As**.
3. Наберите имя проекта (например, **linear-example**) и нажмите **Сохранить**.

По умолчанию Microwave Office обычно предлагает сохранить проект в папке **Мои документы\AWR Project**. Чтобы изменить папку, предлагаемую по умолчанию, выберите в меню **Options>Environment Options** (Опции>Опции среды). В открывшемся окне на вкладке **File Locations** (Размещение файлов) в текстовом поле **Default Design Directory:** (Директория, назначаемая по умолчанию:) введите путь к нужной папке, например, **E:\USER\AWR2007**, или нажмите кнопку **Browse** (Просмотр) справа от этого поля и выберите нужную папку.

#### Установка единиц измерения, используемых по умолчанию.

Чтобы установить единицы измерения, которые будут использоваться в проекте по умолчанию:

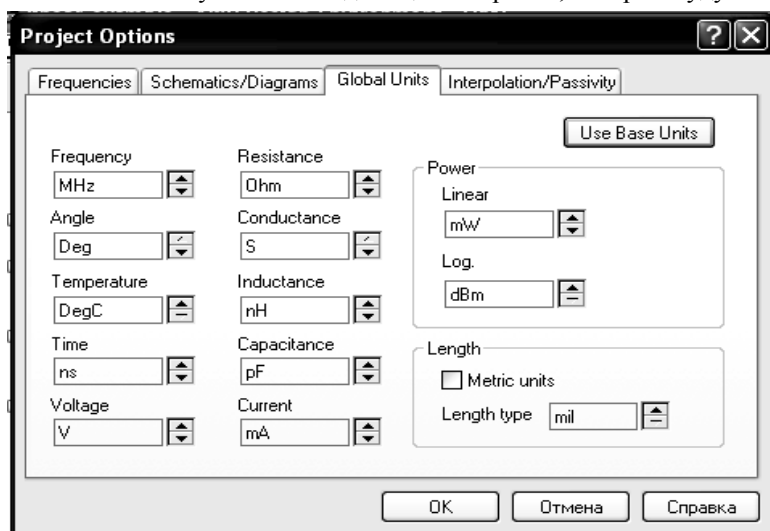



Рис. 2.1

ские единицы), установите **mil** в поле **Length type** и нажмите **OK**.

1. Выберите в меню **Options>Project Options** (Опции>Опции проекта). Откроется диалоговое окно **Project Options** (рис. 2.1).
2. Нажмите панель **Global Units** (Глобальные опции) в верхней части диалогового окна.
3. Установите нужные единицы измерения, щёлкая по стрелкам, справа от поля ввода соответствующей единицы так, чтобы они соответствовали показанным на рис. 2.1, снимите флажок в поле **Metric units** (Метриче-

#### Создание схемы.

Чтобы создать схему:

1. Выберите **Project>Add Schematic>New Schematic** (Проект > Добавить схему > Новая схема) в выпадающем меню или щёлкните по значку **New Schematic**  на панели инструментов. Откроется диалоговое окно **Create New Schematic** (Создание новой схемы).
2. Наберите имя схемы, например, **lpf** и нажмите **OK**. Откроется окно схемы на рабочем поле и схема появится, как подгруппа **lpf** в группе **Circuit Schematics** (Схемы цепи) в окне просмотра проекта.

### Размещение элементов в схеме.

Чтобы разместить элементы в схеме:

1. Нажмите панель **Elements** в нижней части левого окна, чтобы открыть окно просмотра элементов (см. рис. 2.2).
2. В категории **Circuit Elements** разверните группу сосредоточенных элементов (**Lumped Element**), щёлкнув по значку + слева от этой группы.
3. Щёлкните левой кнопкой мышки по подгруппе **Inductor** (Индуктивности) в окне просмотра элементов. В нижней части окна появятся изображения доступных индуктивностей.
4. Нажмите левой кнопкой мышки на модель индуктивности **IND** и, не отпуская кнопки мышки, перетащите её в окно схемы. Отпустите кнопку мышки, поместите элемент, как показано на рисунке 2.2 и зафиксируйте, щёлкнув левой кнопкой мышки.
5. Повторите шаг 4 три раза, совмещая и подключая каждую индуктивность, как показано на рисунке 2.3.

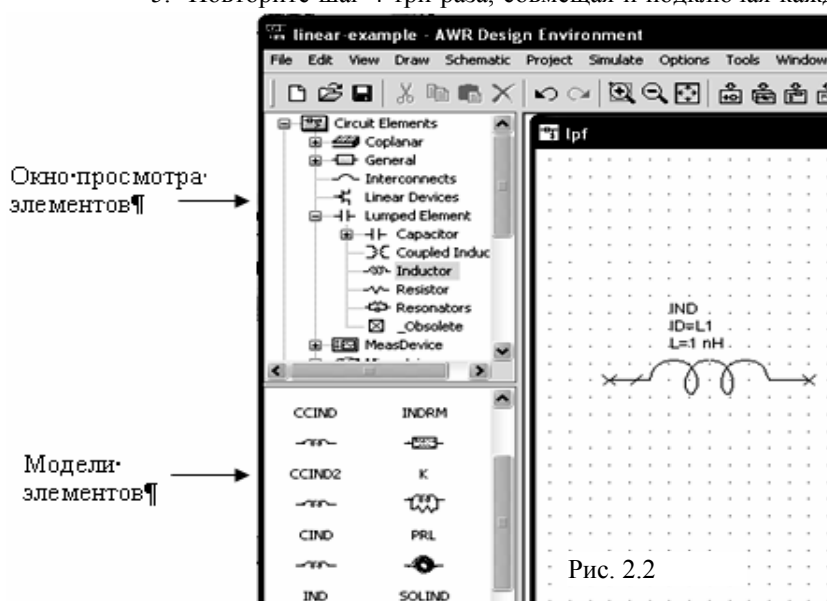


Рис. 2.2

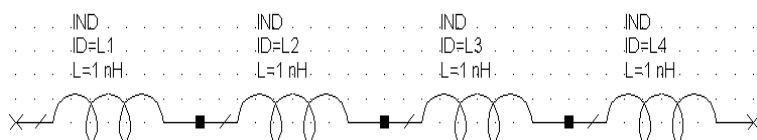


Рис. 2.3

8. Нажмите на модель конденсатора **CAP** и, не отпуская кнопки мышки, перетащите её в окно схемы, отпустите кнопку, щёлкните правой кнопкой мышки, чтобы повернуть элемент, поместите его, как показано на рисунке 2.4 и зафиксируйте, щёлкнув левую кнопку мышки.

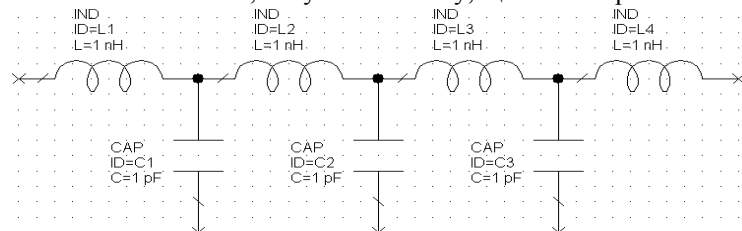



Рис. 2.4



### Примечания.

- Используйте полосы скроллинга справа и внизу окна схемы, чтобы отобразить в окне ту часть схемы, с которой вы работаете.
- Чтобы увеличить часть схемы, щёлкните по значку **View Area**  (Показать область) на панели инструментов, курсор будет отображаться в виде лупы с крестиком. Переместите курсор в окно схемы, поместите курсор крестиком в левый верхний угол участка

6. Чтобы соединить один элемент с другим элементом, вы должны поместить элемент так, чтобы его узел присоединился к узлу другого элемента. При правильном соединении узел отображается в виде маленького зелёного квадрата. Если сразу соединить элементы не удалось, нажмите нужный элемент левой кнопкой мышки и, не отпуская кнопки, переместите элемент в надлежащее место.

7. Теперь щёлкните левой кнопкой мышки по подгруппе **Capacitor** (Конденсаторы) в окне просмотра элементов. В нижней части окна появятся изображения доступных конденсаторов.
9. Повторите шаг 7 дважды, соединяя каждый конденсатор, как показано на рисунке 2.4.

схемы, который надо увеличить, нажмите на левую кнопку мышки и, не отпуская кнопки, переместите курсор в правый нижний угол выделяемого участка (выделяемая часть схемы будет обводиться прямоугольником). Отпустите кнопку мышки.

- Чтобы уменьшить изображение схемы, щёлкните по значку **Zoom Out**  (Уменьшить масштаб) на панели инструментов.
- Чтобы отобразить всю схему, щёлкните по значку **View All**  (Показать всё) на панели инструментов.
- Чтобы удалить элемент из схемы, щёлкните левой кнопкой мышки по этому элементу в схеме и нажмите клавишу **Delete**.

## Соединение проводом.

Чтобы соединить нижние клеммы конденсаторов:

1. Поместите курсор возле нижней клеммы первого конденсатора C1. Курсор будет отображаться в виде соленоида, как показано на рисунке 2.5.
2. Щёлкните (т. е. нажмите и отпустите) левой кнопкой мышки, чтобы зафиксировать начало провода, перетащите курсор к нижней клемме второго конденсатора C2, затем к нижней клемме последнего конденсатора C3 и снова щёлкните левой кнопкой мышки (рис. 2.6).

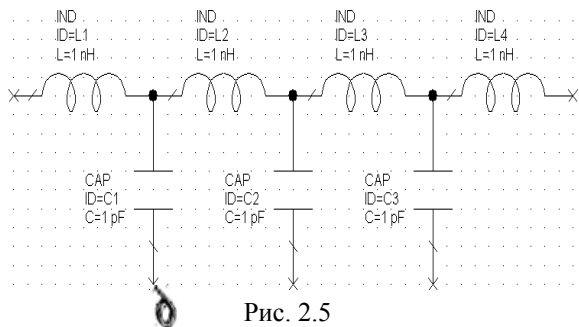


Рис. 2.5

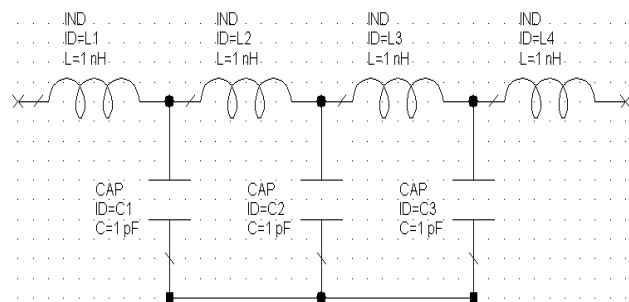



Рис. 2.6

## Размещение портов.

Чтобы разместить порты (входы):

1. Выберите в меню **Draw>Add Port** (Рисовать>Добавить порт) или щёлкните левой кнопкой мышки по значку **Port**  на панели инструментов.

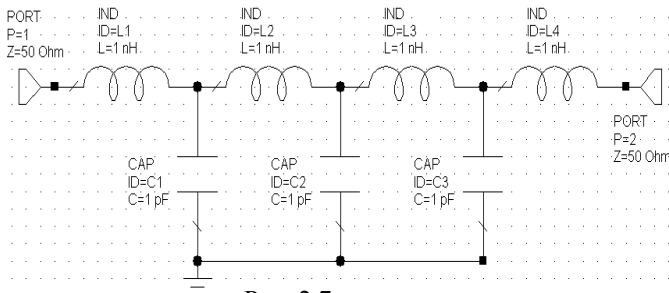



Рис. 2.7

2. Переместите курсор в окно схемы, поместите порт на левой клемме первой индуктивности и щёлкните левой кнопкой мышки, чтобы зафиксировать его.
3. Повторите шаги 1 и 2, чтобы подключить порт к последней индуктивности, но после перемещения его в окно схемы, щёлкните два раза правой кнопкой мышки, чтобы развернуть его на 180 градусов, подведите к правой клемме последней индуктивности и зафиксируйте, щёлкнув левой кнопкой (рис. 2.7).

## Размещение земли.

Чтобы поместить землю:

1. Выберите в меню **Draw>Add Ground** (Рисовать>Добавить землю) или щёлкните левой кнопкой мышки по значку **Ground**  на панели инструментов.
2. Переместите курсор в окно схемы, поместите землю на нижней клемме конденсатора C1 и зафиксируйте, щёлкнув левой кнопкой мышки (см. рис. 2.7).

## Редактирование параметров элементов.

Чтобы отредактировать параметры элементов:

1. Поместите курсор на элемент **IND L1** (на катушку) в окне схемы и дважды щёлкните левой кнопкой мышки. Откроется диалоговое окно **Element Options** (Опции элемента)

- На вкладке **Parameters** этого окна в текстовое поле, расположенное в столбце **Value** (Значение) напротив значения индуктивности (**L**), введите **15** и нажмите **OK**. Изменение будет отражено на схеме (рис. 2.8). Альтернативно, можно дважды щёлкнуть левой кнопкой мышки по значению параметра в схеме (в данном случае по параметру **L=1 nH** индуктивности **ID=L1**). Откроется поле редактирования, которое позволяет изменить значение параметра непосредственно в схеме.

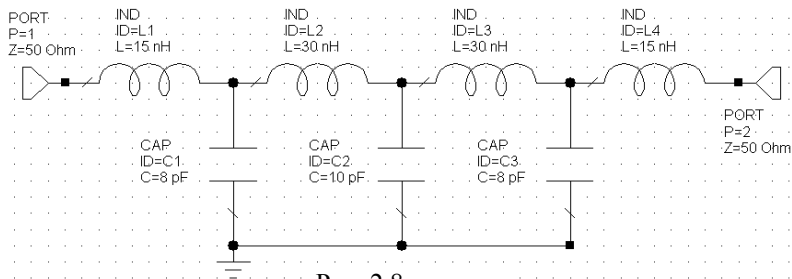


Рис. 2.8

- По аналогии с шагами 1 и 2 редактируйте значения индуктивностей и емкостей так, чтобы их значения были такими, как показано на рисунке 2.8. (Чтобы редактировать ёмкости, выберите **C** в окне списка параметров).

### Задание частот для моделирования.

Чтобы задать частоты для моделирования:

- Щёлкните левой кнопкой мышки по панели **Project** в нижней части левого окна, чтобы открыть окно просмотра проекта.
- Дважды щёлкните по группе **Project Options** (Опции проекта). Откроется диалоговое окно

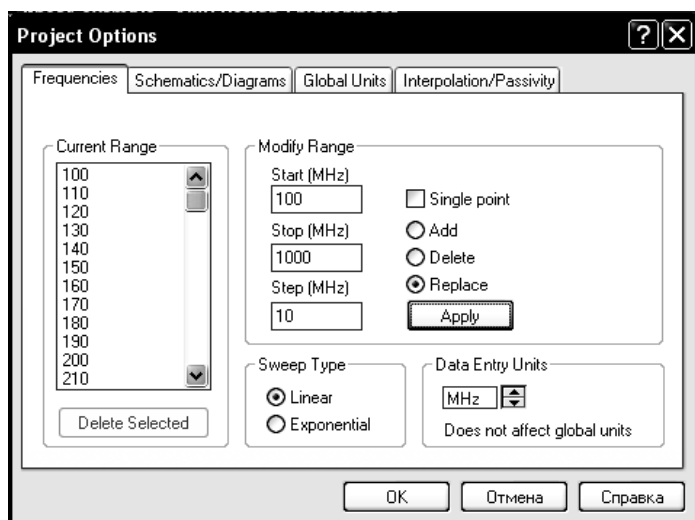


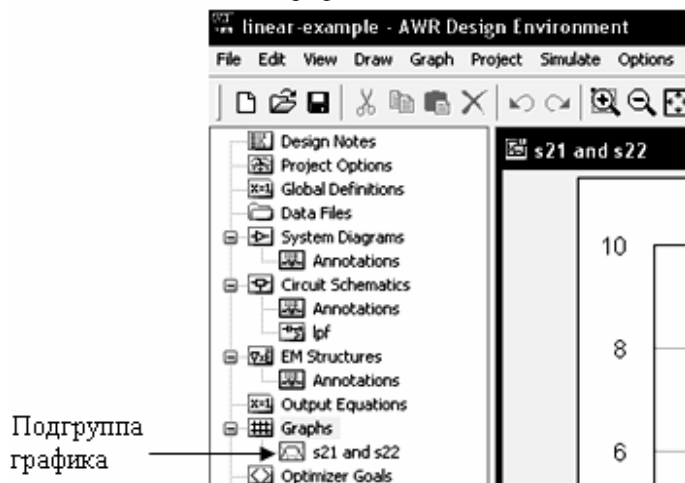
Рис. 2.9

- Откроется диалоговое окно **Project Options**.
- В этом окне откройте вкладку **Frequencies** (Частота).
- В области **Data Entry Units** (Ввод единиц измерения данных) установите **MHz**, щёлкая по кнопкам в правом конце этого поля.
- Отметьте **Replace** (Заменить). Наберите **100** в поле **Start** (Начальная частота), **1000** в поле **Stop** (Конечная частота) и **10** в поле **Step** (Шаг). Нажмите **Apply** (Применить). В окне **Current Range** (Текущий диапазон) отображается частотный диапазон с заданным шагом по частоте (рис. 2.9). Нажмите **OK**.

**Примечание.** Переход между полями ввода можно делать, щёлкая левой кнопкой мышки по нужному полю или нажимая клавишу **Tab**.

### Создание графика.

Чтобы создать график:



Подгруппа графика

Рис. 2.10

- Щёлкните правой кнопкой мышки по группе **Graphs** (Графики) в окне просмотра проекта и выберите **Add Graph** (Добавить график) во всплывающем меню или щёлкните по значку **New Graph** на панели инструментов. Откроется диалоговое окно **Create Graph** (Создание графика).
- Наберите **S21 and S11** в поле **Graph Name** (Имя графика). Отметьте **Rectangular** (Прямоугольный) в переключателе **Graph Type** (Тип графика) и нажмите **OK**. Окно графика создаётся на рабочем поле и имя графика появляется как подгруппа в группе **Graphs** в окне просмотра проекта (рис. 2.10).

## Добавление к графику измеряемых величин.

Чтобы добавить измеряемые величины к графику:

- Щёлкните правой кнопкой мышки по имени графика **S21 and S11** в окне просмотра проекта и выберите **Add Measurement** (Добавить измеряемую величину) во всплывающем меню. Или щёлкните левой кнопкой мышки по значку **Add Measurement** на панели инструментов.

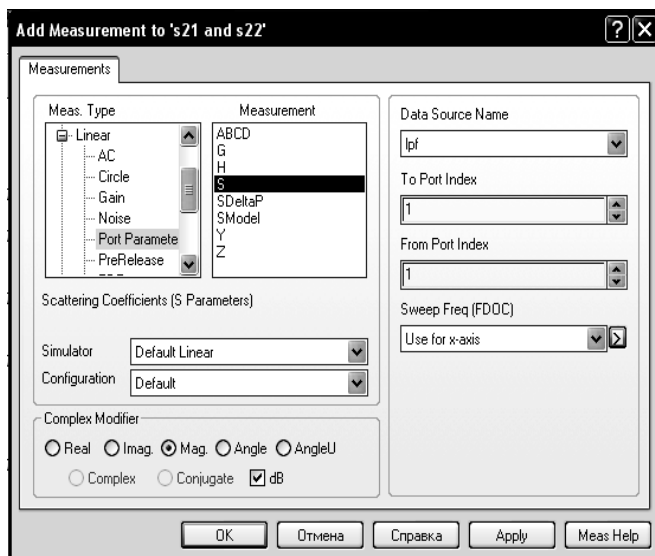


Рис. 2.11

отметьте **Mag** (Модуль) в переключателе **Complex Modifier** (Представление комплексной величины) и нажмите **Apply** (Применить).

- Измените значение в поле **To Port Index** на **2** и нажмите **Apply**.
- Нажмите **OK**. Изменяемые величины **lpf.DB(|S[1,1]|)** и **lpf.DB(|S[2,1]|)** появятся как подгруппы в группе **S21 and S11** в окне просмотра проекта.

## Анализ схемы.

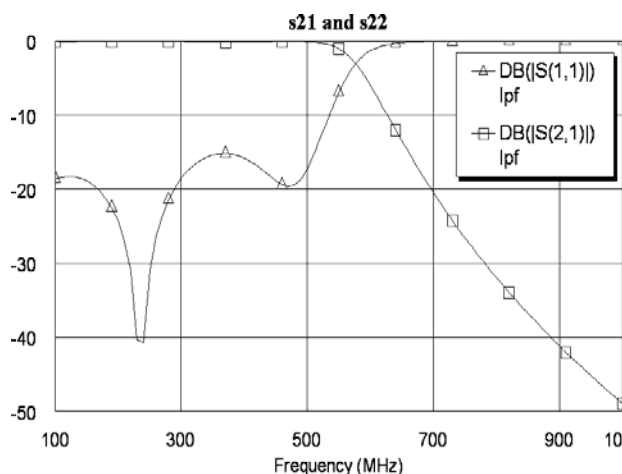


Рис. 2.12

Чтобы выполнить анализ схемы:

- Выберите в меню **Simulate>Analyze** (Моделирование>Анализ) или щёлкните левой кнопкой мышки

по значку **Analyze** на панели инструментов. Результаты анализа отображаются на графике рис. 2.12.

На графике в прямоугольнике отображается, какая кривая какой измеряемой величине соответствует. Размеры этого прямоугольника можно изменять, если щёлкнуть по нему левой кнопкой мышки, установить курсор на ромбик в середине любой стороны или на квадратик в углу (курсор при этом должен отображаться в виде двойной стрелки), нажать левую кнопку мышки и, не отпуская её, двигать курсор. Размер шрифта при этом изменяется автоматически. Весь этот прямоугольник можно переместить в любое место графика, если поместить курсор в прямоугольник (курсор при этом должен отображаться в виде перекрестия) и затем, нажав левую кнопку мышки и не отпуская её, двигать мышкой.

При желании можно распечатать график, нажав левой кнопкой мышки на значок **Print** на панели инструментов при активном окне графика.

## Настройка схемы.

Чтобы настроить схему:

- Щёлкните левой кнопкой мышки по окну схемы, чтобы сделать его активным. Или дважды щёлкните левой кнопкой мышки по имени схемы в окне просмотра элементов.
- Сначала нужно указать параметры элементов, которые необходимо изменять при настройке. Чтобы сделать это, щёлкните по значку **Tune Tool** (Инструмент настройки) на панели инструментов.

3. Поместите курсор на параметр **L** индуктивности **L1**. Курсор должен отображаться в виде перекрестия, как показано на рис. 2.13 (белое перекрестие в чёрном кружке).

4. Щёлкните левой кнопкой мышки, чтобы активизировать параметр **L** для настройки.

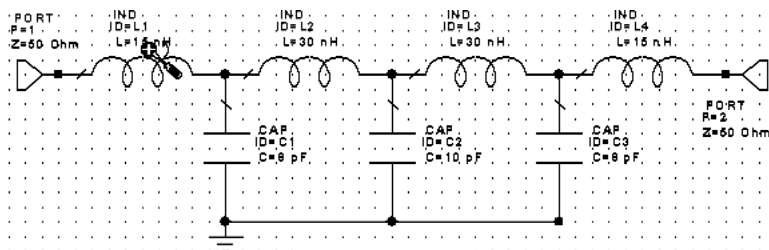


Рис. 2.13

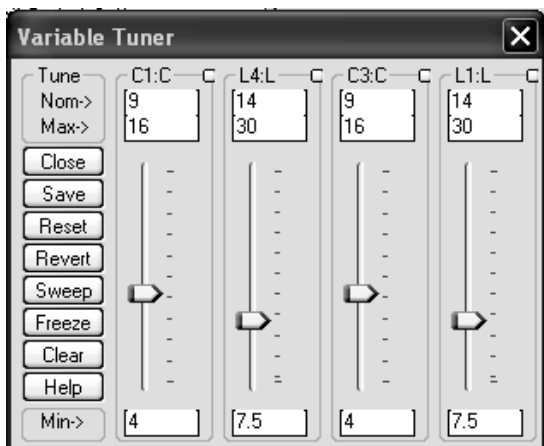


Рис. 2.14

5. Повторите шаги со 2-го по 4-ый для конденсаторов **C1**, **C3** и индуктивности **L4**. Значения параметров, назначенных для настройки, будут отображаться синим цветом.

6. Щёлкните по окну графика, чтобы сделать его активным.

7. Выберите **Simulate>Tune** в выпадающем меню или щёлкните по значку **Tune** на панели инструментов. Откроется диалоговое окно **Variable Tuner** (Блок настройки переменных), показанное на рис. 2.14.

8. Нажмите левой кнопкой мышки на бегунок настройки и, не отпуская кнопки, двигайте его вверх и вниз. Результаты настройки переменных наблюдайте на графике.

9. Передвиньте бегунки настройки переменных в положения, указанные на рисунке 2.14, и посмотрите результаты настройки на графике.

10. Закройте окно **Variable Tuner**.

### Создание переменных параметров для оптимизации.

Фильтры – это типично симметричные схемы. Т.е. в процессе оптимизации параметры симметричных элементов должны изменяться на одинаковую величину. Поэтому оптимизируемый параметр каждой пары тех симметричных элементов, которые должны быть включены в процесс оптимизации, нужно заменить одним общим переменным параметром. Для этого сначала необходимо создать такой переменный параметр для каждой пары оптимизируемых симметричных элементов и затем заменить созданным параметром соответствующие параметры у обоих симметричных элементов. Для среднего элемента, если он в схеме один (в данном случае конденсатор **C2**) это делать не обязательно.

Чтобы создать переменные параметры:

1. Щёлкните по окну схемы, чтобы сделать его активным.

2. Выберите в меню **Draw>Add Equation** (Рисовать>Добавить уравнение) или щёлкните по значку **Equation** на панели инструментов.

3. Переместите курсор в окно схемы. Появится окошко редактора в виде небольшого квадрата.

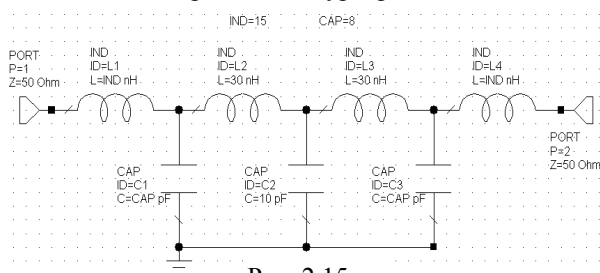


Рис. 2.15

4. Поместите окошко редактора выше схемы и щёлкните левой кнопкой мышки, чтобы зафиксировать его.

5. Наберите **IND=15** в окошко редактора и щёлкните мышкой вне этого окна.

6. Повторите шаги со 2-го по 5-ый, чтобы открыть второе окошко редактора, но наберите **CAP=8**, и щёлкните мышкой вне этого окошка. Результат показан на рис. 2.15.

7. Дважды щёлкните по параметру **L** значения индуктивности **IND L1**. Появится окошко редактора. Наберите значение **IND** и щёлкните левой кнопкой мышки вне окошка редактора.

8. Повторите шаг 7, чтобы заменить параметр **L** индуктивности **IND L4** на **IND**, и параметры конденсаторов **CAP C1** и **CAP C3** на **CAP**, как показано на рисунке 2.15. Переменные **IND** и **CAP** нужно назначить для оптимизации.

Чтобы назначить переменные для оптимизации:

1. Выберите в меню **Simulate>View Variables** или **View>Variables**. Или выберите в меню **Simulate>Optimize** и в открывшемся окне щёлкните левой кнопкой мышки по панели **Variables** в левой нижней части окна. Откроется диалоговое окно **Variables** (рис. 2.16), в котором перечислены все переменные и параметры элементов с указанием схемы, к кото-

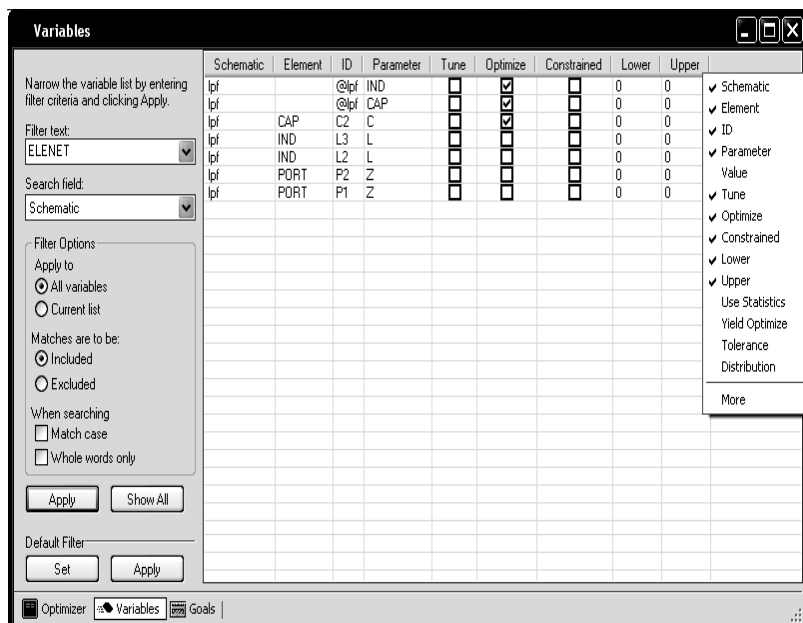


Рис. 2.16

ра C2 элемента CAP, чтобы назначить их для оптимизации. Закройте окно переменных.

### Замечания.

- В данном случае мы не накладываем никаких ограничений на значения переменных и параметров элементов, изменяемых в процессе оптимизации. В тоже время на практике часто желательно ограничить пределы возможных изменений параметров, например, чтобы не получить нереализуемые значения размеров топологии. Чтобы ограничить пределы изменения значений переменных и параметров элементов, отметьте столбец **Constrained** (Ограничить). В столбце **Lower** (Нижний) введите нижний допустимый предел изменения параметра, а в столбце **Upper** (Верхний) введите верхний допустимый предел изменения параметра. Если этих столбцов нет в окне **Variables**, щёлкните правой кнопкой мышки по строке имён столбцов в верхней части окна и в открывшемся дополнительном окне отметьте **Constrained**, **Lower** и **Upper**. На рис. 2.16 показано окно **Variables** с открытым дополнительным окном для установки недостающих столбцов или для удаления ненужных столбцов. Заметим, что таким же образом можно добавить столбцы, чтобы назначать переменные для статистического анализа.
- Если щёлкнуть левой кнопкой мышки по нижней строчке **More** (Больше) в дополнительном окне, то дополнительно можно изменять ширину столбцов или менять порядок их расположения. Изменить порядок расположения столбцов можно и мышкой. Для этого установите курсор на имя столбца, нажмите левую кнопку мышки и просто перетащите столбец на новое место.
- Указанный способ назначения переменных для оптимизации не является единственным. Он удобен тем, что в одном диалоговом окне можно назначить для оптимизации сразу все необходимые переменные и параметры элементов. Другой способ, в котором каждая переменная или параметры каждого элемента назначаются для оптимизации индивидуально, мы рассмотрим в следующем примере.

### Добавление целей оптимизации.

Под целью оптимизации подразумевается некоторая граница изменения какой-либо характеристики анализируемой схемы, к которой должен стремиться выбранный метод оптимизации при изменении определённых параметров элементов.

Чтобы добавить цели оптимизации:

1. Откройте вкладку **Project** в левом окне проекта.
2. Введите цель для коэффициента отражения в полосе пропускания. Для этого щёлкните правой кнопкой мышки по **Optimization Goals** (Цели оптимизации) и выберите **Add Opt Goal** (Добавить цель оптимизации) во всплывающем меню. Откроется диалоговое окно **New Optimization Goal** (Новая цель оптимизации) (см. рис. 2.17).
3. Выделите **Ipf:DB(|S[1,1]|)** в окне списка измеряемых величин **Measurement**. Отметьте **Meas<Goal** (Измеряемая величина<Цель) в области **Goal Type** (Тип цели), уберите “галочку” в поле **Max** в области **Range** (Предел), введите **500** в поле **Stop**, введите **-17** в поле **Goal** (Цель), и нажмите **OK**.

рой они относятся. Обратите внимание, в столбце **Element** указывается тип элемента (в данном случае ёмкость или индуктивность), а в столбце **ID** (Идентификатор) указывается идентификатор (т.е. имя элемента) на схеме. Для переменных в столбце **ID** указывается имя схемы, к которой добавлена данная переменная.

2. В столбце **Optimize** отметьте переменные **IND**, **CAP** и параметр **C** для идентификато-

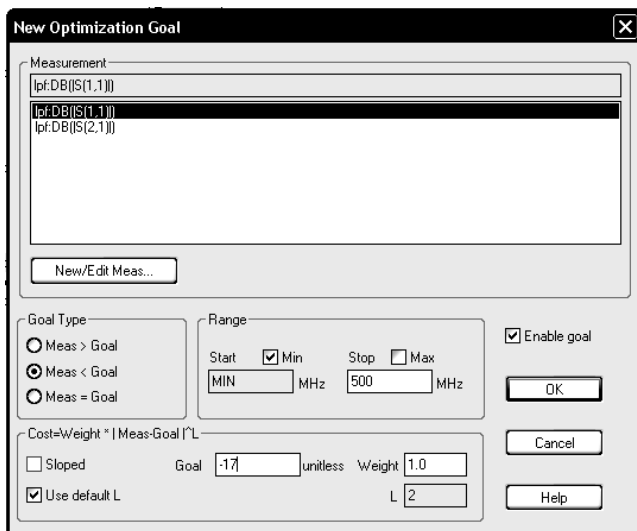


Рис. 2.17

**Примечание.** Ведённые значения означают следующее:

- 500 MHz – это верхняя (максимальная) частота полосы пропускания, 700 MHz – это нижняя (минимальная) частота полосы заграждения.
- -17 – желательное предельное значение коэффициента отражения S11 в полосе пропускания; -1 – желательное предельное значение коэффициента передачи S21 в полосе пропускания.
- -30 – желательное предельное значение коэффициента передачи S21 в полосе заграждения.

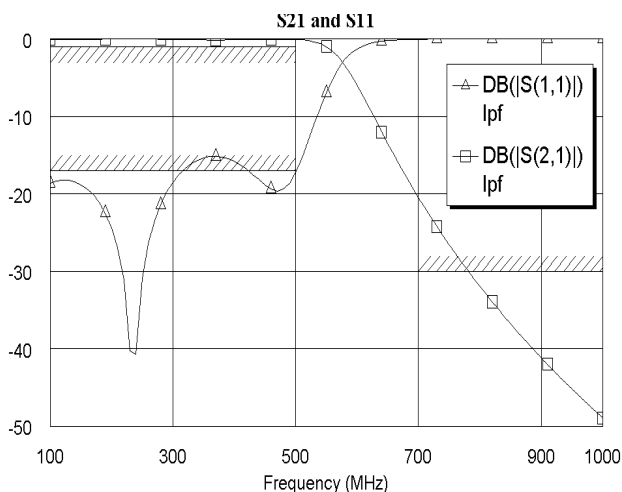


Рис. 2.18

можно как по величине параметра, так и по частоте.

Обратите внимание, что направление штриховки у цели на графике указывает на недопустимые значения измеряемой величины.

## Оптимизация схемы.

Чтобы выполнить оптимизацию:

1. Выберите в меню **Simulate>Optimize** (Моделирование > Оптимизация). Откроется диалоговое окно **Optimize** (рис. 2.19).
2. Выберите метод оптимизации **Random (Local)** (Случайный (Локальный)) в области **Optimization Methods** (Методы оптимизации), наберите **5000** в поле **Maximum Iteration** (Максимум итераций), щёлкая по стрелке справа от поля, и нажмите **Start**, чтобы начать оптимизацию.

4. Введите цель для коэффициента передачи в полосе пропускания. Для этого повторите шаги 2 и 3, но выделите **lpf: DB(|S(2,1)|)** в окне списка измеряемых величин, отметьте **Meas>Goal** в области **Goal Type**, уберите “галочку” в поле **Max** в области **Range**, введите **500** в поле **Stop**, введите **-1** в поле **Goal** и нажмите **OK**.
5. Введите цель для коэффициента передачи в полосе заграждения. Для этого повторите шаги 2 и 3 снова, но введите **lpf: DB(|S(2,1)|)** в окне списка измеряемых величин, отметьте **Meas<Goal** в поле **Goal Type**, уберите “галочку” в поле **Min** в области **Range**, введите **700** в поле **Start**, введите **-30** в поле **Goal** и нажмите **OK**.

Цели оптимизации отображаются на графике в виде границ со штриховкой (см. рис. 2.18) и могут быть изменены. Для изменения цели оптимизации щёлкните правой кнопкой мышки по имени цели в окне просмотра проекта и выберите **Properties**. Откроется диалоговое окно для изменения цели, аналогичное окну рис. 2.17, в котором можно изменить цель оптимизации. Цель оптимизации можно изменить и непосредственно на графике. Чтобы изменить цели оптимизации непосредственно на графике, щёлкните по нужной цели левой кнопкой мышки. Затем поместите курсор на заштрихованный участок цели на графике (курсор отображается в виде перекрестия), или поместите курсор на квадратик в уголке цели (курсор отображается в виде двойной стрелки), нажмите левую кнопку мышки и, не отпуская её, двигайте в нужном направлении. Изменять цель при этом





Рис. 2.19

3. Когда оптимизация закончится, закройте диалоговое окно **Optimize**. Результаты оптимизации отображаются на графике и на схеме, как показано на рисунках 2.20 и 2.21.

В заключение вы можете, при желании, сохранить вашу работу, выбрав в меню **File>Save Project** (Файл>Сохранить проект) или щёлкнув левой кнопкой мышки по значку **Save Project** на панели инструментов.

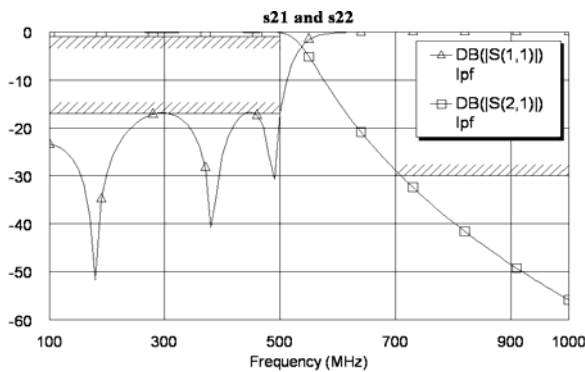


Рис. 2.20

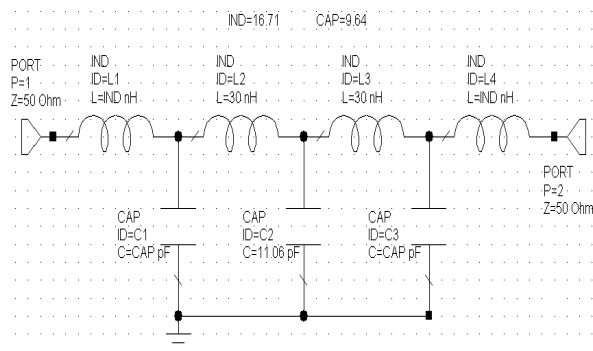


Рис. 2.21

## 2.2. Моделирование микрополоскового заграждающего фильтра

### Создание нового проекта.

Для создания нового проекта сделайте следующее:

1. Выберите в меню **File>New Project** (Файл>Новый проект).
2. Выберите в меню **File>Save Project As** (Файл>Сохранить проект как). Откроется диалоговое окно **Save As**.
3. Наберите имя проекта (например, **Fil-z**) и нажмите **Сохранить**.

### Установка единиц измерения, используемых по умолчанию.

Установите единицы измерения, которые будут использоваться по умолчанию, как описано в примере 2.1, но для частоты установите **GHz**, установите флажок в поле **Metric units** и **mm** в **Length type**.



### Создание схемы.

Чтобы создать схему:


1. Щёлкните по значку **New Schematic** на панели инструментов.
2. Наберите имя схемы, например, **zfil** и нажмите **OK**.

### Размещение элементов в схеме.

1. Нажмите панель **Elements** в нижней части левого окна.
2. Щёлкните по значку + слева от группы **Microstrip** (Микрополоска) в окне просмотра элементов.

3. Щёлкните по подгруппе **Lines** (Линии) в окне просмотра элементов.
4. Найдите модель **MLIN**, пользуясь полосой скроллинга, переместите её в окно схемы и зафиксируйте, щёлкнув левой кнопкой мышки.
5. Щёлкните по подгруппе **Junction** (Соединения) в окне просмотра элементов.
6. Найдите модель **MTEES**, переместите её в окно схемы, подсоедините к правому концу элемента **MLIN** и зафиксируйте, щёлкнув левой кнопкой мышки.
7. Щёлкните по подгруппе **Lines** (Линии) в окне просмотра элементов.
8. Найдите модель **MLEF**, переместите её в окно схемы, щёлкните три раза правой кнопкой мышки, чтобы повернуть элемент, подсоедините его к плечу 3 элемента **MTEES** и зафиксируйте, щёлкнув левой кнопкой мышки.
9. Нажмите клавишу **Shift** и, не отпуская её, щёлкните по очереди по моделям **MLIN (ID=TL1)**, **MTEES (ID=TL2)** и **MLEF (ID=TL3)**, затем отпустите клавишу **Shift**.
10. Щёлкните по значку **Copy** (Копировать)  на панели инструментов.
11. Щёлкните по значку **Paste** (Вставить)  на панели инструментов.
12. Подключите скопированную группу к плечу 2 элемента **MTEES (ID=TL2)** и зафиксируйте её, щёлкнув левой кнопкой мышки.
13. Снова щёлкните по значку **Paste** на панели инструментов, подключите скопированную группу к плечу 2 элемента **MTEES (ID=TL6)** и зафиксируйте её, щёлкнув левой кнопкой мышки.
14. Щёлкните по подгруппе **Lines** (Линии) в окне просмотра элементов.
15. Найдите модель **MLIN**, переместите её в окно схемы, подсоедините её к плечу 2 последнего элемента **MTEES (ID=TL6)** и зафиксируйте её, щёлкнув левой кнопкой мышки.

### Размещение портов.


1. Щёлкните по значку **Port**  на панели инструментов.
2. Поместите порт на левом конце первого элемента **MLIN**.
3. Снова щёлкните по значку **Port** на панели инструментов.
4. Поместите порт на правом конце последнего элемента **MLIN**, предварительно развернув его на 180 градусов, щёлкая правой кнопкой мышки.

### Определение параметров подложки.

1. Щёлкните по группе **Substrates** (Подложки) в окне просмотра элементов.
2. Перетащите элемент **MSUB** в окно схемы, поместите его на свободном месте, например, ниже схемы.
3. Дважды щёлкните по элементу **MSUB** в окне схемы. Откроется окно редактирования. Введите:
  - $\epsilon_r=10.44$  – относительная диэлектрическая проницаемость;
  - $H=0.5$  – толщина подложки;
  - $T=0.005$  – толщина проводника;
  - $Rho=1$  – удельное сопротивление металла проводника, нормированное к золоту;
  - $Tang=0.0001$  – тангенс угла потерь;
  - $\epsilon_{rNom}=10.44$  – номинальная диэлектрическая проницаемость;
  - $Name=SUB1$  – имя подложки.
4. Нажмите **OK**.

### Добавление переменных.

При настройке или оптимизации одинаковым образом должны изменяться параметры второго и третьего элементов **MLIN** (расстояний между шлейфами), а так же параметры первого и третьего элементов **MLEF**. Поэтому добавим в схему следующие переменные:

1. Щёлкните левой кнопкой мышки по значку **Equation**  на панели инструментов.
2. Переместите курсор в окно схемы и щёлкните левой кнопкой мышки на свободном месте выше схемы. В открывшееся поле введите **LL=3.5** (длина второго и третьего элементов **MLIN**) и щёлкните левой кнопкой мышки вне этого поля.
3. Повторяя шаги 1 и 2, введите переменные **WL=0.45** (ширина второго и третьего элементов **MLIN**), **L1=3.5** и **W1=0.45** (длина и ширина первого и третьего элементов **MLEF**).

## Редактирование параметров элементов.

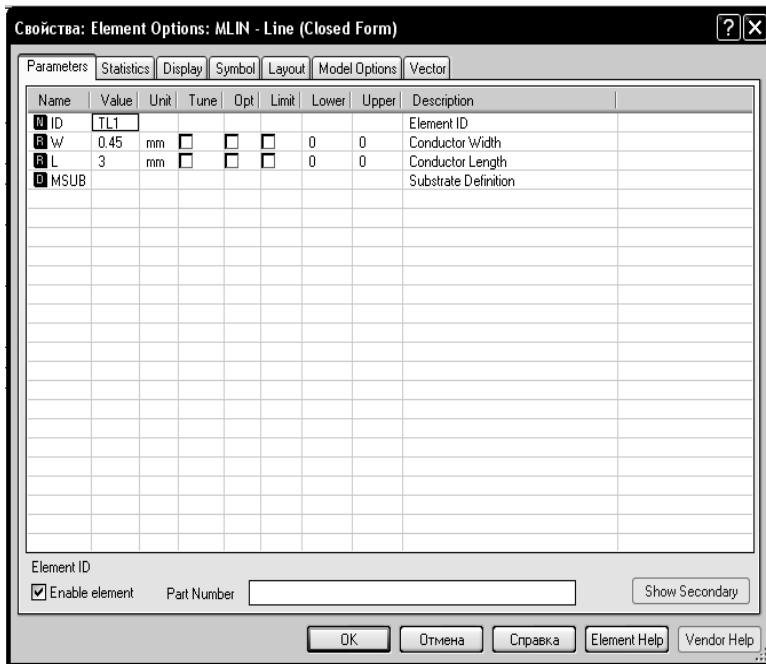


Рис. 2.22

1. Дважды щёлкните по первому элементу **MLIN**. В открывшемся окне (рис. 2.22) введите **W=0.45 mm** (т.е. введите 0.45 в поле **Value** параметра **W**) и **L=3 mm**. Нажмите **OK**. Такие же значения параметров введите для последнего четвертого элемента **MLIN**.
2. Аналогично введите **W=WL mm**, **L=LL mm** для второго и третьего элементов **MLIN**.
3. Дважды щёлкните по первому элементу **MLEF**. Введите **W=W1 mm**, **L=L1 mm**. Нажмите **OK**. Такие же значения параметров введите для последнего третьего элемента **MLEF**.

4. Аналогично введите **W=0.45 mm**, **L=3.5 mm** для второго элемента **MLEF**.  
Полученная схема показана на рис. 2.23.

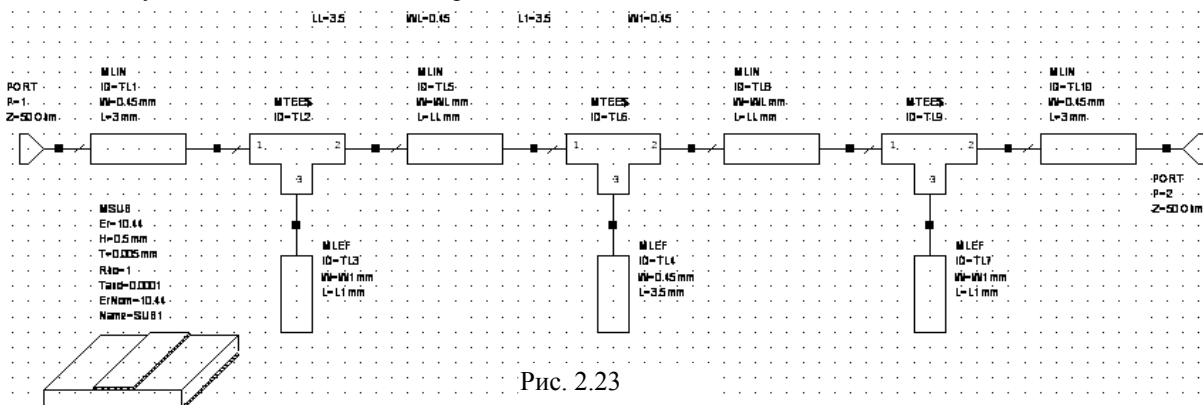



Рис. 2.23

## Задание частот для моделирования.


1. Нажмите панель **Project** в нижней части левого окна, чтобы открыть окно просмотра проекта.
2. Дважды щёлкните по группе **Project Options** (Опции проекта). Откроется диалоговое окно **Project Options**.
3. Щёлкните левой кнопкой мышки по **Frequencies** (Частоты), чтобы открыть эту вкладку, если она не открыта.
4. Наберите **4** в поле **Start** (Начальная частота), **12** в поле **Stop** (Конечная частота) и **0.25** поле **Step** (Шаг), отметьте **Replace** (Заменять), отметьте **Linear** (Линейная). Нажмите **Apply** (Применить). В окне **Current Range** (Текущий диапазон) отображается частотный диапазон и шаг по частоте. Нажмите **OK**.

## Создание графика и добавление измеряемых величин.

1. Щёлкните по значку **Add Graph**  на панели инструментов.
2. Введите имя графика, например, **Graph 1** в поле **Graph name** (Имя графика), выберите **Rectangular** (Прямоугольный) в области **Graph Type** (Тип графика) и нажмите **OK**.
3. Щёлкните правой кнопкой мышки по подгруппе **Graph 1** в окне просмотра проекта и выберите **Add Measurement**.
4. Выберите **Port Parameter** в списке **Meas. Type**, **S** в списке **Measurement**, **zfil** в поле **Data Source Name**, **2** в поле **To Port Index** (Индекс входного порта), **1** в поле **From Port Index** (Индекс выходного порта), нажимая на стрелки справа от этих полей. В области **Complex**

**Modifier** (Модификатор комплексного числа) отметьте **Mag** и снимите “галочку” в **dB**, если она установлена, нажмите **Apply** и затем **OK**.

## Анализ схемы.

- Щёлкните левой кнопкой мышки по значку **Analyze**  на панели инструментов.
- Щёлкните правой кнопкой мышки по полученному графику и выберите **Properties**. Откроется диалоговое окно свойств графика (рис. 2.24).
- На вкладке **Axes** этого окна в области **Choose axis** (Выбрать ось) отметьте ось **x**. В области **Divisions** (Деления) снимите “галочку” в **Auto divs** и в поле **Step** (Шаг) введите **0.5**. Это будет шаг по оси частот. Нажмите **Apply** и **OK**. Результаты анализа отображаются на графике

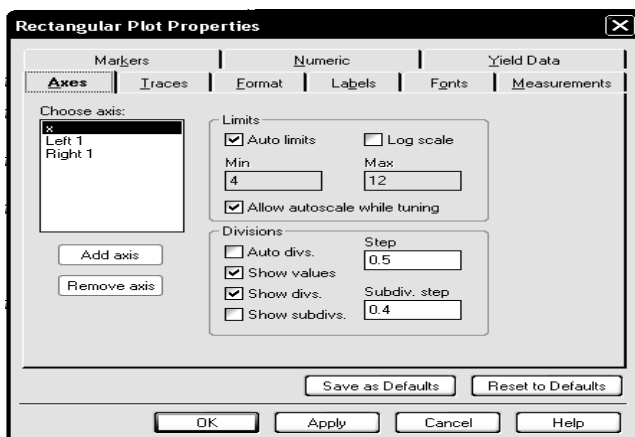


Рис. 2.24

рис. 2.25.

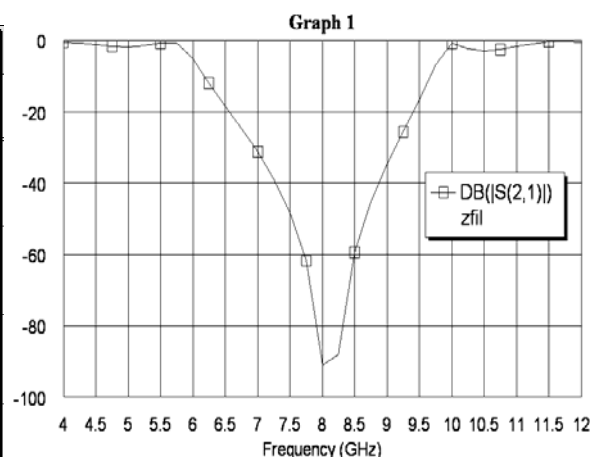


Рис. 2.25

## Назначение переменных и параметров для оптимизации.

Здесь мы рассмотрим другой способ назначения переменных и параметров, отличный от способа, описанного в предыдущем примере.

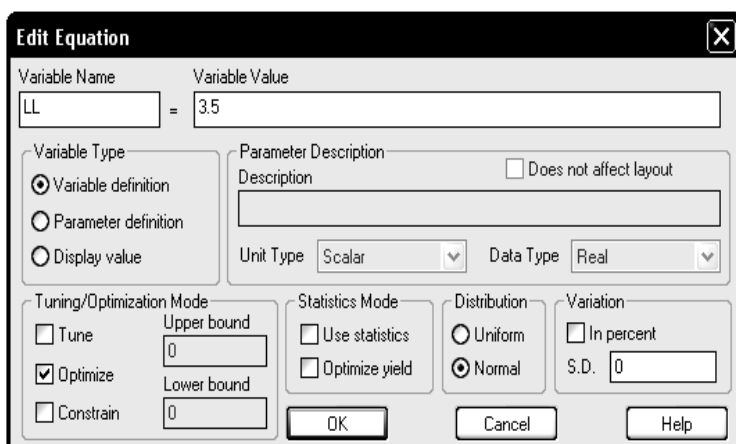


Рис. 2.26

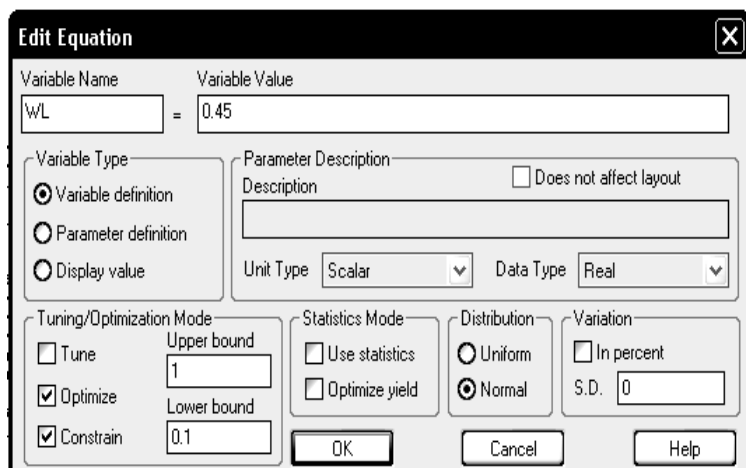


Рис. 2.27

- Откройте окно схемы. Щёлкните правой кнопкой мышки по переменной **LL=3.5** и выберите **Properties**. Откроется окно редактирования переменной **Edit Equation** (рис. 2.26). В поле **Variable Name** отображается имя переменной, а в поле **Variable Value** отображается значение этой переменной. При желании здесь вы можете изменить имя переменной и её значение. В области **Tuning/Optimization Mode** (режим настройки/оптимизации) отметьте **Optimize**. На вариации значений длины мы не будем накладывать ограничений, поэтому не отмечайте **Constrain** (Ограничить). Нажмите **OK**.
- Аналогично с такими же параметрами назначьте для оптимизации переменную **L1=3.5**.
- Щёлкните правой кнопкой мышки по переменной **WL=0.45** и выберите **Properties**. В открывшемся окне

(рис. 2.27) отметьте **Optimize**. Здесь мы ограничим ширину полосы, поэтому отметьте

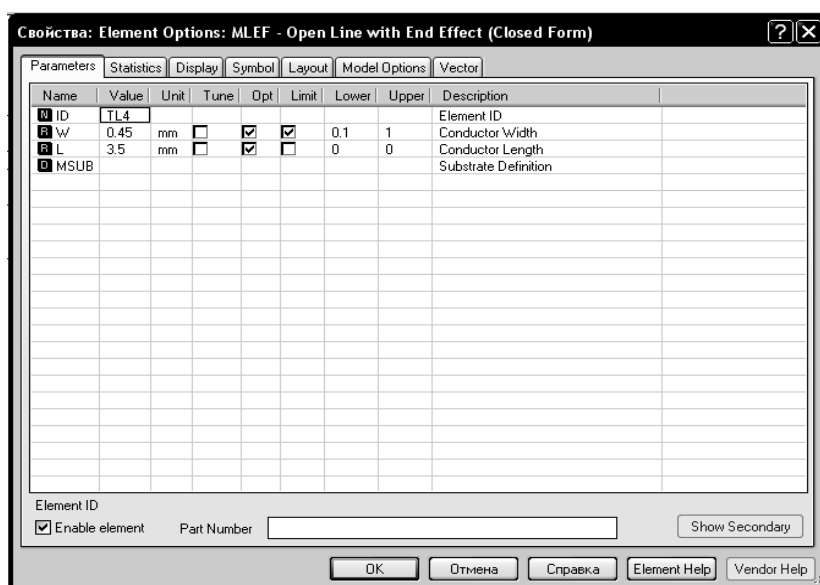


Рис. 2.28

параметра **W** отметьте столбцы **Opt** и **Limit** (Предел). В столбце **Lower** (Нижний) введите **0.1**, а в столбце **Upper** (Верхний) введите **1**. Значение длины мы ограничивать не будем, поэтому для параметра **L** отметьте только столбец **Opt**. Нажмите **OK**.

### Установка целей оптимизации.

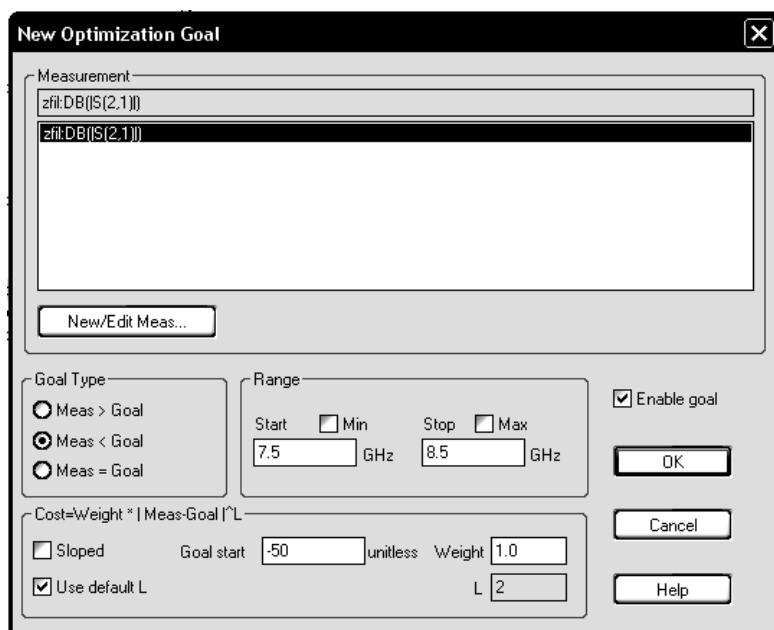


Рис. 2.29

щёлкните правой кнопкой мышки по **Optimizer Goals** в левом окне проекта и выберите **Add Opt Goal**. В открывшемся окне в области **Goal Type** отметьте **Meas>Goal**, в области **Range** (диапазон) снимите “галочку” в поле **Max**. и в поле **Stop** введите **5.5**. В поле **Goal start** введите **-1**. Нажмите **OK**.

- Установите цель оптимизации в верхней полосе пропускания. Снова щёлкните правой кнопкой мышки по **Optimizer Goals** в левом окне проекта и выберите **Add Opt Goal**. В открывшемся окне в области **Goal Type** отметьте **Meas>Goal**, в области **Range** (диапазон) снимите “галочку” в поле **Min**, в поле **Start** введите **10** и в поле **Goal start** введите **-1**. Нажмите **OK**.

Установленные цели будут отображены как подгруппы в группе **Optimizer Goals** в левом окне просмотра проекта и на графике.

- В поле **Upper bound** (Верхняя граница) введите **1**, а в поле **Lower bound** (Нижняя граница) введите **0.1**. Нажмите **OK**.
- Аналогично с такими же параметрами назначьте для оптимизации переменную **W1=0.45**.
- Дважды щёлкните по второму элементу **MLEF**, или щёлкните по нему правой кнопкой мыши и выберите **Properties**. Откроется диалоговое окно свойств элемента (рис. 2.28). Для па-

- Откройте окно графика. Установите цель оптимизации в полосе заграждения. Щёлкните правой кнопкой мышки по **Optimizer Goals** в левом окне проекта и выберите **Add Opt Goal**. В открывшемся окне рис. 2.29 в области **Goal Type** отметьте **Meas<Goal**, в области **Range** (диапазон) снимите “галочки” в полях **Min** и **Max**. В поле **Start** введите **7.5**, в поле **Stop** введите **8.5**. В поле **Goal start** в нижней части окна введите **-50**. Нажмите **OK**.
- Установите цель оптимизации в нижней полосе пропускания. Снова

## Выполнение оптимизации.



Рис. 2.30

ления имеется в верхней полосе пропускания, а наименьшую значимость имеет третья цель, т.е. ближе всего к заданному значению ослабления характеристика имеет в нижней полосе пропускания. Это можно видеть и на графике фильтра. При желании значимость целей можно уравнивать, щёлкнув левой кнопкой мышки по кнопке **Equalize Goals** (Выровнять цели) в окне, это приведёт к выравниванию столбцов гистограммы и изменению веса каждой цели так, чтобы изменение параметров вносили одинаковый вклад в изменение целевой функции. В процессе оптимизации высота столбцов гистограммы будет изменяться.

В окне **Cost History** (Хронология значимости) отображается график изменения целевой функции в зависимости от выполненного количества итераций.

Ниже указанных областей в процессе оптимизации выводятся выполненное количество итераций анализа (**Simulator Iter**) и оптимизации (**Optimizer Iter**), а так же значение целевой функции (**Cost**), которое при оптимизации должно стремиться к нулю.

Если поставить «галочку» в небольшом поле **Show all iteration** (Показывать все итерации), то на графике будут отображаться (мелькать) характеристики каждой итерации.

Чтобы начать выполнение оптимизации, щёлкните левой кнопкой мышки по кнопке **Start** в окне. График, полученный после оптимизации показан на рис. 2.31, а новые значения переменных и параметров элемента **MLEF** на рис. 2.32.

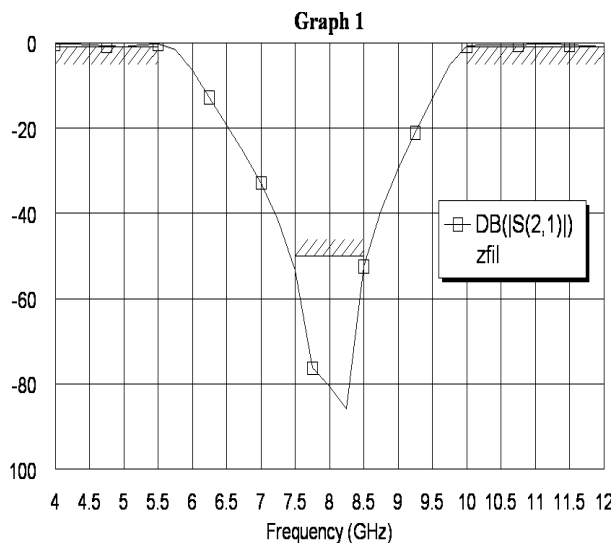


Рис. 2.31

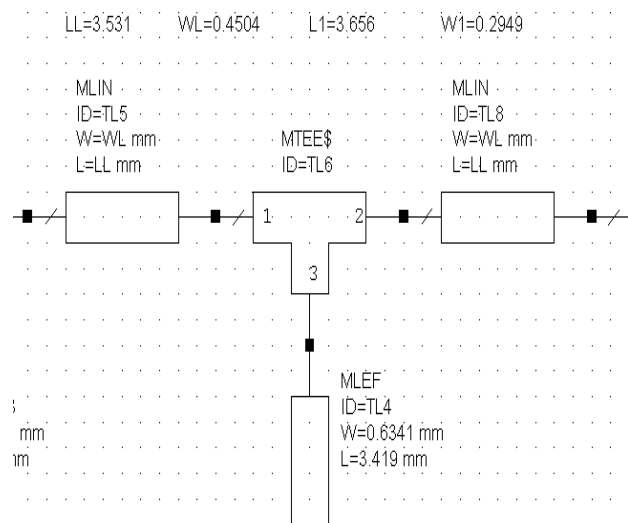


Рис. 2.32

Чтобы выполнить оптимизацию выберите в меню **Simulate>Optimize**. Откроется диалоговое окно **Optimizer** (рис. 2.30). В этом окне в области **Optimization Methods** выберите метод оптимизации **Pointer - Robust Optimization**, щёлкая по кнопке в правом конце этого поля ввода. В поле ввода **Maximum Iterations** введите максимальное количество итераций **500**. В окне **Relative Goal Cost** (Относительная стоимость цели) указывается в виде гистограммы относительная значимость цели, т.е. насколько далека поставленная цель от имеющегося значения характеристики. В нашем случае наибольшую значимость имеет вторая цель, т.е. наибольшее отклонение от заданной величины ослаб-

## Вывод результатов в файл.

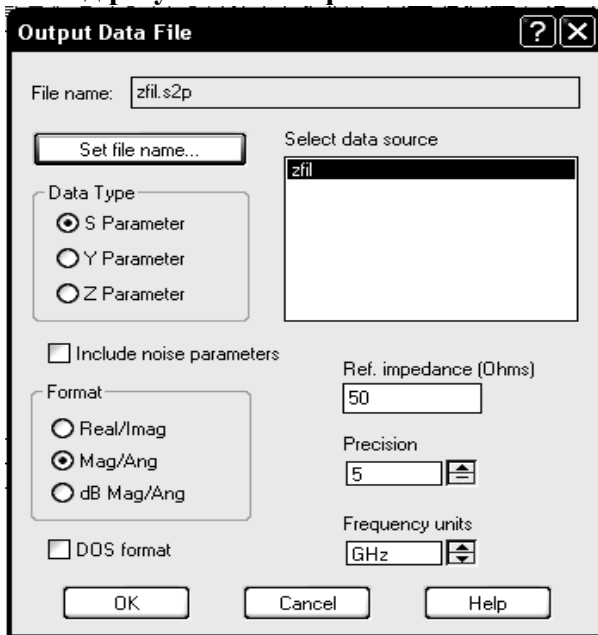


Рис. 2.33

значку **Analyze** на панели инструментов.

1. Щёлкните правой кнопкой мышки по группе **Output Files** (Выходные файлы).
2. Выберите **Add Port Parameter File** (Добавить параметр порта), откроется окно (см. рис. 2.33) **Output Data File** (Выходной файл данных).
3. Выберите **S Parameter** в области **Data Type** (Тип данных). Выберите **Mag/Ang** в области **Format**. В поле **Select Data Source** (Выберите источник данных) отметьте имя схемы (если в проекте их несколько), график которой вы хотите вывести в файл.
4. По умолчанию файл результатов будет создан в папке, в которой находится файл моделируемого проекта. При желании вы можете сохранить этот файл в любой другой папке или изменить имя файла, предлагаемое по умолчанию, щёлкнув левой кнопкой мышки по **Set file name...** (Установить имя файла...).
5. Нажмите **OK** и затем щёлкните по

## Создание топологии схемы.

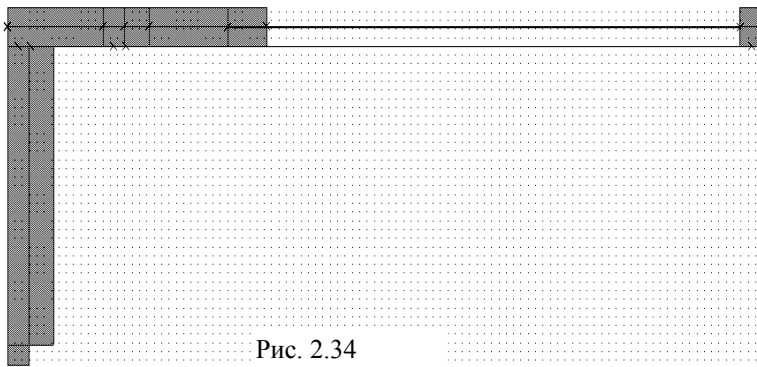


Рис. 2.34

топологии, соответствующие каждому элементу схемы. Однако расположение топологических элементов может быть беспорядочным, как, например, показано на рис. 2.34. Как правильно должны соединяться элементы топологии на этом рисунке показывают красные линии.

3. Установите курсор мышки левее и выше топологии, нажмите левую кнопку мышки и, не отпуская кнопки, переместите курсор правее и ниже топологии, чтобы выделить все элементы топологии, отпустите кнопку. Или в меню выберите **Edit>Select All**.

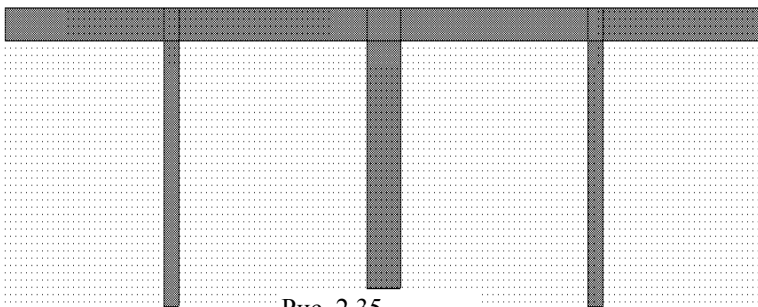




Рис. 2.35

топология будет иметь вид, показанный на рис. 2.35.

1. Откройте окно схемы.
2. Щёлкните левой кнопкой мышки по значку **New Schematic Layout View** (Показать новую топологию схемы)  на панели инструментов, чтобы открыть окно топологии на рабочем поле. В этом окне будут отображены все элементы топологии, отпустите кнопку. Или в меню выберите **Edit>Select All**.
4. Щёлкните по значку **Snap Together** (Привязать вместе)  на панели инструментов или выберите в меню **Edit>Snap Together**. Расположение элементов топологии будет упорядочено и топо-

## Экспорт топологии в файл.

В данном случае топология очень простая и состоит только из проводников, расположенных на одном уровне. Поэтому можно использовать все опции экспорта топологии по умолчанию. Выберите в меню **Layout>Export**. Откроется диалоговое окно **Export Layout** (рис. 2.36). В этом окне выберите папку, в которой вы хотите сохранить файл топологии, и введите имя файла или согласитесь с предлагаемыми по умолчанию. В поле **Тип файла** выберите тип файла, в котором вы сохраняете топологию, на-

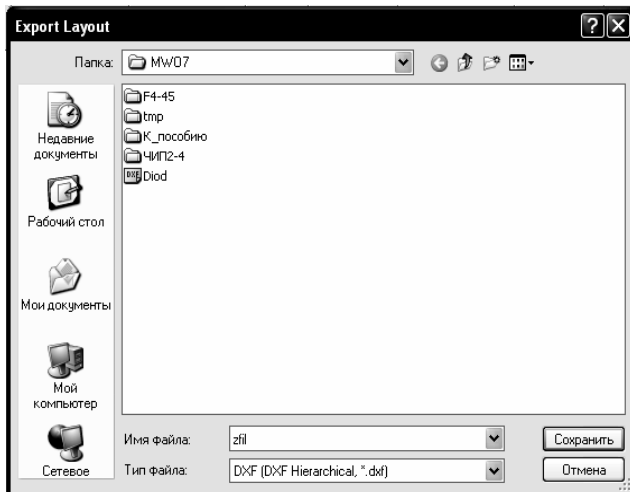


Рис. 2.36

пример, **DXF[DXF Flat,\*.dxf]**. Щёлкните мышкой по кнопке **Сохранить**. В AutoCAD сохранённая топология будет иметь вид, показанный на рис. 2.37.

Сохранённая топология состоит из отдельных соприкасающихся топологических элементов, в данном случае прямоугольников. В некоторых случаях удобнее соприкасающиеся топологические элементы объединить (например, для некоторых типов координатографов). Это можно сделать при экспорте топологии, установив соответствующую опцию экспорта. Выберите в меню **Options>Layout Options**. На вкладке **Export/LPF** открывшегося окна отметьте **Union layout shapes** (Объединить формы топологии) и нажмите **OK**. Теперь в AutoCAD сохранённая топология будет иметь вид, показанный на рис. 2.38.

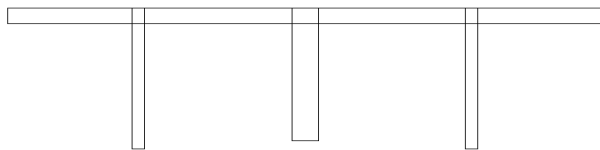


Рис. 2.37

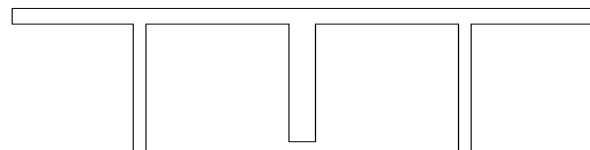


Рис. 2.38

При желании можно сохранить проект, выбрав в меню **File>Save Project** (Файл>Сохранить проект) или щёлкнув левой кнопкой мышки по значку **Save Project** на панели инструментов.

## 2.3. Моделирование микрополоскового аттенюатора на резисторах

### Создание нового проекта.

Сначала нужно создать новый проект. Для его создания сделайте следующее:

1. Выберите в меню **File>New Project** (Файл>Новый проект).
2. Выберите в меню **File>Save Project As** (Файл>Сохранить проект как) в. Откроется диалоговое окно **Save As**.
3. Наберите имя проекта **At20** и нажмите **Сохранить**.

### Установка единиц измерения, используемых по умолчанию.

Установите единицы измерения, которые будут использоваться по умолчанию, как описано в примере 2.1, но для частоты установите **GHz**, установите флажок в поле **Metric units** и **mm** в **Length type**.

### Создание схемы.

1. Щёлкните по значку **New Schematic** на панели инструментов.
2. Наберите имя схемы **atr20** и нажмите **OK**.
3. Нажмите панель **Elements** в нижней части левого окна.
4. Щёлкните по значку + слева от группы **Microstrip** в окне просмотра элементов.
5. Щёлкните по подгруппе **Lines** в окне просмотра элементов.
6. Найдите модель **MLIN**, пользуясь полосой скроллинга, переместите её в окно схемы и зафиксируйте, щёлкнув левой кнопкой мышки.
7. Щёлкните по подгруппе **Components** (Компоненты) в окне просмотра элементов.
8. Найдите модель **TFR**, переместите её в окно схемы, отпустите кнопку мышки, подключите модель к правому выводу элемента **MLIN** и зафиксируйте, щёлкнув левой кнопкой мышки.
9. Нажмите клавишу **Shift** и, не отпуская её, щёлкните левой кнопкой мышки по элементам **MLIN** и **TFR**.
10. Щёлкните по значку **Copy** и затем по значку **Paste** на панели инструментов.
11. Переместите курсор в окно схемы, подключите скопированные элементы к правому выводу элемента **TFR** и щёлкните левой кнопкой мышки, чтобы зафиксировать их.
12. Щёлкните по значку **Paste** на панели инструментов.
13. Переместите курсор в окно схемы, подключите скопированные элементы к правому выводу элемента **TFR** и щёлкните левой кнопкой мышки, чтобы зафиксировать их.
14. Повторите п. 12 и 13, чтобы подключить ещё одну пару элементов.



- Щёлкните по подгруппе **Lines** в окне просмотра элементов.
- Найдите модель **MLIN**, переместите её в окно схемы и подключите её к правому выводу последнего элемента **TFR**.
- Щёлкните по значку **View All** на панели инструментов, чтобы видеть всю схему.

### Размещение портов.

- Щёлкните по значку **Port** на панели инструментов.
- Поместите порт на левом конце первого элемента **MLIN**.
- Снова щёлкните по значку **Port** на панели инструментов.
- Поместите порт на правом конце последнего элемента **MLIN**, предварительно развернув его на 180 градусов, щёлкая правой кнопкой мышки.

### Редактирование параметров элементов.

- Дважды щёлкните левой кнопкой мышки по первому проводнику **ID=TL1**. Откроется диалоговое окно **Element Options**.
- Введите **W=0.456 mm**, **L=5 mm** и нажмите **OK**.
- Аналогично такие же параметры введите для последнего проводника **ID=TL9**.
- Дважды щёлкните левой кнопкой мышки по второму проводнику **ID=TL3** и в открывшемся окне введите **W=1.009 mm**, **L=2.022 mm**, нажмите **OK**.
- Аналогично такие же параметры введите для предпоследнего проводника **ID=TL7**.
- Дважды щёлкните левой кнопкой мышки по среднему проводнику **ID=TL5** и в открывшемся окне введите **W=1.883 mm**, **L=1.953 mm**, нажмите **OK**.
- Дважды щёлкните левой кнопкой мышки по первому резистору **ID=TL2** и в открывшемся окне введите **W=0.4 mm**, **L=0.545 mm**, **RS=50**, нажмите **OK**.
- Аналогично такие же параметры введите для последнего резистора **ID=TL8**.
- Аналогично для двух средних резисторов **ID=TL4** и **ID=TL6** введите параметры **W=0.4**, **L=0.215**, **PS=50**.

### Определение параметров подложки.

- Щёлкните по группе **Substrates** (Подложки) в окне просмотра элементов.
- Перетащите элемент **MSUB** в окно схемы, поместите его на свободном месте, например, ниже схемы.
- Дважды щёлкните по элементу **MSUB** в окне схемы. Откроется окно редактирования. Введите:
  - Er=10.55 – относительная диэлектрическая проницаемость;
  - H=0.5 – толщина подложки;
  - T=0.005 – толщина проводника;
  - Rho=1 – удельное сопротивление металла проводника, нормированное к золоту;
  - Tang=0,0001 – тангенс угла потерь;
  - ErNom=10.55 – номинальная диэлектрическая проницаемость;
  - Name=SUB1 – имя подложки.

Полученная схема показана на рис. 2.39.

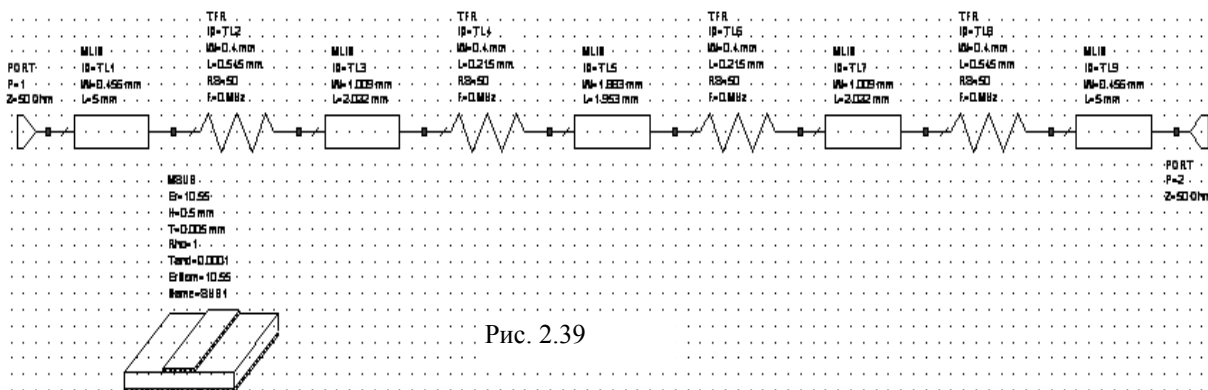


Рис. 2.39

### Задание частот для моделирования.

- Нажмите панель **Project** в нижней части левого окна, чтобы открыть окно просмотра проекта.
- Дважды щёлкните по группе **Project Options** (Опции проекта). Откроется диалоговое окно **Project Options**.
- Нажмите **Frequencies** (Частоты).
- Наберите **4** в поле **Start** (Начальная частота), **18** в поле **Stop** (Конечная частота) и **1** поле **Step** (Шаг), отметьте **Replace** (Заменять), отметьте **Linear** (Линейная). Нажмите **Apply**

(Применить). В окне **Current Range** (Текущий диапазон) отображается частотный диапазон и шаг по частоте. Нажмите **OK**.

### Создание графика, добавление измеряемых величин и анализ схемы.

1. Щёлкните по значку **New Graph** на панели инструментов.
2. Введите имя графика, например, **Graph 1** в поле **Graph name** (Имя графика), выберите **Rectangular** (Прямоугольный) в области **Graph Type** (Тип графика) и нажмите **OK**.
3. Нажмите панель **Project** в нижней части левого окна.

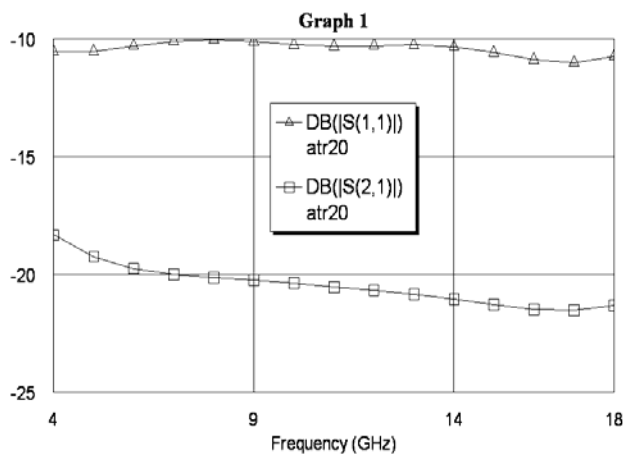


Рис. 2.40


4. Щёлкните правой кнопкой мышки по подгруппе **Graph 1** в окне просмотра проекта и выберите **Add Measurement**.

5. Выберите **Port Parameter** в списке **Meas. Type, S** в списке **Measurement**, **atr20** в поле **Data Source Name**, **1** в полях **To Port Index** (Индекс входного порта), и **From Port Index** (Индекс выходного порта), нажимая на стрелки, справа от этих полей, отметьте **dB** и **Mag** в области **Complex Modifier**, нажмите **Apply**.

6. Выберите **2** в поле **To Port Index** и нажмите **Apply**.

7. Нажмите **OK**.

8. Щёлкните левой кнопкой мыш-

ки по значку **Analyze**  на панели инструментов. Результаты анализа отображаются на графике рис. 2.40.

### Создание выходных параметров и уравнений.

Список выходных параметров по умолчанию, которые могут быть определены при анализе схемы, перечислены в области **Measurement** в окне **Add Measurement** (см. рис. 2.11). Для линейных схем обычно в качестве выходных параметров выбирают S-параметры схемы. Но часто бывает удобнее определить не элементы S-матрицы, а другие параметры, например, KstU и/или рабочее ослабление Ldb.

В Microwave Office имеется возможность добавить к имеющимся по умолчанию выходным параметрам другие параметры и уравнения для их определения. Делается это следующим образом.

Определяется какая-либо переменная и ставится в соответствие одному из выходных параметров схемы, определяемому в процессе анализа, например, какому-либо элементу S-матрицы. Это делается вводом выражения типа:

$$S11=atr20: |S[1,1]|, \text{ где } atr20 - \text{ имя схемы.}$$

Такая запись означает, что переменной S11 поставлен в соответствие модуль элемента S[1,1] матрицы, т.е. переменной S11 присваивается значение элемента S[1,1]. При этом может быть присвоено комплексное значение, или только его действительная часть, или только мнимая, или модуль. Определённую новую переменную S11 уже можно использовать в любом уравнении. Использовать непосредственно значение S[1,1] в уравнениях нельзя, т.к. это значение не связано ни с какой переменной. Например, чтобы определить и построить график KstU при работе схемы на несогласованную нагрузку, нужно определить следующие переменные:

$$\begin{aligned} S11 &= atr20:S[1,1] \\ S12 &= atr20:S[1,2] \\ S21 &= atr20:S[2,1] \\ S22 &= atr20:S[2,2] \end{aligned}$$

Заметим, что здесь все переменные являются комплексными числами. Затем необходимо определить коэффициент отражения от нагрузки, т.е. присвоить значение коэффициента отражения некоторой переменной, например

$$Gn=0.01+j*0.05$$

Затем записать уравнение для определения коэффициента отражения по входу схемы:

$$G=S11+S12*S21*Gn/(1-S22*Gn)$$

И, наконец, уравнение для определения KstU:

$$KstU=(1+abs(G))/(1-abs(G))$$

Переменную KstU можно использовать для построения графика, вывода в виде таблицы или в файл.

**Примечание.** Более подробно о переменных и уравнениях, а так же о синтаксисе уравнений, об операторах и функциях, которые можно использовать в уравнениях, см. Руководство пользователя Microwave Office 2007.

В этом примере мы рассмотрим определение KstU и Ldb для схемы аттенюатора atr20 при работе на согласованную нагрузку.

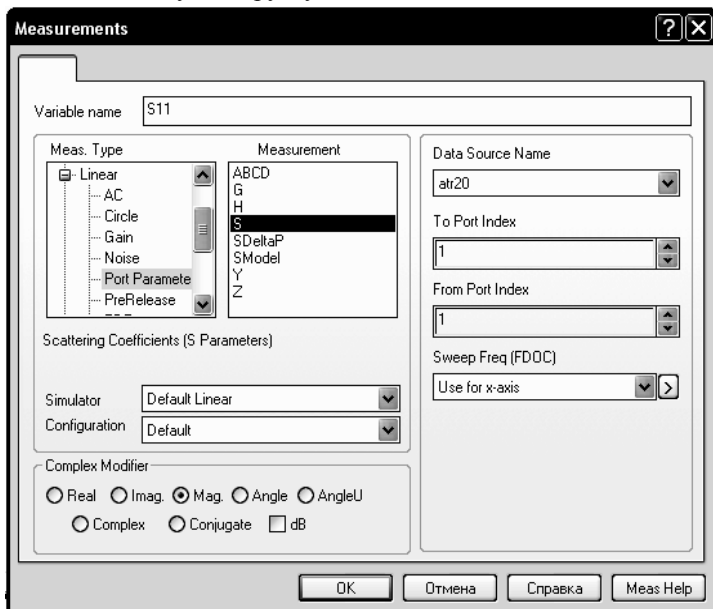


Рис. 2.41

1. Дважды щёлкните левой кнопкой мышки по группе **Output Equations** (Выходные уравнения) в окне просмотра проекта. На рабочем поле откроется окно уравнений **Output Equations**.
2. Выберите в меню **Draw>Add Output Equation**. Откроется диалоговое окно **Measurements**, показанное на рис. 2.41. В текстовом поле **Variable name** (Имя переменной) введите **S11**, в области **Meas. Type** отметьте **Port Parameters**, в области **Measurement** отметьте **S**, в поле **Data Source Name** введите **atr20**, щёлкая по

кнопке справа от этого поля, введите **1** в оба поля **To Port Index** и **From Port Index**, щёлкая по кнопкам справа от этих полей, установите “галочку” в **Mag** в области **Complex Modifier**, снимите “галочки” в **Complex** и **DB**, если они установлены, щёлкните **OK**. В окне уравнений появится поле ввода. Двигая мышку, установите это поле в верхней части окна уравнений и щёлкните левой кнопкой мышки. Появится выражение

$$S11=atr20:|S[1,1]|$$

Это означает, что переменной S11 поставлен в соответствие модуль элемента S-матрицы S[1,1]. Щёлкните левой кнопкой мышки в любом месте окна уравнений за пределами выражения для S11.

3. Снова выберите в меню **Draw>Add Output Equation**. В открывшемся окне в текстовом поле **Variable name** введите **S21**, в области **Meas. Type** отметьте **Port Parameters**, в области **Measurement** отметьте **S**, в поле **Data Source Name** введите **atr20**, щёлкая по кнопке справа от этого поля, введите **2** в поле **To Port Index** и **1** в поле **From Port Index**, щёлкая по кнопкам справа от этих полей, установите “галочку” в **Mag** в области **Complex Modifier**, снимите “галочки” в **Complex** и **DB**, если они установлены, щёлкните **OK**. В окне уравнений появится поле ввода. Двигая мышку, установите это поле ниже предыдущего уравнения и щёлкните левой кнопкой мышки. Появится выражение

$$S21=atr20: |S[2,1]|$$

Щёлкните левой кнопкой мышки в любом месте окна уравнений за пределами выражения для S21.

4. Выберите в меню **Draw>Add Equation** или щёлкните левой кнопкой мышки по значку **Equation** на панели инструментов.
5. Переместите курсор в окно уравнений. В этом окне появится поле ввода. Установите его, двигая мышкой, ниже предыдущего уравнения и щёлкните левой кнопкой мышки, чтобы зафиксировать.
6. Введите в поле ввода уравнение:

$$KstU=(1+S11)/(1-S11)$$

и щёлкните левой кнопкой мышки вне этого поля или нажмите клавишу **Enter**.

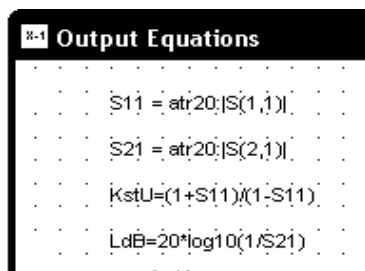


Рис. 2.42

7. Снова щёлкните левой кнопкой мышки по значку **Equation** на панели инструментов и поместите новое поле ниже предыдущих уравнений.
8. Введите в поле ввода уравнение:

$$Ldb=20*\log_{10}(1/S21)$$

и щёлкните левой кнопкой мышки вне этого поля или нажмите клавишу **Enter**.

Окончательный вид окна уравнений показан на рис. 2.42.

## Создание графика, добавление измеряемых величин и анализ.

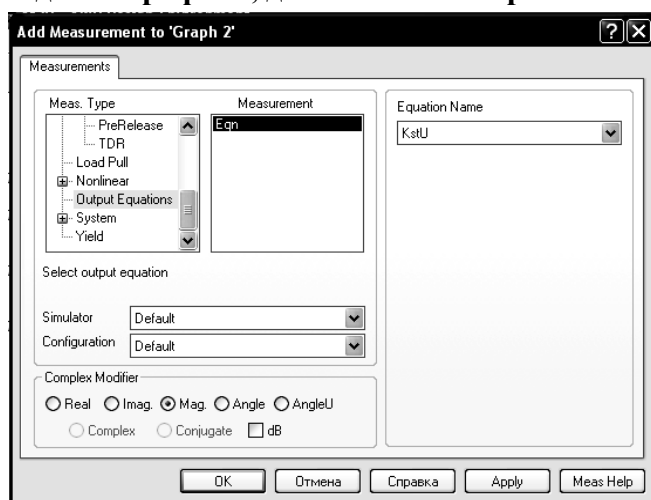


Рис. 2.43

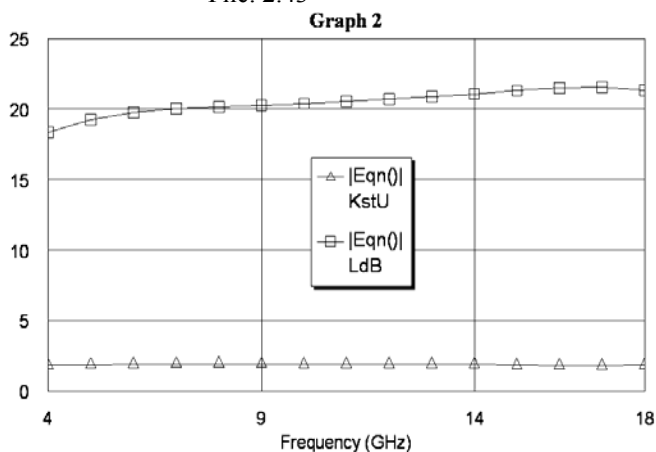


Рис. 2.44

1. Щёлкните по значку **New Graph** на панели инструментов.
2. Введите имя графика, например, **Graph 2** в поле **Graph name** (Имя графика), выберите **Rectangular** (Прямоугольный) в области **Graph Type** (Тип графика) и нажмите **OK**.
3. Щёлкните правой кнопкой мышки по подгруппе **Graph 2** в окне просмотра проекта и выберите **Add Measurement**.
4. В открывшемся окне (рис. 2.43) выберите **Output Equations** в области **Meas. Type**. В поле ввода **Equation Name** выберите **KstU**, щёлкнув по кнопке справа. Отметьте переключатель **Mag** в области **Complex Modifier**. Уберите “галочку” в **dB**, если она установлена. Нажмите **Apply**.
5. В поле ввода **Equation Name** выберите **Ldb** и нажмите **Apply**.
6. Нажмите **OK**.
7. Щёлкните левой кнопкой мышки по значку **Analyze** на панели инструментов. Результаты анализа отображаются на графике рис. 2.44.

## 2.4. Моделирование микрополоскового 2-х диодного аттенюатора

### Создание нового проекта.

1. Выберите в меню **File>New Project** (Файл>Новый проект).
2. Выберите в меню **File>Save Project As** (Файл>Сохранить проект как). Откроется диалоговое окно **Save As**.
3. Наберите имя проекта **Atr** и нажмите **Сохранить**.

### Установка единиц измерения, используемых по умолчанию.

Установите единицы измерения, которые будут использоваться по умолчанию, как описано в примере 2.1, но для частоты установите **GHz**, для ёмкости (**Capacitance**) установите **pF** и поставьте флажок в поле **Metric units**.

### Создание эквивалентной схемы диода.

1. Щёлкните по значку **New Schematic** на панели инструментов.
2. Наберите имя схемы **Diode** и нажмите **OK**.
3. Нажмите панель **Elements** в нижней части левого окна.
4. Разверните группу сосредоточенных элементов (**Lumped Element**), щёлкнув по значку + слева от этой группы.
5. Щёлкните по подгруппе Конденсаторы (**Capacitor**) в окне просмотра элементов. В нижней части окна появятся изображения доступных конденсаторов.
6. Нажмите на модель конденсатора **CAP** и, не отпуская кнопки мышки, перетащите её в окно схемы.
7. Щёлкните по подгруппе Резисторы (**Resistor**) в окне просмотра элементов. В нижней части окна появятся изображения доступных резисторов.
8. Нажмите на модель резистора **RES** и, не отпуская кнопки мышки, перетащите её в окно схемы, поместите резистор ниже конденсатора.
9. Поместите курсор возле левой клеммы конденсатора так, чтобы курсор отображался в виде соленоида. Щёлкните левой кнопкой мышки, чтобы зафиксировать начало провода, перетащите курсор к левой клемме резистора, и снова щёлкните левой кнопкой мышки.
10. Аналогично соедините проводом правые клеммы конденсатора и резистора. Щёлкните левой кнопкой мышки по значку **Port** на панели инструментов. Переместите курсор в окно схемы, поместите порт слева от схемы и щёлкните левой кнопкой мышки, чтобы зафиксировать его.
11. Снова щёлкните левой кнопкой мышки по значку **Port** на панели инструментов. Переместите курсор в окно схемы, два раза щёлкните правой кнопкой мышки, чтобы развернуть порт, поместите порт справа от схемы и щёлкните левой кнопкой мышки, чтобы зафиксировать его.
12. Поместите курсор возле первого порта **PORT P=1** так, чтобы курсор отображался в виде соленоида. Щёлкните левой кнопкой мышки, чтобы зафиксировать начало провода, перетащите курсор к проводу, соединяющему конденсатор и резистор, и щёлкните левой кнопкой мышки, чтобы зафиксировать его.
13. Аналогично подключите к схеме второй порт.

### Редактирование параметров элементов в эквивалентной схеме диода.

1. Дважды щёлкните левой кнопкой мышки по элементу **CAP** (конденсатор) в окне схемы. Откроется диалоговое окно **Element Options** (Опции элемента).
2. В текстовое поле **Value** значения ёмкости (**C**), введите **0.025 pF** и нажмите **OK**. Изменение будет отражено на схеме.

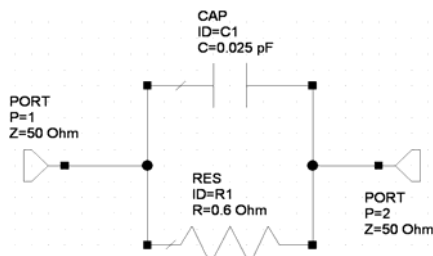


Рис. 2.45

3. Дважды щёлкните левой кнопкой мышки по элементу **RES** (резистор) в окне схемы. Откроется диалоговое окно **Element Options**.

4. В текстовое поле **Value** значения резистора (**R**), введите **0.6 Ohm** и нажмите **OK**.

Отредактированная эквивалентная схема диода показана на рис. 2.45.

**Примечание.** Параметры взяты для диода 2A553B-3.

### Создание схемы аттенюатора.

1. Щёлкните по значку **New Schematic** на панели инструментов.
2. Наберите имя схемы **At** и нажмите **OK**.
3. В окне просмотра элементов щёлкните по значку + слева от группы **Microstrip**
4. Щёлкните по подгруппе **Lines** в окне просмотра элементов.
5. Найдите модель **MLIN**, пользуясь полосой скроллинга, переместите её в окно схемы и зафиксируйте, щёлкнув левой кнопкой мышки.
6. Щёлкните по группе **Subcircuits** (Подсхемы) в окне просмотра элементов.
7. Переместите подсхему **Diode** в окно схемы и соедините её с правым узлом отрезка линии.
8. Щёлкните по элементу **MLIN**, затем нажмите клавишу **Shift** и щёлкните по элементу **SUBCKT** (т.е. по подсхеме), чтобы выделить оба этих элемента.
9. Щёлкните по значку **Copy** и затем по значку **Paste** на панели инструментов, чтобы скопировать и вставить оба выделенных элемента.
10. Переместите курсор в окно схемы и подсоедините скопированные элементы к правому узлу схемы.
11. Щёлкните по элементу **MLIN**, затем щёлкните по значку **Copy** и по значку **Paste** на панели инструментов, чтобы скопировать и вставить выделенный элемент.

12. Переместите курсор в окно схемы и подсоедините скопированный элемент к правому узлу схемы.
13. Щёлкните левой кнопкой мышки по значку **Port** на панели инструментов. Переместите курсор в окно схемы, поместите порт на левый узел схемы и щёлкните левой кнопкой мышки, чтобы зафиксировать его.
14. Снова щёлкните левой кнопкой мышки по значку **Port** на панели инструментов. Переместите курсор в окно схемы, два раза щёлкните правой кнопкой мышки, чтобы развернуть порт, поместите порт на правый узел схемы и щёлкните левой кнопкой мышки, чтобы зафиксировать его.
15. Щёлкните по группе **Substrates** (Подложки) в окне просмотра элементов.
16. Перетащите элемент **MSUB** в окно схемы, поместите его на свободном месте, например, ниже схемы. Полученная схема аттенюатора показана на рис. 2.46.

### Редактирование параметров элементов в схеме аттенюатора.

1. Дважды щёлкните левой кнопкой мышки по первому элементу **MLIN**. В открывшемся окне введите **W=0.46 mm** (т.е. введите **0.46** в поле **Value** параметра **W**), **L=3** и нажмите **OK**.
2. Аналогично отредактируйте параметры всех элементов **MLIN** и подложки **MSUB** так, чтобы значения их параметров соответствовали значениям, указанным на схеме рис. 2.46.

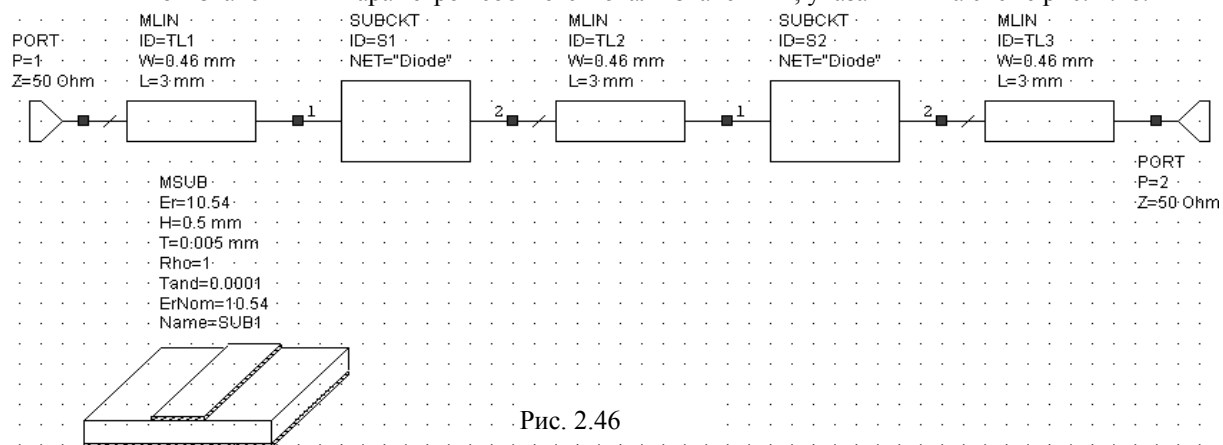


Рис. 2.46

### Задание частот для моделирования.

1. Щёлкните левой кнопкой мышки по панели **Project** в нижней части левого окна, чтобы открыть окно просмотра проекта.
2. Дважды щёлкните по группе **Project Options** (Опции проекта). Откроется диалоговое окно **Project Options**.
3. На вкладке **Frequencies** (Частоты). Введите **8** в поле **Start** (Начальная частота), **12** в поле **Stop** (Конечная частота) и **0.5** поле **Step** (Шаг), отметьте **Replace** (Заменять), отметьте **Linear** (Линейная). Нажмите **Apply** (Применить). В области **Current Range** (Текущий диапазон) отображается частотный диапазон и шаг по частоте. Нажмите **OK**.

### Создание выходных параметров и уравнений.

1. Дважды щёлкните левой кнопкой мышки по группе **Output Equations** (Выходные уравнения) в окне просмотра проекта. На рабочем поле откроется окно уравнений **Output Equations**.
2. Выберите в меню **Draw>Add Output Equation**. Откроется диалоговое окно **Measurements Equation**, показанное на рис. 2.42. В текстовом поле **Variable name** (Имя переменной) введите **S11**, в списке **Meas. Type** отметьте **Port Parameters**, в списке **Measurement** отметьте **S**, в поле **Data Source Name** введите **At**, щёлкая по кнопке справа от этого поля, введите **1** в оба поля **To Port Index** и **From Port Index**, щёлкая по кнопкам справа от этих полей, отметьте **Mag** в области **Complex Modifier**, снимите “галочки” в **Complex** и **dB**, если они установлены, нажмите **OK**. В окне уравнений появится поле ввода. Двигая мышку, установите это поле в верхней части окна уравнений и щёлкните левой кнопкой мышки. Появится выражение

$$S11=At: |S[1,1]|$$

Это означает, что переменной **S11** поставлен в соответствие модуль элемента **S**-матрицы **S[1,1]**. Щёлкните левой кнопкой мышки в любом месте окна уравнений за пределами выражения для **S11**.

3. Снова выберите в меню **Draw>Add Output Equation**. В открывшемся окне в текстовом поле **Variable name** введите **S21**, в списке **Meas. Type** отметьте **Port Parameters**, в списке **Measurement** отметьте **S**, в поле **Data Source Name** введите **At**, щёлкая по кнопке справа от

этого поля, введите **2** в поле **To Port Index** и **1** в поле **From Port Index**, щёлкая по кнопкам справа от этих полей, отметьте **Mag** в области **Complex Modifier**, снимите “галочки” в **Complex** и **dB**, если они установлены, щёлкните **OK**. В окне уравнений появится поле ввода. Двигая мышку, установите это поле ниже предыдущего уравнения и щёлкните левой кнопкой мышки. Появится выражение

$$S21=At: |S[2,1]|$$

Щёлкните левой кнопкой мышки в любом месте окна уравнений за пределами выражения для S21.

4. Выберите в меню **Draw>Add Equation** или щёлкните левой кнопкой мышки по значку **Equation** на панели инструментов.

5. Переместите курсор в окно уравнений. В этом окне появится поле ввода. Установите его, двигая мышкой, ниже предыдущего уравнения и щёлкните левой кнопкой мышки, чтобы зафиксировать.

6. Введите в поле ввода уравнение:

$$S11 = At: |S(1,1)| \quad Ldb=20*\log10(1/S21)$$

$S21 = At: |S(2,1)|$  и щёлкните левой кнопкой мышки вне этого поля или нажмите клавишу **Enter**.

$$LdB=20*\log10(1/S21)$$

7. Снова щёлкните левой кнопкой мышки по значку **Equation** на панели инструментов и поместите новое поле ниже предыдущих уравнений.

$$KstU=(1+S11)/(1-S11)$$

8. Введите в поле ввода уравнение:

$$KstU=(1+S11)/(1-S11)$$

Рис. 2.47

и щёлкните левой кнопкой мышки вне этого поля или нажмите клавишу **Enter**.

Окончательный вид окна уравнений показан на рис. 2.47.

### Создание графика вносимого ослабления и KstU, добавление измеряемых величин и выполнение анализа.

1. Щёлкните по значку **New Graph** на панели инструментов.

2. Введите имя графика **Loss** в поле **Graph name** (Имя графика), выберите **Rectangular** (Прямоугольный) в области **Graph Type** (Тип графика) и нажмите **OK**.

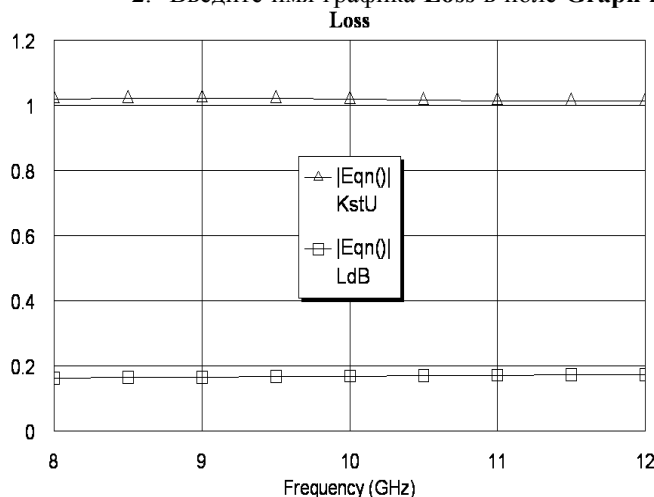


Рис. 2.48


берите **Ldb** и нажмите **Apply**.

6. Нажмите **OK**.

7. Щёлкните левой кнопкой мышки по значку **Analyze** на панели инструментов. Результаты анализа отображаются на графике рис. 2. 48.

### Настройка аттенюатора.

1. Щёлкните левой кнопкой мышки по окну эквивалентной схемы диода или дважды щёлкните по имени этой схемы в окне просмотра проекта, чтобы сделать активным окно схемы диода.

- Щёлкните по значку **Tune Tool**  (Инструмент настройки) на панели инструментов.
- Поместите курсор на параметр **R** резистора. Курсор должен отображаться в виде белого перекрестия в чёрном кружке.
- Щёлкните левой кнопкой мышки, чтобы активизировать параметр **R** для настройки. Этот параметр будет отображаться синим цветом.
- Щёлкните по окну схемы аттенюатора, чтобы сделать его активным.
- Щёлкните по значку **Tune Tool** на панели инструментов.
- Поместите курсор на параметр **L** (длина отрезка) среднего отрезка линии **MLIN ID=TL2** и щёлкните левой кнопкой мышки. Выделенные для настройки параметры должны отображаться синим цветом.

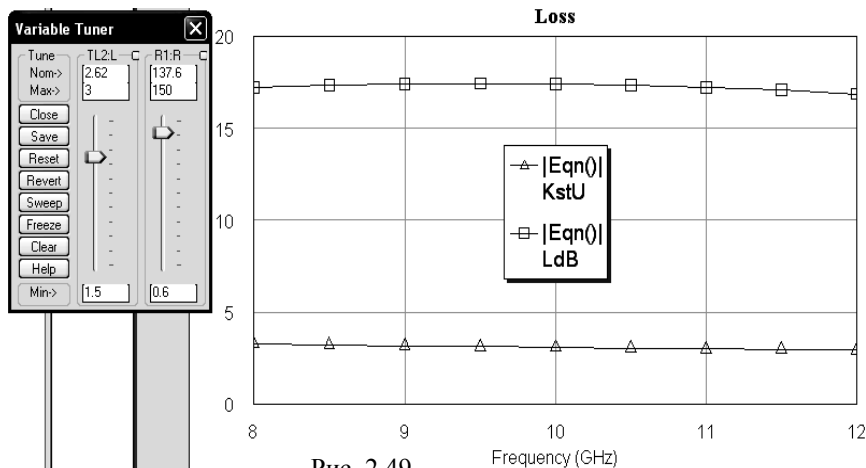


Рис. 2.49

менных), показанный на рис. 2.49. В полях ввода **Max** и **Min** введите допустимые пределы регулировки показаний резистора и длины отрезка, как показано на рис. 2.49.

- Нажмите левой кнопкой мышки на бегунок настройки и, не отпуская кнопки, двигайте его вверх и вниз. Результаты настройки переменных наблюдайте на графике. Одновременно все изменения отображаются на обеих схемах.

**Примечание.** Если при регулировке кривые на графике выходят за пределы графика, щёлкните левой кнопкой мышки по значку **Analyze** на панели инструментов, чтобы повторить анализ.

## Черчение элемента топологии.

Чтобы получить топологию аттенюатора, необходимо элементу эквивалентной схемы диода присвоить элемент топологии, представляющий собой зазор для пайки диода. Такого топологического элемента в Microwave Office нет. Поэтому его необходимо начертить и присвоить элементу схемы **SUBCKT**. Microwave Office поддерживает формат черчения GDSII и DXF. Начерченные элементы топологии хранятся соответственно в библиотеках ячеек (Cell Libraries) GDSII или DXF. Библиотеки GDSII сохраняются в файлах с расширением gds, а библиотеки DXF сохраняются в файлах с расширением dxf. Причём в библиотеке GDSII может храниться несколько разных ячеек, а в библиотеке DXF только одна. Чтобы создать (начертить) новую ячейку топологии, можно воспользоваться имеющейся библиотекой

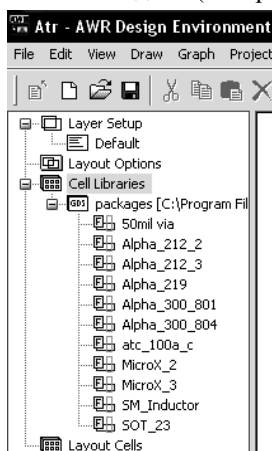


Рис. 2.50

или создать новую. В Microwave Office имеется библиотека packages (пакет) в формате GDSII, которая находится по адресу AWR\AWR2007\Examples\Microwave Office\Getting Started\Layout\ packages.gds. Чтобы импортировать эту библиотеку в проект, сделайте следующее:

- Сделайте активным окно схемы и нажмите левой кнопкой мышки на панель **Layout** в нижней части левого окна, чтобы открыть окно менеджера топологии.
- Правой кнопкой мышки щёлкните по **Cell Libraries** (Библиотеки элементов) в менеджере топологии и выберите **Import GDSII Library** (Импортировать библиотеку GDSII) во всплывающем меню.
- В открывшемся окне найдите файл packages.gds по указанному выше адресу и дважды щёлкните по нему левой кнопкой мышки. Откроется окно **Warning: Different Database Unit** (Предупреждение: Различная база данных единиц измерения). В этом окне сообщается, что эта библиотека использует базу данных единиц измерения, отличную от текущего проекта. Нажмите **OK**.

Импортированная библиотека будет отображена в окне менеджера топологии как подгруппа в группе **Cell Libraries**, как показано на рис. 2.50.

Теперь, чтобы создать новый элемент топологии, нужно щёлкнуть по имени импортированной библиотеки правой кнопкой мышки и выбрать **New Layout Cell** (Новая ячейка топологии).



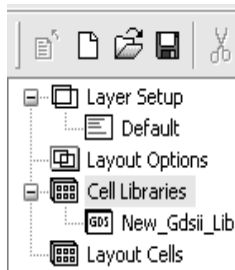


Рис. 2.51

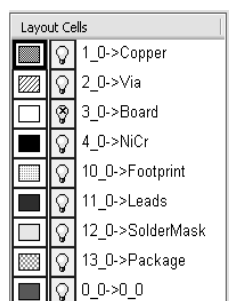


Рис. 2.52

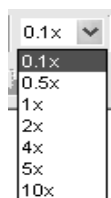



Рис. 2.53

Если вместо импортирования библиотеки хотите создать свою, щёлкните правой кнопкой мышки по **Cell Libraries** и выберите **New GDSII Library** или **New DXF Library**. Откроется окно, в котором нужно ввести имя создаваемой библиотеки и нажать **OK**. Имя вновь создаваемой библиотеки появится в окне менеджера топологии (рис. 2.51). В нижней части окна менеджера топологии появится список слоёв, в которых можно чертить элемент топологии (рис. 2.52).

Чтобы начертить элемент топологии:

- Щёлкните правой кнопкой мышки по подгруппе библиотеки ячеек (импортированной или вновь создаваемой) в группе **Cell Libraries** и выберите **New Layout Cell** (Новая ячейка топологии) во всплывающем меню. Откроется диалоговое окно **Create New Layout Cell** (Создание нового элемента топологии).
- Наберите **D553** (диод 553) в поле **Enter the name of the cell** (Ввод имени элемента) и нажмите **OK**. На рабочем поле откроется окно для рисования.
- Щёлкните левой кнопкой мышки по квадрату **1\_0->Copper** (Медь) в нижней части окна менеджера, чтобы назначить медь для активного слоя, как показано на рис. 2.52 (не щёлкайте по лампочке, т.к. такой щелчок определяет слой для показа или скрытия).
- Щёлкните левой кнопкой мышки по окну рисования на рабочем поле, чтобы сделать его активным.
- По умолчанию размер сетки для черчения равен 0.1 мм. Щёлкните левой кнопкой мышки по кнопке справа от значка **Grid Spacing** (Интервал сетки) на панели инструментов и в выпавшем списке выберите множитель **0.1x** (рис. 2.53), чтобы сделать размер сетки 0.01 мм.
- Щёлкните левой кнопкой мышки по значку **View Area** и в окне топологии выделите участок окна так, чтобы была видна сетка. Возможно это придётся сделать несколько раз.
- Щёлкните левой кнопкой мышки по значку **Polygon**  на панели инструментов.
- Переместите курсор в окно рисования и щёлкните левой кнопкой мышки, чтобы зафиксировать начало топологии.
- Переместите курсор вправо, пока будет отображено **dx:0.16** и щёлкните левой кнопкой мышки. Переместите курсор вниз, пока будет отображено **dy:-0.1** и щёлкните левой кнопкой мышки. Переместите курсор влево, пока будет отображено **dx:-0.15** и щёлкните левой кнопкой мышки.

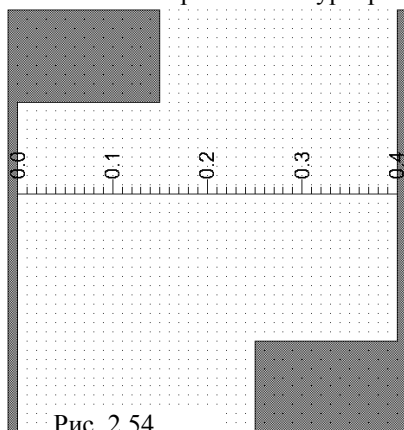




Рис. 2.54

Переместите курсор вниз, пока будет отображено **dy:0.36** и щёлкните левой кнопкой мышки. Переместите курсор влево, пока будет отображено **dx:-0.01** и щёлкните два раза левой кнопкой мышки, чтобы завершить черчение.


- Щёлкните левой кнопкой мышки по значку **Copy**, и затем по значку **Paste**, чтобы скопировать и вставить элемент. Переместите курсор в окно топологии и два раза щёлкните правой кнопкой мышки, чтобы развернуть скопированный элемент. Поместите скопированный элемент напротив 1-го так, чтобы величина зазора была равна 0.4. Величину этого зазора можно измерить, щёлкнув левой кнопкой мышки по

значку **Measure**  (Измерение величины) на панели инструментов. Полученный элемент топологии зазора показан на рис.2.54. Величину зазора можно также

измерить, щёлкнув мышкой по значку **Ruler**  на панели инструментов. В этом случае линейка будет отображаться на топологии, как показано на рис. 2.54. Однако в этом случае предварительно нужно выбрать в меню **Options>Layout Options** и на вкладке **Ruler** открывшегося окна в поле **Ruler spacing** ввести расстояния между делениями линейки **0.1 mm**. Чтобы удалить линейку из топологии, нужно щёлкнуть по ней левой кнопкой мышки, чтобы выделить линейку, и затем нажать клавишу **Delete**.

### Добавление портов к начерченному элементу.

К начерченному элементу топологии необходимо добавить входной и выходной порты. Чтобы сделать это:

- Выберите в меню **Draw>Cell Port** (Чертить>Порт элемента) или щёлкните мышкой по значку **Cell Port**  на панели инструментов.

2. Переместите курсор в окно черчения. Нажав и удерживая клавишу **Ctrl**, поместите курсор на нижний левый угол левого проводника так, чтобы небольшой квадратик появился на этом углу.

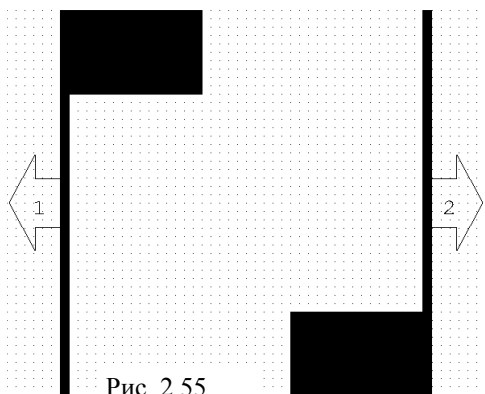


Рис. 2.55

3. Не отпуская клавишу **Ctrl**, нажмите левую кнопку мышки и, не отпуская её, двигайте курсор к верхнему левому углу проводника, пока другой квадратик появится на этом углу. Отпустите кнопку мышки и клавишу **Ctrl**.

4. Повторите шаги с 1-го по 3-ий, чтобы поместить порт на противоположной стороне рисунка, но начните с верхнего правого угла и двигайте курсор к правому нижнему углу.

5. Закройте окно черчения. Будет выведен запрос, хотите ли вы сохранить нарисованный элемент. Нажмите **Yes**, чтобы сохранить. Полученная топология показана на рис. 2.55.

**Примечание.** Созданная библиотека по умолчанию не сохраняется, она действует только в том проекте, в котором создана. Но при желании библиотеку с созданным элементом топологии можно сохранить, чтобы его использовать в других проектах. Для этого щёлкните правой кнопкой мышки по имени библиотеки в левом окне просмотра топологии и выберите **Export Cell Library** (Экспортировать библиотеку элементов). Аналогично можно сохранить не всю библиотеку, а только созданный элемент топологии.

## Редактирование схемы и назначение элемента топологии D553 элементам схемы SUBCKT (т.е. диодам).

Чтобы отредактировать схему и ввести элемент топологии **D553**:

1. Щёлкните левой кнопкой мышки по окну схемы аттенюатора, чтобы сделать его активным.

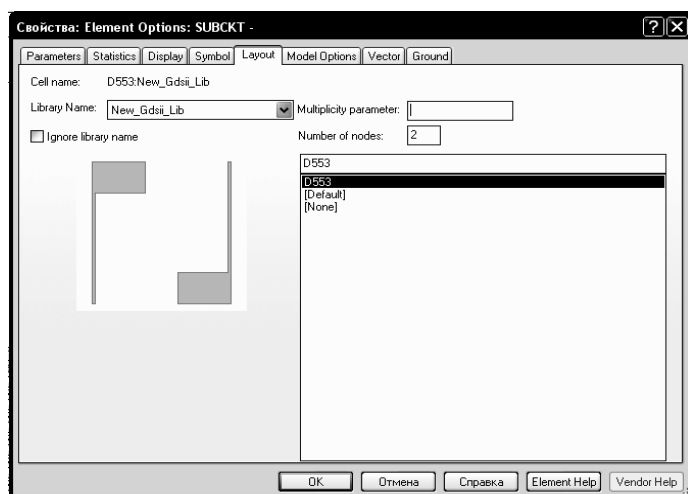


Рис. 2.56

2. Дважды щёлкните левой кнопкой мышки по первому элементу схемы **SUBCKT** в окне схемы. Откроется окно **Element Options** (Опции элемента).

3. Нажмите на панель **Layout** в верхней части этого окна (рис. 2.56).

4. В поле ввода **Library Name** введите имя вашей библиотеки, щёлкнув по кнопке в правом конце этого поля. Выберите имя созданного элемента топологии **D553** в правой области окна и нажмите **OK** (рис. 2.56).

5. Аналогично назначьте элемент топологии второму элементу схемы **SUBCKT**.

## Создание топологии схемы и экспортирование топологии.

1. Выберите в меню **View>New Layout View** (Показать>Показать новую топологию) или щёлкните левой кнопкой мышки по значку **New Schematic Layout View**

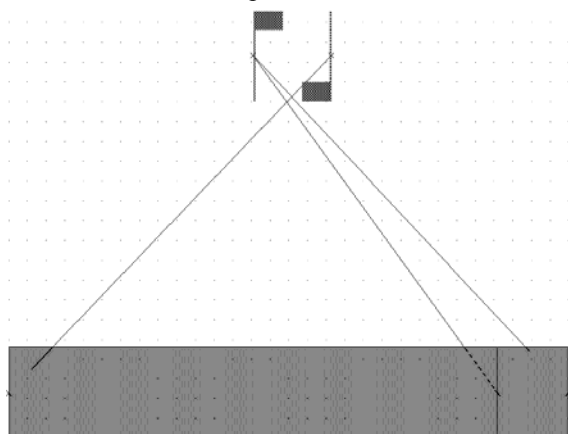


Рис. 2.57

на панели инструментов. Топология схемы будет отображена на рабочем поле, но расположение элементов топологии может быть беспорядочным (рис. 2.57). Правильное соединение элементов топологии на этом отображении указывается красными линиями.

2. Чтобы упорядочить полученную топологию, выделите всю топологию. Для этого поместите курсор мышки левее и выше топологии, нажмите левую кнопку мышки и переместите курсор правее и ниже топологии так, чтобы вся топология попала в образовавшийся прямоугольник. Или выберите в меню **Edit>Select**

All (Редактировать>Выделить всё). Затем выберите в меню **Edit>Snap Together** (Редактировать>Привязать вместе) или щёлкните по значку **Snap Together** на панели инструментов. Полученная топология показана на рис. 2.58.

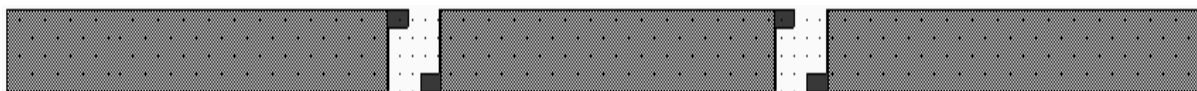


Рис. 2.58

2. Выберите в меню **Options>Layout Options**. На вкладке **Export/LPF** открывшегося окна отметьте **Union layout shapes** (Объединить формы топологии) и нажмите **OK**.
3. Сделайте активным окно топологии схемы и выберите в меню **Layout>Export**. Выберите тип файла **DXF(DXF Flat, \*.dxf)** и нажмите **Сохранить**. В AutoCAD сохранённая топология будет иметь вид, показанный на рис. 2.59.



Рис. 2.59

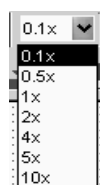


Рис. 2.60

Здесь создана и экспортирована топология только проводников аттенуатора. При необходимости вы можете создать топологию всей платы.

1. В поле ввода на панели инструментов **Grid Spacing** (Интервал сетки) введите множитель **0.1x**, чтобы сделать интервал сетки 0.01 мм (рис. 2.60).
2. Щёлкните левой кнопкой мышки по значку **Measure** (Измерение), установите курсор на левый верхний угол первого проводника топологии, нажмите левую кнопку мышки и, не отпуская кнопки, переместите курсор на верхний правый угол



Рис. 2.61



Рис. 2.62

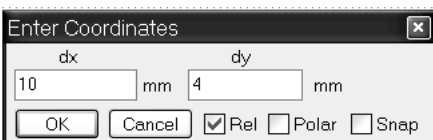


Рис. 2.63

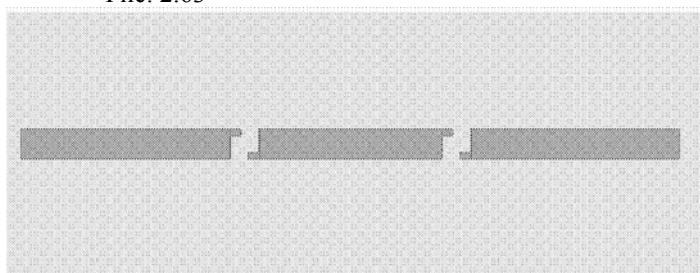


Рис. 2.64

последнего проводника топологии. Измеренная длина топологии получилась 9.46 мм. Исходя из полученной длины топологии, выберем размер платы 10x4 мм.

3. По умолчанию топология схемы создаётся так, что координаты её левого нижнего угла равны (0,0). Это можно проверить, установив курсор на левый нижний угол платы. В нижней части окна проекта отображаются координаты этого угла (рис. 2.61). Исходя из этого, можно определить требуемые координаты платы так, чтобы топология располагалась по центру платы.

4. Щёлкните по значку **Rectangle** на панели управления, поместите курсор в окно топологии и нажмите клавишу **Tab**. В открывшемся окне **Enter Coordinates** (Ввод координат) введите **-0.2** в поле **x** и **-1.77** в поле **y** (рис. 2.62). Нажмите **OK** и затем клавишу **Tab**. Во вновь открывшемся окне введите **10** в поле **dx** и **4** в поле **dy** (рис.2.63). Нажмите **OK**. На поле схемы появится прямоугольник платы, который будет выделен (рис. 2.64).

5. Щёлкните по выделенному прямоугольнику правой кнопкой мышки и выберите **Shape Properties**. В открывшемся окне свойств в поле **Draw Layers** введите **Board** (Плата), щёлкнув мышкой по кнопке в правом конце этого поля (рис. 2.65.) Нажмите **OK**.

6. На созданной плате вы можете теперь создать дополнительные топологические объекты, не связанные с электрической схемой, например реперные знаки и надписи. Щёлкните левой кнопкой мышки по значку **Polygon** на панели инструментов, поместите курсор на левый верхний угол платы и щёлкните левой кнопкой мышки. Затем перемещайте курсор, щёлкая мышкой после каждого перемещения: на **0.5** вправо, на **0.2** вниз,

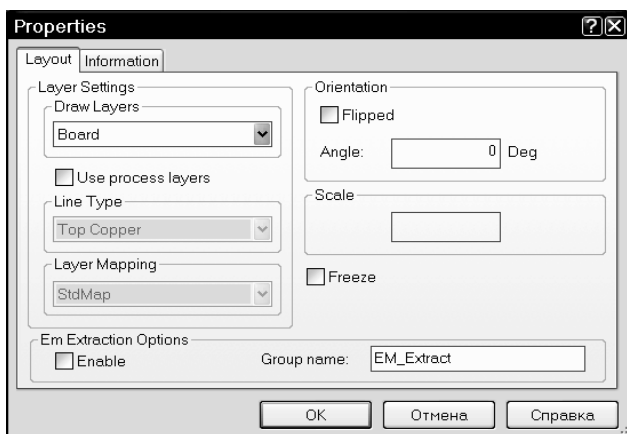


Рис. 2.65

на **0.3** влево, на **0.3** вниз, на **0.2** влево и здесь дважды щёлкните левой кнопкой мышки, чтобы замкнуть многоугольник. Щёлкните по многоугольнику правой кнопкой (многоугольник должен быть выделен) и выберите **Shape properties**. В открывшемся окне свойств в поле **Draw Layers** введите **Copper** (Медь), щёлкнув мышкой по кнопке в правом конце этого поля. Нажмите **OK**.

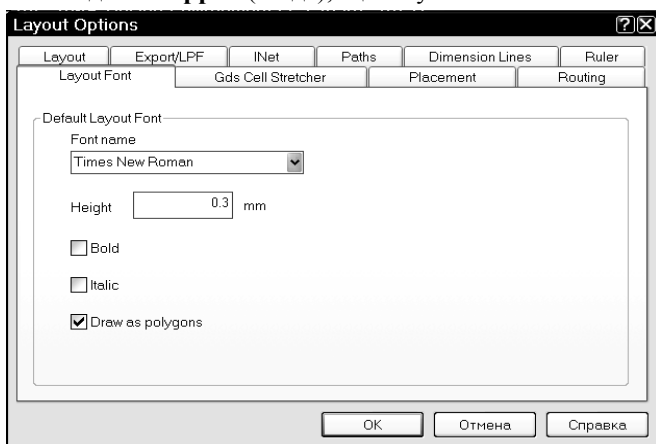


Рис. 2.66

образовавшемся поле ввода наберите **Аттенюатор** и щёлкните мышкой вне этого поля. Установив курсор на надпись и нажав левую кнопку мышки, можно переместить надпись в любое свободное место на плате. Отредактированная плата показана на рис. 2.67. Заметим, что по умолчанию топологические элементы чертятся на слое **Error**. Поскольку в DXF файл не записывается никаких свойств слоя, кроме его координат, то этот слой можно и оставить. Этот же слой можно оставить и для реперных знаков и других вспомогательных элементов топологии при условии, что они малы и расположены достаточно далеко от проводников, чтобы не влиять на характеристики.

- Щёлкните по значку **New Schematic 3D View** на панели инструментов, чтобы просмотреть 3-х мерное изображение платы (рис. 2.68).

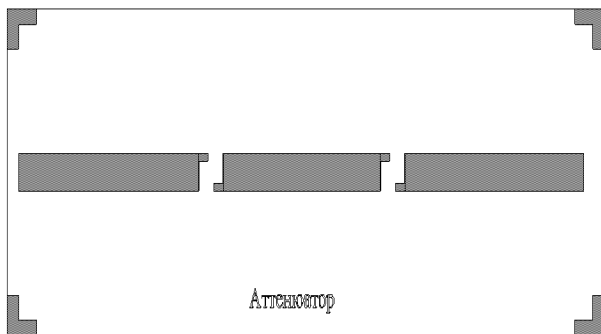


Рис. 2.67

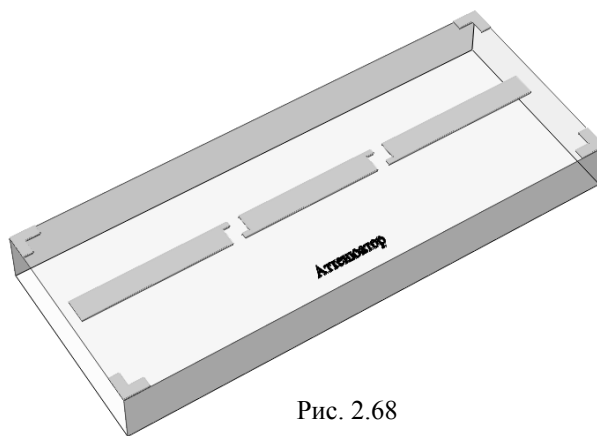


Рис. 2.68

- Сделайте активным окно топологии схемы и выберите в меню **Layout>Export**. Выберите тип файла **DXF(DXF Flat, \*.dxf)** и нажмите **Сохранить**. Топология в AutoCAD будет выглядеть, как показано на рис. 2.69.

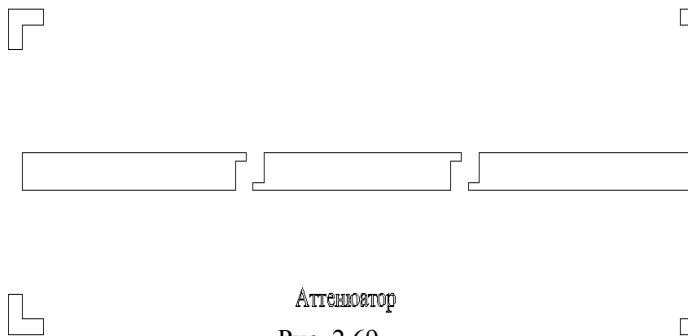


Рис. 2.69

В сохранённом dxf файле записались только элементы топологии, размещённые на плате. Это объясняется тем, что в таблице соответствия слоёв черчения и слоёв, записываемых в DXF файл, слой топологии **Board** по умолчанию не установлен для записи в файл. Если вы хотите записать в файл и контур платы, сделайте следующее:

- Выберите в меню **Options>Drawing Layers**.

В левой части открывшегося окна (рис. 2.70) щёлкните мышкой по **File Export Mappings** и затем по **DXF(DXF)**. В правой части окна отметьте столбец **Write Layer** (Записать слой) для слоя **Board**. Нажмите **OK**.

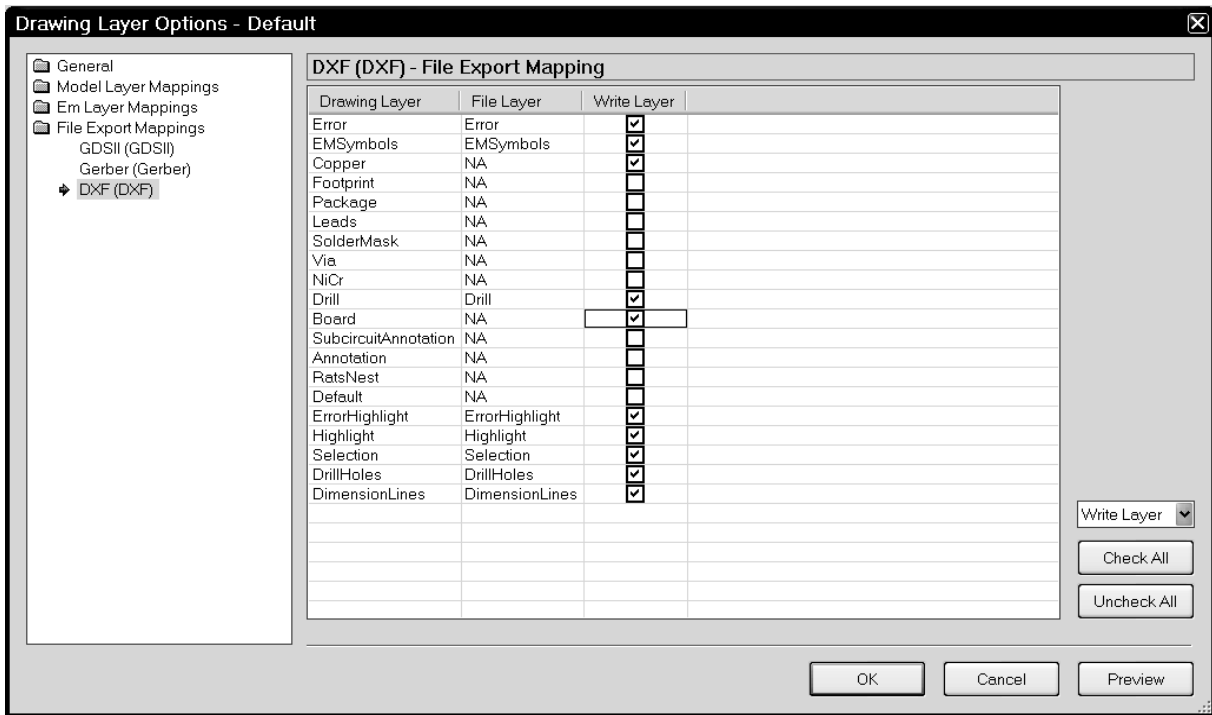


Рис. 2.70

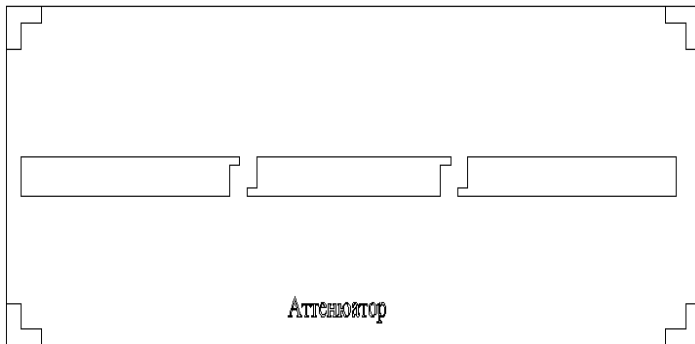


Рис. 2.71

2. Выберите в меню **Layout>Export**. В открывшемся окне выберите тип файла **DXF(DXF Flat, \*.dxf)** и нажмите **Сохранить**. В AutoCAD топология будет выглядеть, как показано на рис. 2.71.

### 3. Нелинейное моделирование

В нелинейном моделировании используется гармонический баланс или ряды Вольтера, как источник для возбуждения электрической схемы. Анализ с использованием гармонического баланса и рядов Вольтера – не взаимозаменяемые решения нелинейного устройства. Гармонический баланс лучше использовать для нелинейных устройств типа усилителей мощности, смесителей и умножителей. Анализ с помощью рядов Вольтера, который является линейным возмущающим методом, лучше использовать для устройств со слабо выраженной нелинейностью, подобных усилителям, на 1 дБ ниже точки компрессии.

В Microwave Office моделирование с помощью гармонического баланса проводится просто. Ввод схемы, измеряемые величины и анализ выполняются аналогично линейному моделированию. Основное отличие в возбуждении портов. Здесь требуется добавлять порты, для которых необходимо определять мощность и частоту, а также опцию для изменения любого одного из этих параметров или обоих вместе. Имитатор гармонического баланса позволяет определять одночастотное и многочастотное возбуждение портов, чтобы выполнить одно- и многосигнальный анализ. Всякий раз, когда источник гармонического баланса определён в схеме, имитатор гармонического баланса вызывается автоматически при моделировании.

Одночастотный анализ с использованием гармонического баланса включает в себя моделирование на одной основной частоте из множества частот и с постоянной составляющей тока. Этот анализ требует, чтобы вы определили основную частоту и общее количество гармоник.

Двух- и трёхчастотный анализ с помощью гармонического баланса используется, чтобы определить реакцию на выходе схемы при возбуждении её портов разными частотами. Двухчастотный анализ используется для схем типа смесителей, на которые подаётся частота гетеродина и частота радиосигнала. Трёхчастотный анализ используется, чтобы определить искажения взаимной модуляции в смесителе при подаче сигнала гетеродина и двух частот радиосигналов.

Microwave Office позволяет создавать нелинейные измеряемые величины и во временной области, и по частоте. Здесь предлагается полная система нелинейных измеряемых величин, которая включает в себя S-параметры при большом сигнале, мощность, напряжение и ток. Поскольку анализ с помощью гармонического баланса даёт решение для мощности и частоты в каждой гармонике, используются индексы, чтобы отличать различные параметры.

Следующие примеры иллюстрируют некоторые из основных особенностей нелинейного моделирования в Microwave Office.

#### 3.1. Моделирование усилителя мощности.

Этот пример показывает, как использовать Microwave Office, чтобы моделировать схему усилителя мощности, используя нелинейный гармонический баланс. Для этого необходимы следующие шаги:

- o Использование нелинейных моделей из библиотеки элементов;
- o Создание измеряемых величин вольтамперной характеристики;
- o Создание цепи смещения транзистора и измеряемых величин напряжения и тока;
- o Добавление к схеме портов гармонического баланса;
- o Создание схемы с иерархической структурой, содержащей подсхемы;
- o Создание измеряемых величин выходной мощности;
- o Создание измеряемых величин характеристики динамической нагрузки;
- o Добавление двухчастотного порта гармонического баланса.

#### Создание нового проекта.

Чтобы создать новый проект:

1. Выберите в меню **File>New Project** (Файл>Новый проект).
2. Выберите в меню **File>Save Project As** (Файл>Сохранить проект как). Откроется диалоговое окно **Save As**.
3. Наберите имя проекта (например, **Amplifier**) и нажмите **Сохранить**.

#### Установка единиц измерения, используемых по умолчанию.

Чтобы установить единицы измерения, которые будут использоваться в проекте по умолчанию:

1. Выберите **Options>Project Options** (Опции>Опции проекта) в выпадающем меню. Откроется диалоговое окно **Project Options** (рис. 3.1).
2. Нажмите панель **Global Options** (Глобальные опции) в верхней части диалогового окна.

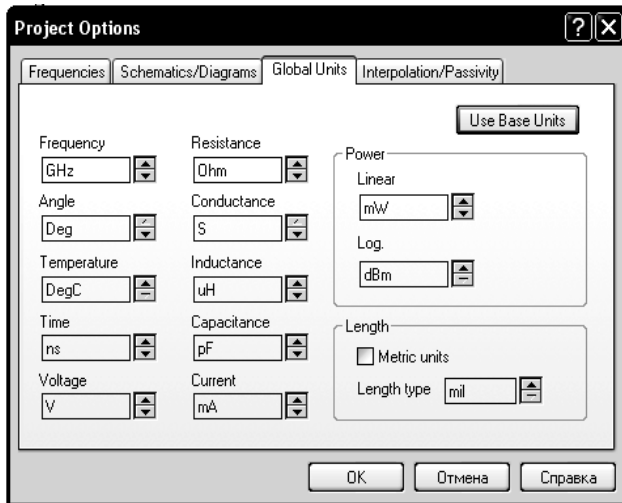


Рис. 3.1

2. Наберите имя схемы **IV Curve** (Вольтамперная характеристика) и нажмите **OK**. Откроется окно схемы на рабочем поле и имя схемы появится, как подгруппа в группе **Circuit Schematics** (Схемы цепи) в окне просмотра проекта.

### Размещение нелинейной модели из библиотеки.

Чтобы поместить нелинейную модель:

1. Нажмите панель **Elements** (Элементы) в нижней части левого окна, чтобы открыть окно просмотра элементов.
2. В окне просмотра элементов найдите группу **Nonlinear** (Нелинейные) и дважды щёлкните по ней левой кнопкой мышки, чтобы развернуть эту группу.
3. Щёлкните левой кнопкой мышки по подгруппе **BJT** (Биполярный плоскостной транзистор).
4. Здесь можно выбрать модель **GBJT** и перетащить её в окно схемы (рис. 3.2). Дважды щёлкнув левой кнопкой по модели **GBJT** можно редактировать её параметры в открывшемся окне

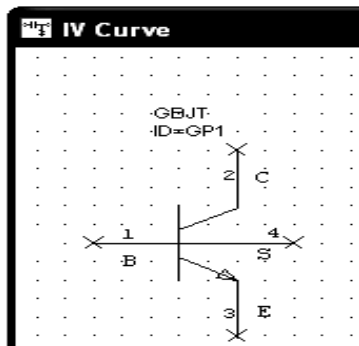


Рис. 3.2

5. В этом примере мы будем использовать модель из примера **Microwave Office**, в которой параметры уже отредактированы.
6. Сохраните проект, щёлкнув по значку **Save Project** на панели инструментов. Затем выберите в меню **File>Open Example**. Загрузите файл **Microwave Office\Getting\_Started\Nonlinear\nonlinear\_example.emp**.
7. В открывшемся проекте сделайте активным окно схемы **IV Curve**. Щёлкните левой кнопкой по элементу **GBJT** и затем щёлкните левой кнопкой мышки по значку **Copy** на панели инструментов.
8. Выберите в меню **File** и загрузите свой сохранённый проект **Amplifier**, выбрав его имя в списке загружаемых проектов в нижней части открывшегося окна подменю.
9. Сделайте активным окно созданной схемы **IV Curve**, если оно не активно. Щёлкните по значку **Paste** на панели инструментов и поместите скопированную модель транзистора в окно схемы, как показано на рис. 3.2.

### Размещение измерителя вольтамперной характеристики в нелинейном элементе.

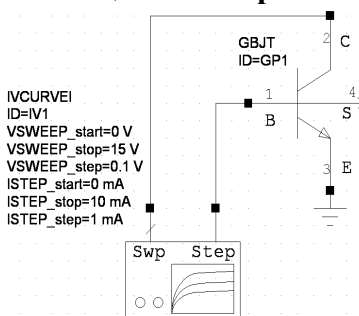


Рис. 3.3

Чтобы поместить измеритель вольтамперной характеристики в нелинейном элементе:

1. Найдите в окне просмотра элементов группу **Meas Devices** (Средства измерения) и дважды щёлкните по ней левой кнопкой мышки, чтобы развернуть группу. Щёлкните левой кнопкой мышки по подгруппе **IV**. Модели измерителей отображаются в нижней части левого окна.
2. Нажмите левой кнопкой мышки на модель **IVCURVE1** и, не отпуская кнопки мышки, перетащите её в окно схемы, отпустите кнопку мышки, позиционируйте элемент как показано на рис. 3.3 и щёлкните левой кнопкой мышки, чтобы зафиксировать его.

3. Установите нужные единицы измерения, щёлкая по стрелкам, справа от поля ввода соответствующей единицы так, чтобы они соответствовали показанным на рис. 3.1, снимите флажок в поле **Metric units** (Метрические единицы), установите **mil** в поле **Length type** и нажмите **OK**.

### Создание схемы.

Чтобы создать схему:

1. Выберите в меню **Project>Add Schematic>New Schematic** (Проект>Добавить схему>Новая схема) или щёлкните мышкой по значку **New Schematic** на панели инструментов. Откроется

3. Поместите курсор возле узла **Step** (Шаг) элемента **IVCURVE1** так, чтобы курсор отображался в виде соленоида. Щёлкните левой кнопкой мышки, чтобы зафиксировать начало провода, затем перетащите курсор к узлу **1** транзистора **GBJT** и щёлкните левой кнопкой мышки, чтобы зафиксировать провод.
4. Повторите шаг 3, чтобы подключить узел **Sweep** (Смещение) элемента **IVCURVE1** к узлу **2** транзистора **GBJT**.
5. Щёлкните левой кнопкой мышки по значку **Ground** на панели инструментов и подключите землю к узлу **3** транзистора **GBJT** и щёлкните левой кнопкой мышки, чтобы её зафиксировать.

### Редактирование параметров измерителя вольтамперной характеристики.

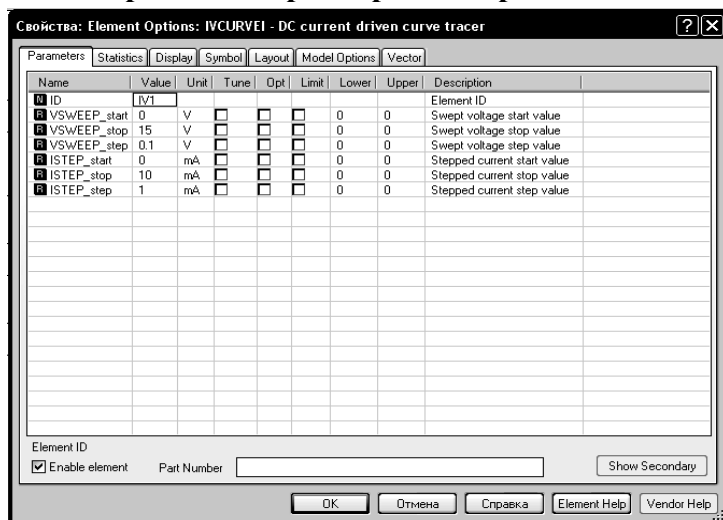


Рис. 3.4

Чтобы определить параметры **IV CURVE1**:

1. Дважды щёлкните левой кнопкой мышки по элементу **IVCURVE1** в окне схемы. Откроется диалоговое окно **Свойства: Element Options** (Опции элемента).
2. Измените значения полей **Value** (Значение), как показано на рис. 3.4 и нажмите **OK**.

### Добавление измеряемых величин к измерителю вольтамперной характеристики.

Чтобы создать график и добавить измеряемые величины к измерителю вольтамперной характеристики:

1. Щёлкните левой кнопкой мышки по панели **Project** в нижней части левого окна, чтобы открыть окно просмотра проекта.
2. Правой кнопкой мышки щёлкните по группе **Graphs** (Графики) и выберите **Add Graph** (Добавить график). Или щёлкните левой кнопкой мышки по значку **New Graph** на панели инструментов. Откроется окно **Create Graph** (Создать график).
3. Наберите **IV BJT** в поле **Graph Name** (Имя графика), выберите **Rectangular** (Прямоугольный) и нажмите **OK**. График отобразится на рабочем поле.
4. Щёлкните правой кнопкой мышки по подгруппе **IV BJT** в группе **Graphs** в окне просмотра проекта и выберите **Add Measurement** (Добавить измеряемую величину) во всплывающем меню. Откроется диалоговое окно **Add Measurement**.

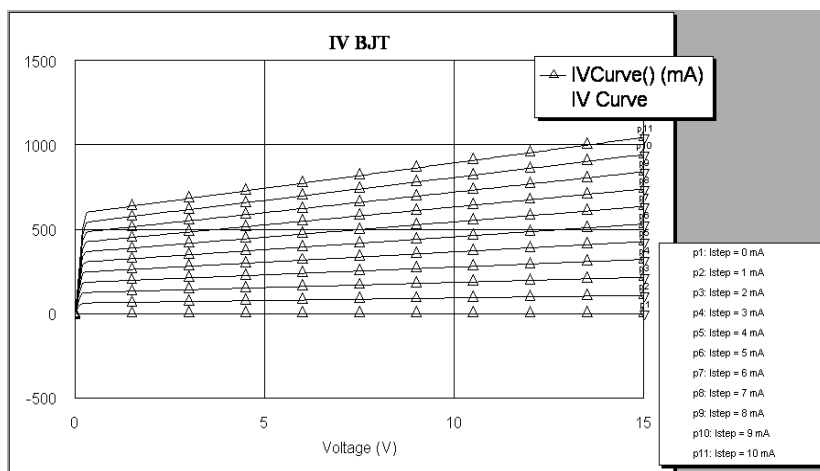



Рис. 3.5

5. Выберите **Nonlinear>Current** (Нелинейный>ток) в окне списка **Meas Type** (Тип измеряемой величины), выберите **IV Curve** в окне списка **Measurement**, выберите **IVCurve** в поле **Data Source Name** (Имя источника данных) и нажмите **OK**.
6. Выберите в меню **Simulate>Analyze** (Моделирование>Анализ) или

щёлкните по значку **Analyze** на панели инструментов . Результат моделирования отображается на графике рис. 3.5.



**Замечание.** На правой стороне графика отображаются маркеры. Вы можете изменить их вид отображения или совсем убрать. Для этого щёлкните правой кнопкой по графику и выберите **Properties** (Свойства). В открывшемся окне на вкладке **Markers** снимите “галочку” в **Param markers in legend**, чтобы изменить вид маркеров, или снимите “галочку” в **Param markers enabled**, чтобы убрать маркеры, нажмите **Apply** и **OK**.

## Создание электрической цепи смещения.

Чтобы создать цепь смещения:

1. В окне схемы **IV Curve** щёлкните левой кнопкой мышки по элементу транзистора **GBJT** и затем щёлкните по значку **Copy** на панели инструментов.
2. Выберите **Project>Add Schematic>New Schematic** в выпадающем меню. Откроется диалоговое окно **New Schematic**. Наберите **DC Bias** (Постоянный ток смещения) и нажмите **OK**. Окно схемы откроется на рабочем поле.
3. Щёлкните по значку **Paste** на панели инструментов и поместите скопированный элемент в окно схемы.
4. Дважды щёлкните левой кнопкой мышки по группе **Lumped Element** (Сосредоточенные элементы), чтобы развернуть её. Щёлкните левой кнопкой мышки по подгруппе **Inductor** (Индуктивности) в группе **Lumped Element**. Доступные модели катушек индуктивности будут отображены в нижней части левого окна. Нажмите левой кнопкой мышки на модель **IND** и, не отпуская кнопки мышки, перетащите её в окно схемы, отпустите кнопку мышки, позиционируйте элемент выше и левее транзистора **GBJT**, как показано на рис. 3.6, и щёлкните левой кнопкой мышки, чтобы зафиксировать элемент.

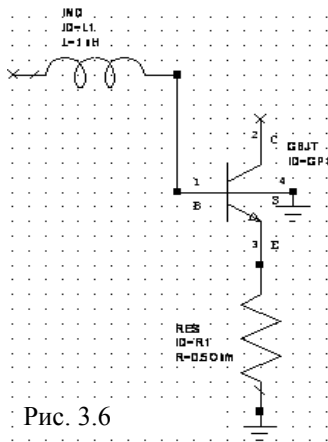


Рис. 3.6

5. Поместите курсор на узле 1 транзистора **GBJT** так, чтобы курсор отображался в виде соленоида. Щёлкните левой кнопкой мышки, чтобы зафиксировать начало провода, перетащите курсор к правому узлу элемента **IND**, щёлкните левой кнопкой мышки, чтобы зафиксировать конец провода.
6. Дважды щёлкните левой кнопкой мышки по элементу **IND** в окне схемы. Откроется диалоговое окно **Element Options**. Введите **1** в поле **Value** для индуктивности (**L**) и нажмите **OK**.
7. Щёлкните левой кнопкой мышки по подгруппе **Resistor** в группе **Lumped Element**. Доступные модели резисторов будут отображены в нижней части левого окна. Нажмите левой кнопкой мышки на модель **RES** и, не отпуская кнопки мышки, перетащите её в окно схемы, отпустите кнопку мышки, щёлкните правой кнопкой мышки, чтобы повернуть элемент, позиционируйте его на узле 3 транзистора **GBJT**, как показано на рис. 3.6, и щёлкните левой кнопкой мышки, чтобы зафиксировать элемент.
8. Дважды щёлкните левой кнопкой мышки по элементу **RES** в окне схемы. Откроется диалоговое окно **Element Options**. Введите **0.5** в поле **Value** для резистора (**R**) и нажмите **OK**.
9. Щёлкните левой кнопкой мышки по значку **Ground** на панели инструментов, двигайте курсор в окно схемы, позиционируйте землю к нижнему узлу резистора **RES**, как показано на рис. 3.6, и щёлкните левой кнопкой мышки, чтобы зафиксировать землю.
10. Повторите п.9 и подключите землю к узлу 4 транзистора **GBJT**, как показано на рис. 3.6.
11. Найдите в окне просмотра элементов группу **Sources** (Источники) и дважды щёлкните по ней, чтобы развернуть. Щёлкните левой кнопкой мышки по подгруппе **DC** (Постоянный ток). Модели доступных источников отображаются в нижней части окна. Нажмите левой кнопкой мышки на модель **DCVS** и, не отпуская кнопки мышки, перетащите её в окно схемы, отпустите кнопку мышки, позиционируйте элемент на левом узле индуктивности **IND ID=L1**, как показано на рис. 3.7, и щёлкните левой кнопкой мышки, чтобы зафиксировать элемент.

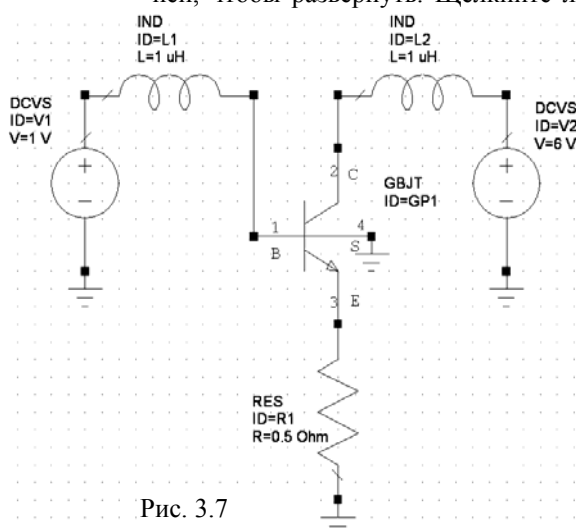




Рис. 3.7

12. Щёлкните левой кнопкой мышки по значку **Ground** на панели инструментов, двигайте курсор в окно схемы, позиционируйте землю на нижнем узле элемента **DCVS**, как показано на рис. 3.7, и щёлкните левой кнопкой мышки, чтобы зафиксировать.

13. Дважды щёлкните левой кнопкой мышки по элементу **DCVC** в окне схемы. Откроется диалоговое окно **Element Options**. Введите **1** в поле **Value** для и нажмите **OK**.
14. Щёлкните левой кнопкой мышки по элементу **Ind**, чтобы выделить его. Щёлкните левой кнопкой по значку **Copy**  и затем по значку **Paste**  на панели инструментов, чтобы скопировать его. Поместите скопированный элемент правее и выше элемента **СВJT** и соедините с узлом 2 элемента **СВJT**, как показано на рис. 3.7.
15. Нажмите клавишу **Shift**, щёлкните левой кнопкой мышки по элементу **DCVS** и подключённой к нему земле. Скопируйте эти элементы и подключите их к последнему элементу **Ind**, как показано на рис. 3.7.
16. Дважды щёлкните левой кнопкой мышки по второму элементу **DCVS** в окне схемы. Откроется диалоговое окно **Element Options**. Введите **6** в поле **Value** и нажмите **OK**.

**Примечание.** Возле каждого элемента располагается поле с его параметрами. Чтобы переместить параметры элемента в другое место, если это необходимо, нажмите на поле параметров левой кнопкой мышки и, не отпуская кнопки мышки, перетащите параметры в другое место.

### Добавление в схему отображения рассчитанных напряжений и токов.

В схему можно добавить отображение рассчитанных при анализе напряжений и токов, которые будут показаны в каждой точке разветвления (Back Annotation – Обратное аннотирование). Чтобы сделать это:

1. Щёлкните левой кнопкой мышки по панели **Project** в нижней части левого окна, чтобы открыть окно просмотра проекта.
2. Щёлкните правой кнопкой мышки по имени схемы **DC Bias** в левом окне просмотра проекта и выберите **Add Annotation**. Откроется окно рис. 3.8. В области **Measurement** этого окна отметьте напряжение постоянного тока **DCVA\_N** и нажмите **Apply**.
3. Затем отметьте в этой же области постоянный ток **DCIA** и нажмите **Apply**.
4. Нажмите **OK**.
5. Выберите в меню **Simulate>Analyze** или щёлкните по значку **Analyze** на панели инструментов.

После выполнения анализа схема будет выглядеть, как показано на рис. 3.9. Если поместить курсор на отображаемое напряжение или ток и нажать левую кнопку мышки, то эти отображения можно переместить в другое место схемы.

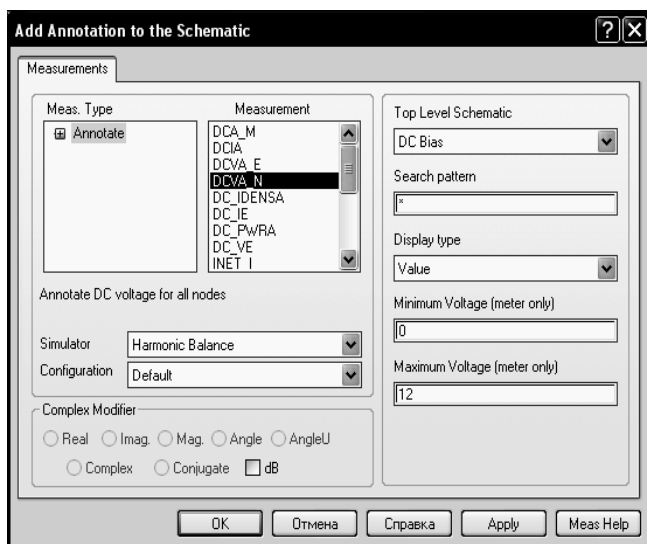


Рис. 3.8

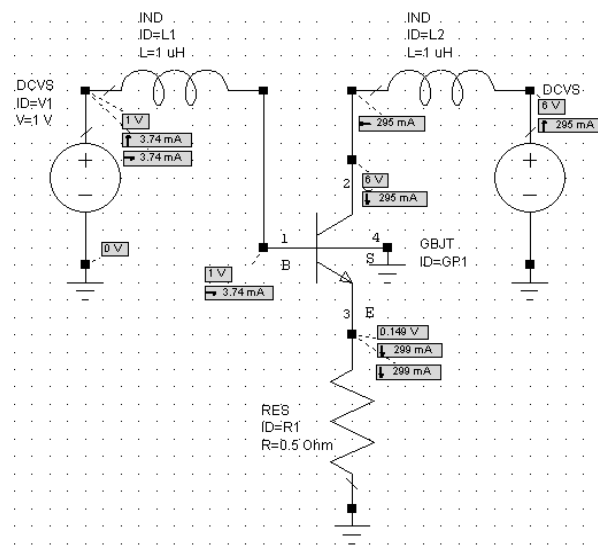


Рис. 3.9

### Добавление блокировочных конденсаторов.

Добавьте в схему конденсаторы на входе и выходе транзистора, а также параллельно резистору. Для этого:

1. Щёлкните левой кнопкой мышки по панели **Elements** в нижней части левого окна, чтобы открыть окно просмотра элементов.
2. Дважды щёлкните левой кнопкой мышки по группе **Lumped Element** (Сосредоточенные элементы), чтобы развернуть её. Щёлкните левой кнопкой мышки по подгруппе **Capacitor** (Конденсаторы) в группе **Lumped Element**. Доступные модели конденсаторов отображаются в нижней части левого окна. Нажмите левой кнопкой мышки на модель **CAP** и, не отпуская кнопки мышки, перетащите её в окно схемы. Отпустите кнопку мышки, позиционируй-

те элемент на клемме **1** транзистора **GBJT**, как показано на рис. 3.10, и щёлкните левой кнопкой мышки, чтобы зафиксировать элемент.

3. Дважды щёлкните левой кнопкой мышки по элементу **CAP** в окне схемы. Откроется диалоговое окно **Element Options**. Введите **100** в поле **Value** для ёмкости (**C**) и нажмите **OK**.
4. Щёлкните левой кнопкой мышки по элементу **CAP** в окне схемы. Нажмите клавиши **Ctrl+C** и затем **Ctrl+V**, чтобы скопировать и вставить элемент. Подключите скопированный элемент к узлу **2** транзистора **GBJT**, как показано на рис. 3.10, и щёлкните левой кнопкой мышки, чтобы зафиксировать элемент.

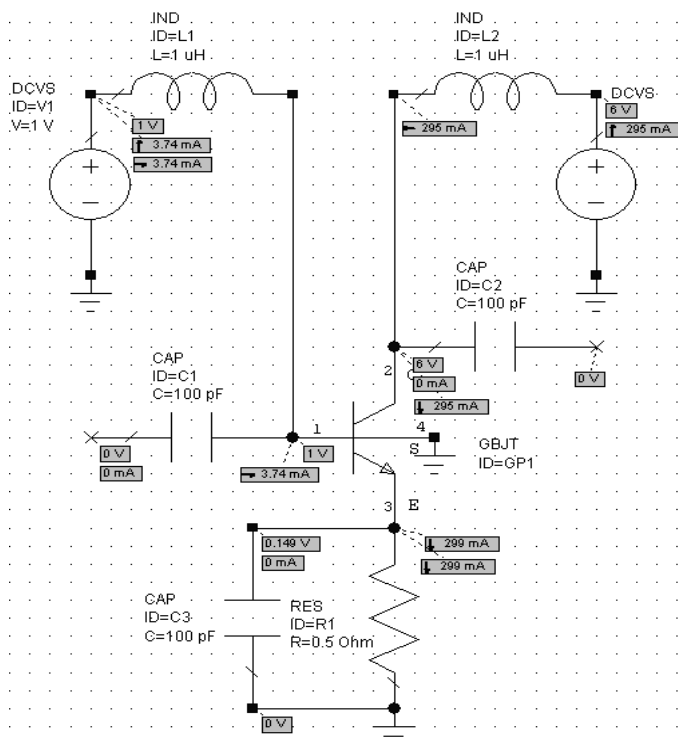


Рис. 3.10

5. Снова нажмите клавиши **Ctrl+V**, щёлкните правой кнопкой мышки, чтобы развернуть скопированный элемент и установите его слева от резистора **Res**, как показано на рис. 3.10.
6. Поместите курсор на верхней клемме элемента **CAP ID=C3**. Курсор должен отображаться в виде соленоида. Щёлкните левой кнопкой мышки и затем перетащите курсор к клемме **3** транзистора **GBJT** и щёлкните левой кнопкой мышки, чтобы зафиксировать провод. Аналогично соедините проводом нижнюю клемму элемента **CAP ID=C3** с землёй.
7. Щёлкните левой кнопкой мышки по значку **Analyze**, чтобы отобразить значения токов и напряжений в новых узлах.

### Добавление порта гармонического баланса.

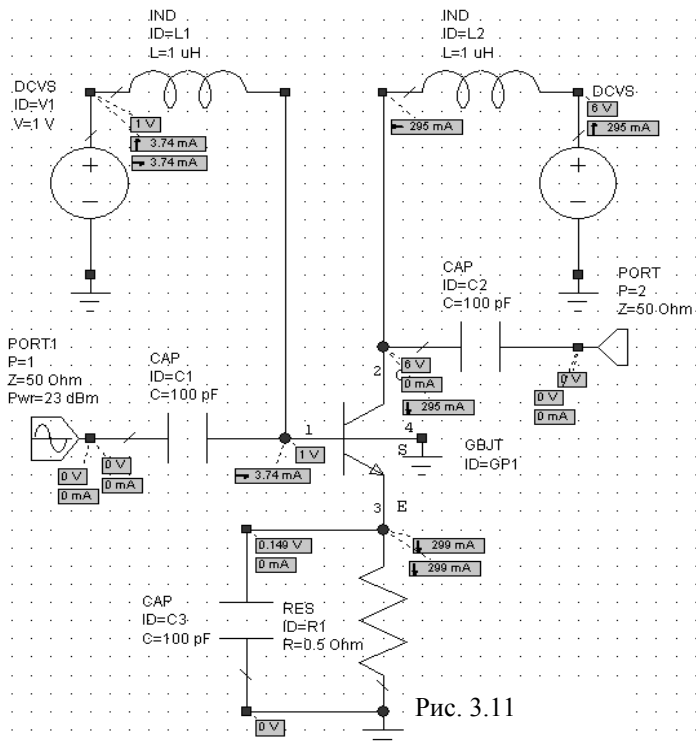


Рис. 3.11

Чтобы добавить порт гармонического баланса:

1. Дважды щёлкните левой кнопкой мышки по группе **Ports** в окне просмотра элементов, чтобы развернуть её. Щёлкните левой кнопкой мышки по подгруппе **Harmonic Balance** в группе **Ports**. Доступные модели портов отображаются в нижней части левого окна. Нажмите левой кнопкой мышки на модель **PORT1** и, не отпуская кнопки мышки, перетащите её в окно схемы. Отпустите кнопку мышки, подключите элемент к левой клемме элемента **CAP ID=C1**, как показано на рис. 3.11, и щёлкните левой кнопкой мышки, чтобы зафиксировать порт.
2. Дважды щёлкните левой кнопкой мышки по порту **PORT1** в окне схемы. Откроется диалоговое окно **Element Options**. Введите **23** в строку **Pwr** в поле **Value** и нажмите **OK**.
3. Щёлкните левой кнопкой мышки по значку **PORT** на панели инструментов. Двигайте курсор в окно схемы, щёлкните правой кнопкой мышки два раза, чтобы повернуть порт, подключите его к правой клемме выходного конденсатора **CAP ID=C2**, как показано на рис. 3.11, и щёлкните левой кнопкой мышки, чтобы зафиксировать порт.

## Определение частот нелинейного моделирования.

Определить частоты для анализа можно несколькими способами:

- Как глобальные частоты проекта, выбрав в меню **Options>Project Options** и в открывшемся окне опций проекта ввести нужные частоты на вкладке **Frequencies**.
- Как локальные частоты, определённые только для данной схемы, щёлкнув правой мышкой по имени схемы в левом окне просмотра документа и выбрав **Options**.
- Из левого окна просмотра элементов поместить в схему элемент **SWPFRQ**, который находится в группе **Simulation Control**.

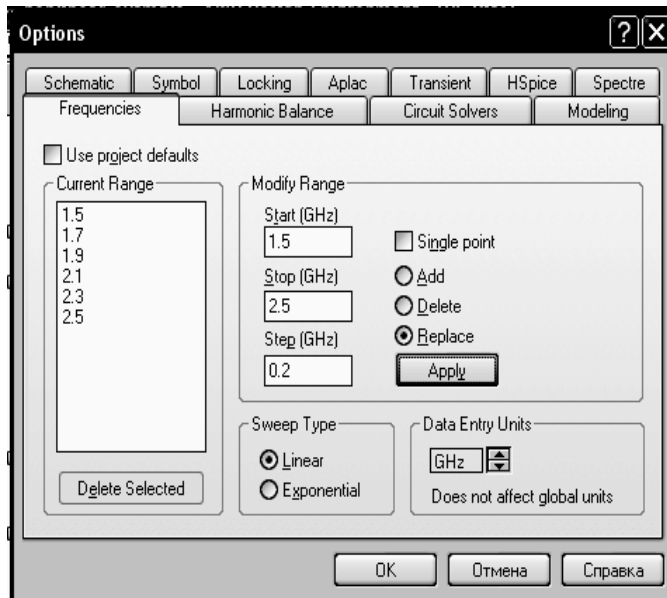


Рис. 3.12

нажмите **Apply** (Применить). Диапазон частот отображается в окне списка **Current Range** (см. рис. 3.12). Нажмите **OK**.

## Создание диаграммы Смита и добавление измеряемой величины коэффициента отражения большого сигнала.

Microwave Office позволяет вычислить коэффициент отражения большого сигнала и отобразить его на диаграмме Смита.

Чтобы создать диаграмму Смита:

1. Щёлкните правой кнопкой мышки по группе **Graphs** (Графики) и выберите **Add Graph** (Добавить график). Откроется диалоговое окно **Create Graph** (Создать график).
2. Введите **Input reflection** (Коэффициент отражения по входу) в поле **Graph Name** (Имя графика), выберите **Smith Chart** (Диаграмма Смита) в области **Graph Type** (Тип графика) и нажмите **OK**. Диаграмма будет отображена на рабочем поле.

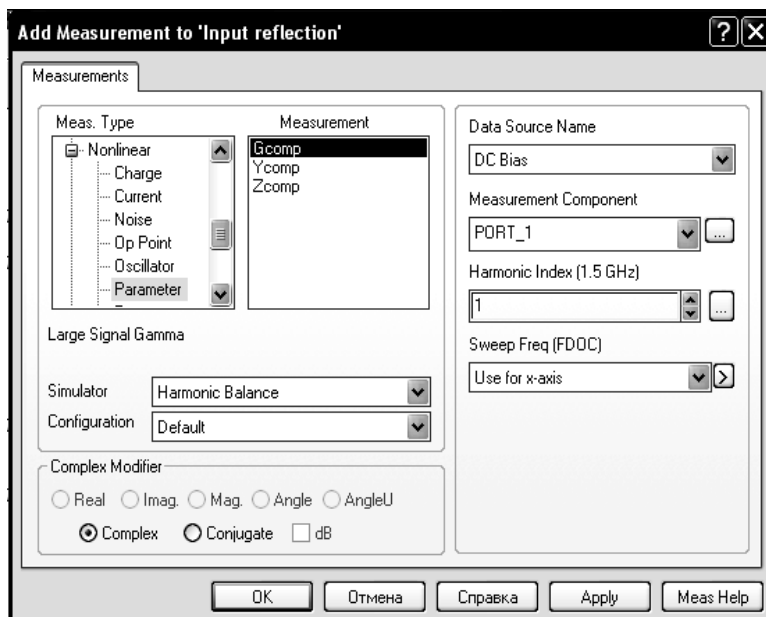


Рис. 3.13

Мы воспользуемся вторым способом.

1. В окне просмотра проекта щёлкните левой кнопкой мышки по значку + слева от группы **Circuit Schematics**, чтобы развернуть её.
2. Щёлкните правой кнопкой мышки по подгруппе **DC BIAS** и выберите **Options**. Откроется диалоговое окно **Options** (рис. 3.12).
3. На вкладке **Frequencies** снимите галочку в переключателе **Use Project Frequencies** (Использовать частоты проекта).
4. Установите **GHz** в поле **Data Entry Unit**, щёлкая левой кнопкой мышки по стрелке справа от этого поля, введите **1.5** в поле **Start**, введите **2.5** в поле **Stop**, введите **0.2** в поле **Step**, выберите **Replace** (Заменить) и

Чтобы добавить измеряемую величину коэффициента отражения большого сигнала:

1. Щёлкните правой кнопкой мышки по подгруппе **Input reflection** в группе **Graphs** в окне просмотра проекта и выберите **Add measurement** (Добавить измеряемую величину) во всплывающем меню. Откроется диалоговое окно **Add measurement** (Рис. 3.13).

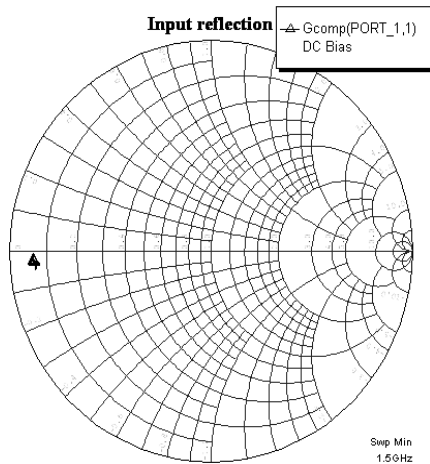


Рис. 3.14

2. Раскройте группу **Nonlinear** (Нелинейные) в окне списка **Meas Type** (Тип измеряемых величин) и отметьте **Parameter**. Выберите **Gcomp** (Компонент отражённого сигнала) в окне списка **Measurement** (Измеряемая величина). Выберите **DC Bias** в поле **Data Source Name** (Имя источника данных), выберите **PORT\_1** в поле **Measurement Component** (Компонент измеряемой величины), выберите **1** в поле **Harmonic Index** (Индекс гармоники) щёлкая по стрелке справа от этого поля. Отметьте **Complex** и нажмите **Apply** и **OK**.
3. Выберите в меню **Simulate>Analyze** или щёлкните по значку **Analyze** на панели инструментов. Результаты анализа отображаются на диаграмме Смита рис. 3.14.

### Импортирование согласующих входной и выходной схем.

Входную и выходную согласующие схемы импортируем из схемы, созданной ранее. Чтобы импортировать входную согласующую схему:

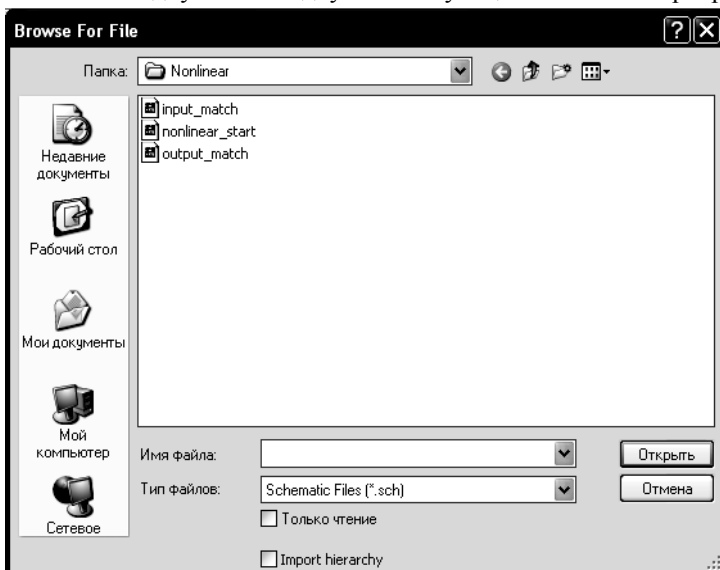


Рис. 3.15

порттировать входную согласующую схему:

1. Щёлкните правой кнопкой мышки по группе **Circuit Schematics** в окне просмотра проекта и выберите **Import Schematic** (Импорт схем) во всплывающем меню. Откроется диалоговое окно **Browse For File** (Рис. 3.15).

2. Щёлкните левой кнопкой мышки по кнопке справа от поля **Папка** и установите в этом поле папку **C:\Program Files\AWR\MWO2007\Examples\Microwave Office\Getting Started\Nonlinear**.

3. Щёлкните левой кнопкой мышки по файлу **input math** и нажмите кнопку **Открыть**. На рабочем поле будет

отображена схема, показанная на рис. 3.16.

4. Чтобы импортировать выходную согласующую схему, повторите пункты с 1-го по 3-ий, но выберите файл **output math**. На рабочем поле будет отображена схема, показанная на рис. 3.17.

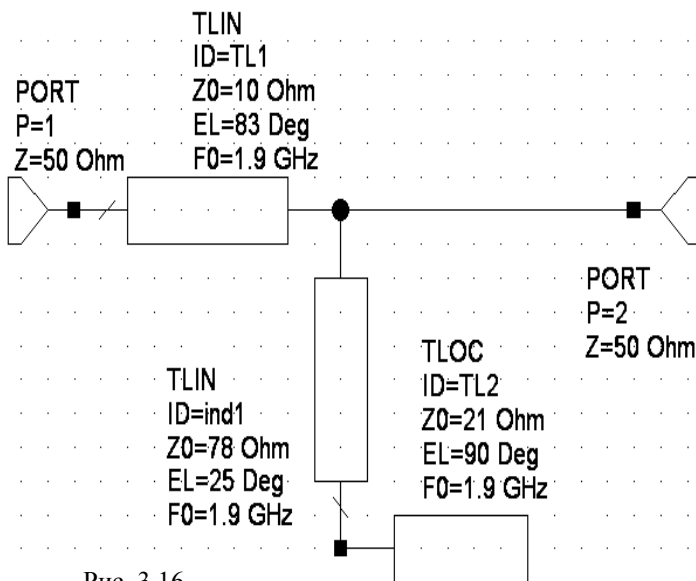


Рис. 3.16

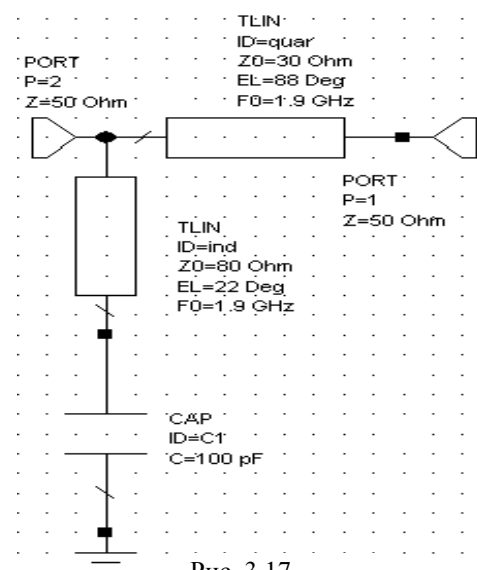
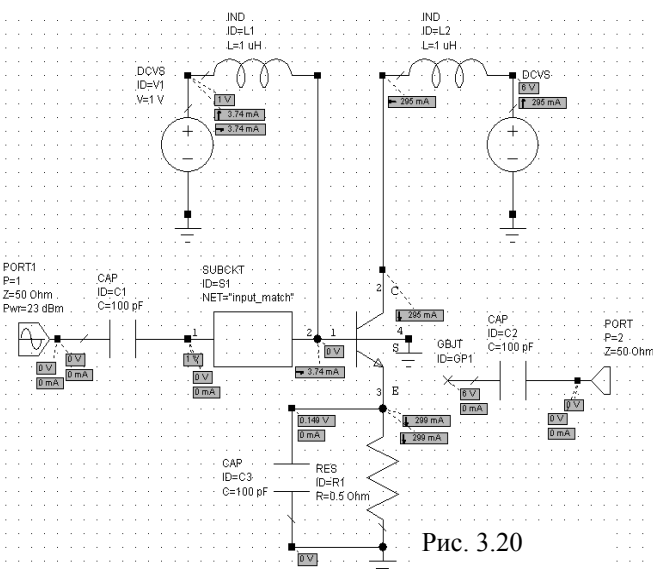
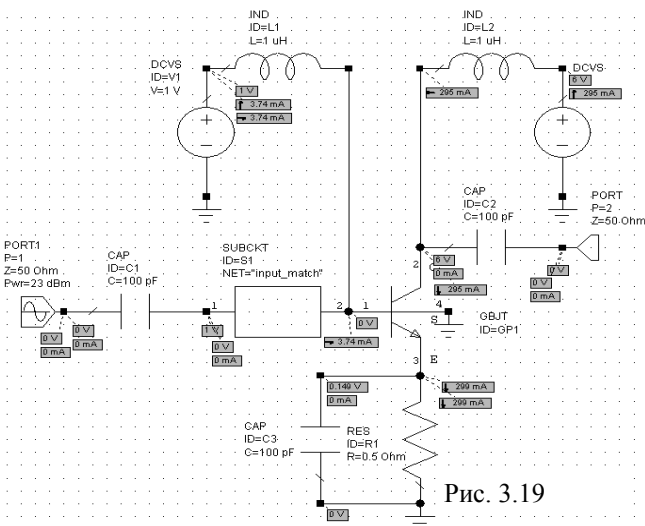
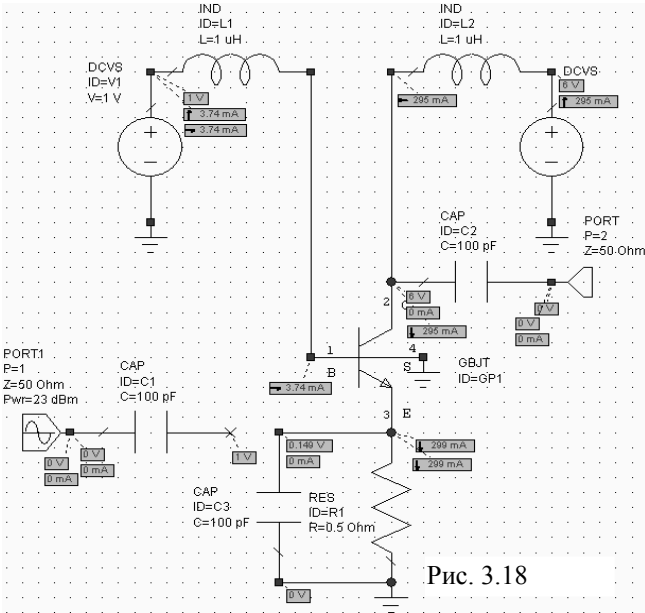


Рис. 3.17

## Добавление подсхем к схеме.

Всякий раз, когда к n – ному порту схемы подключается другая созданная или импортированная схема, то подключённая схема автоматически становится n – подсхемой. Такие подсхемы могут подключаться к другим подсхемам, создавая, таким образом, иерархическую структуру электрической цепи. Чтобы добавить согласующие схемы на входе и выходе усилителя:



1. В левом окне просмотра проекта в группе **Circuit Schematics** дважды щёлкните левой кнопкой мышки по подгруппе **DC Bias**, чтобы отобразить эту схему.
2. Щёлкните левой кнопкой мышки по элементу **PORT1** в окне схемы. Нажмите клавишу **Shift** и, удерживая её, щёлкните левой кнопкой мышки по элементу **CAP ID=C1**. При этом **PORT1** и **CAP ID=C1** будут выделены.
3. Нажмите и удерживайте клавишу **Ctrl**. Нажмите левой кнопкой мышки на выбранные элементы и, не отпуская кнопки мышки, перетащите их влево от электрической цепи, чтобы разорвать связь между **CAP ID=C1** и транзистором, как показано на рис. 3.18.
4. Нажмите на панель **Elements** в нижней части левого окна, чтобы открыть окно просмотра элементов.
5. Щёлкните левой кнопкой мышки по группе **Subcircuit** (Подсхемы) в окне просмотра элементов. Доступные подсхемы будут отображены в нижней части левого окна.
6. Нажмите левой кнопкой мышки подсхему **input match** и, не отпуская кнопки, перетащите её в окно схемы, отпустите кнопку мышки и подключите к узлу **1** транзистора, щёлкните левой кнопкой мышки, чтобы зафиксировать её.
7. Нажмите клавишу **Shift** и, удерживая её, щёлкните левой кнопкой мышки по элементам **PORT1** и **CAP ID=C1**, чтобы выделить их. Установите курсор на один из выделенных элементов, нажмите левую кнопку мышки и подключите эти элементы к узлу **1** подсхемы **input match**, как показано на рис. 3.19.
8. Щёлкните левой кнопкой мышки по элементу **PORT2**. Нажмите и, удерживая клавишу **Shift**, щёлкните левой кнопкой мышки по элементу **CAP ID=C2**. При этом **PORT2** и **CAP ID=C2** будут выделены.
9. Нажмите клавишу **Ctrl**. Нажмите выделенные элементы левой кнопкой мышки и, не отпуская кнопки мышки, перетащите их вправо от схемы, чтобы разорвать связь между

ду **CAP ID=C2** и проводом, как показано на рис. 3.20.

10. Нажмите левой кнопкой мышки на подсхему **output match** и, не отпуская кнопки, перетащите её в окно

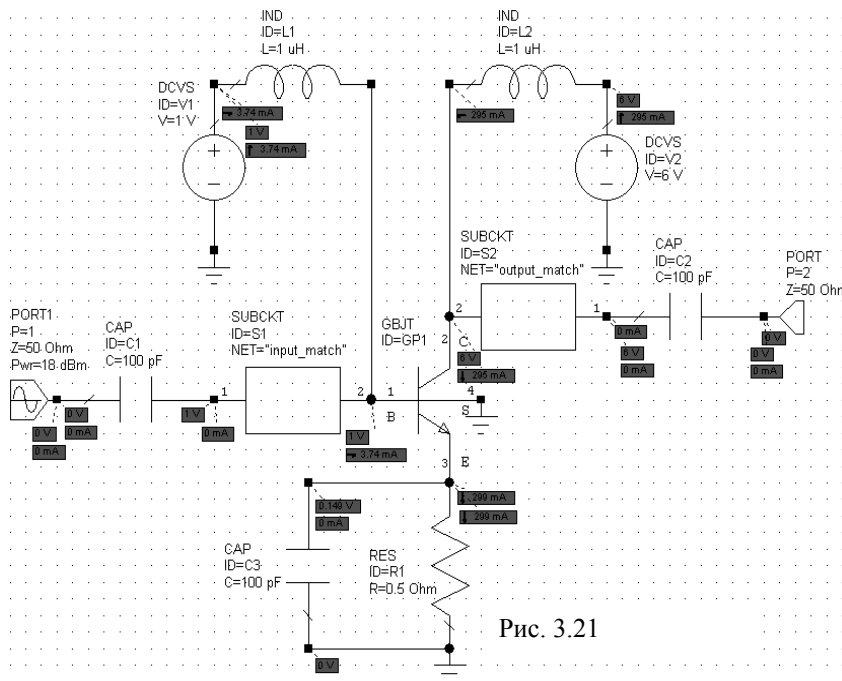


Рис. 3.21

схемы, отпустите кнопку мышки, щёлкните два раза правой кнопкой мышки, чтобы развернуть подсхему на 180 градусов, подключите подсхему узлом 2 к узлу 2 транзистора **GBJT** и щёлкните левой кнопкой мышки, чтобы зафиксировать.

11. Нажмите клавишу **Shift** и, удерживая её, щёлкните левой

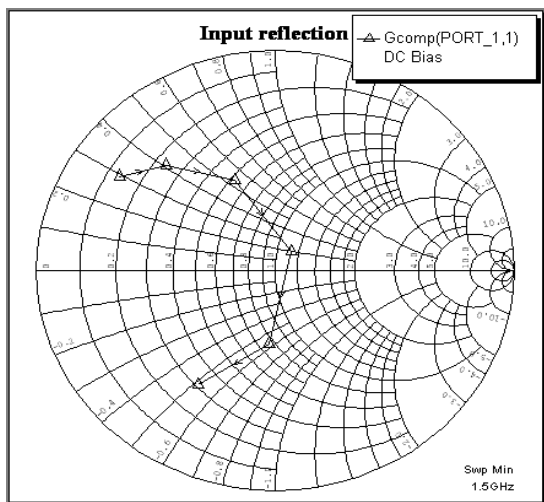


Рис. 3.22

кнопкой мышки по элементам **PORT2** и **CAP ID=C1**, чтобы выделить их. Установите курсор на один из выделенных элементов, нажмите левую кнопку мышки и подключите эти элементы к узлу 1 подсхемы **output match**, как показано на рис. 3.21.

12. Дважды щёлкните левой кнопкой мышки по значению параметра **Pwr=23 dBm** элемента **PORT1**. Откроется окно редактирования значения. Наберите **18**, чтобы изменить значение **23** на **18 dBm**. Полученная схема показана на рис. 3.21.
13. В левом окне просмотра проекта дважды щёлкните по имени графика диаграммы Смита, чтобы сделать это окно активным.
14. Щёлкните левой кнопкой мышки по значку **Analyze** на панели инструментов. Полученный график показан на рис. 3.22.

## Создание графика и добавление измеряемой величины выходной мощности.

Чтобы создать график зависимости выходной мощности (в дБ/Мвт) в зависимости от частоты и добавить измеряемую величину выходной мощности:

1. В левом окне просмотра проекта щёлкните правой кнопкой мышки по группе **Graphs** и выберите **Add Graph**. Откроется диалоговое окно **Create Graph**.
2. Наберите **Pout** (Выходная мощность) в поле **Graph Name**, выберите **Rectangular** в области **Graph Type** и нажмите **OK**. График будет отображён на рабочем поле.
3. Правой кнопкой мышки щёлкните по подгруппе **Pout** в группе **Graphs** в окне просмотра проекта и выберите **Add Measurement** во всплывающем меню. Откроется диалоговое окно **Add Measurement** (рис. 3.23).
4. В области **Meas Type** раскройте группу **Nonlinear** и отметьте **Power**. Выберите **Pcomp** в области **Measurement**. Введите **DC Bias** в поле **Data Source Name**, введите **PORT\_2** в поле **Measurement Component**, введите **1** в поле **Harmonic Index**, в поле **Sweep Freq(FDOC)** введите **Use for x-axis**, отметьте **dBm** в области **Complex Modifier** и нажмите **Apply** и **OK** (Рис.3.23).
5. Выберите в меню **Simulate>Analyze**, или щёлкните по значку **Analyze** на панели инструментов. Результаты анализа отображаются на графике рис. 3.24.

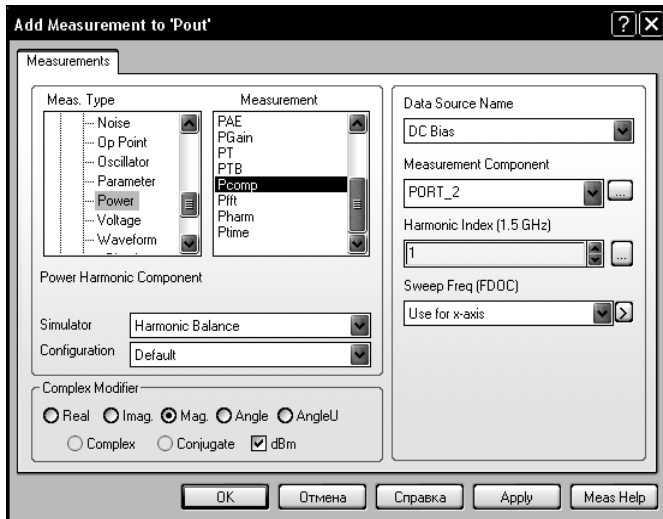


Рис. 3.23

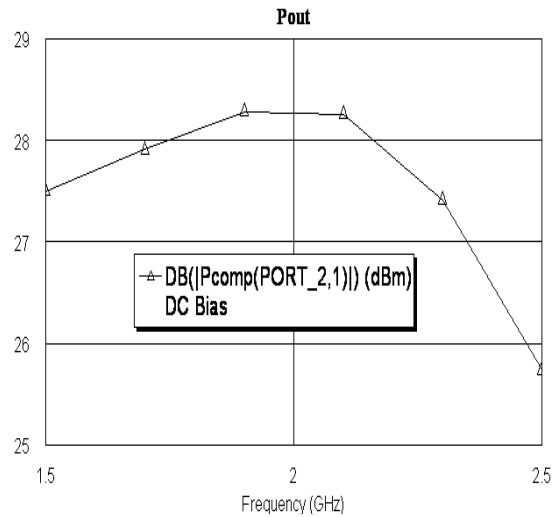


Рис. 3.24

### Создание графика и измеряемых величин динамической нагрузки.

График динамической нагрузки наносится на график вольтамперной характеристики устройства. Чтобы создать измеряемые величины динамической нагрузки:

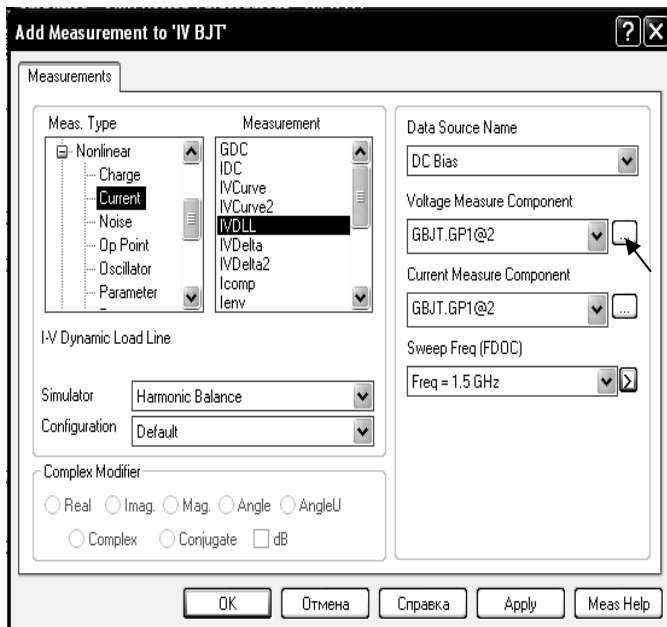


Рис. 3.25

1. В левом окне просмотра проекта дважды щёлкните левой кнопкой мышки по имени графика **IV BJT** в группе **Graph**, чтобы открыть график вольтамперной характеристики на рабочем поле.

2. Щёлкните правой кнопкой мышки по графику и выберите **Properties**. В открывшемся окне на вкладке **Markers** снимите “галочку” в **Param markers enabled**, чтобы убрать маркеры, нажмите **Apply** и **OK**.

3. Щёлкните правой кнопкой мышки по имени графика **IV BJT** в группе **Graphs** и выберите **Add Measurement**. Откроется диалоговое окно **Add Measurement** (рис. 3.25).

4. Выберите **Nonlinear>Current** в области **Meas Type**. В области **Measurement**

отметьте **IVDLL**. Щёлкните мышкой по кнопке “...” справа от поля **Voltage Measure Component** (на рис. 3.25 показана стрелкой). Откроется окно со схемой **DC Bias** (рис. 3.26). В списке в левом нижнем углу этого окна отметьте **GBJT.GP1@2** и нажмите **OK** в левом верхнем углу окна.

5. Аналогично введите **GBJT.GP1@2** в поле **Current Measure Component**.

6. В поле **Sweep Freq (FDOC)** введите **Freq=1.5 GHz** (рис. 3.25).

7. Нажмите **Apply** и **OK**.

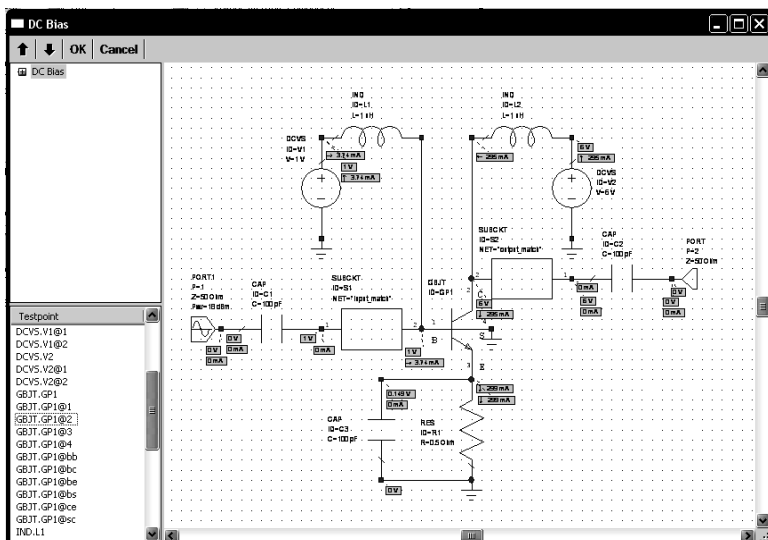


Рис. 3.26



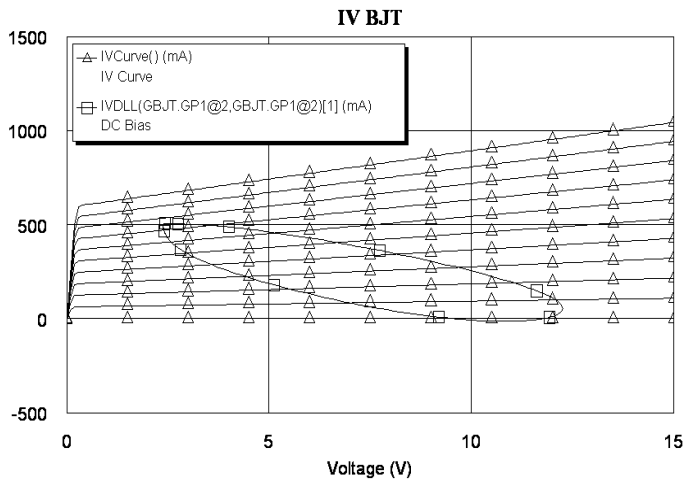


Рис. 3.27

схемы **DC Bias** в группе **Circuit Schematics** в левом окне проекта, нажмите левую кнопку мышки и, не отпуская кнопки, переместите курсор на имя группы **Circuit Schematics**. Будет создана копия схемы с именем **Copy of DC Bias**.

- Щёлкните правой кнопкой мышки по имени скопированной схемы **Copy of DC Bias** в левом окне проекта и выберите **Rename Schematic** (Переименовать схему).
- В открывшемся окне введите новое имя для скопированной схемы **Two Tone Amp** и нажмите **OK**.

#### 4. Добавление двухчастотного порта гармонического баланса.

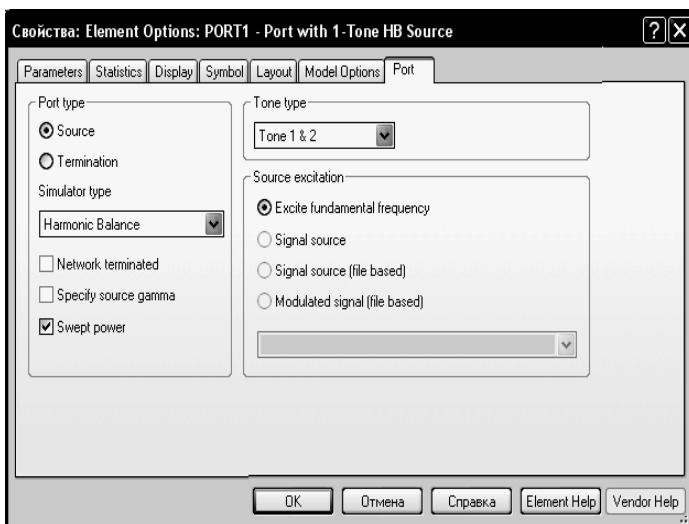


Рис. 3.28

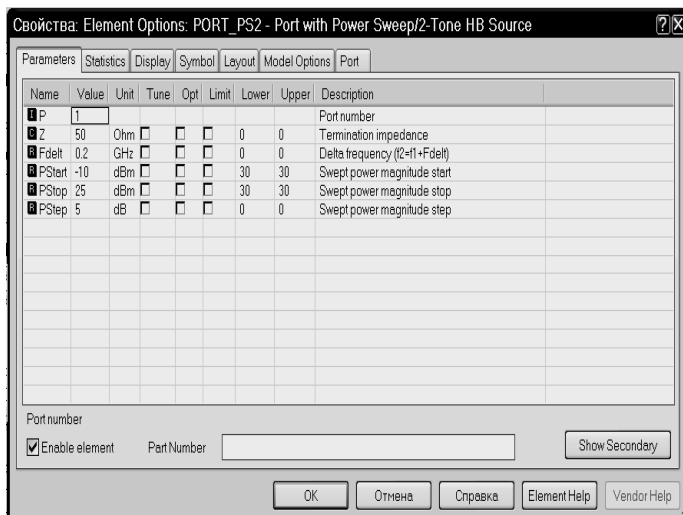


Рис. 3.29

8. Выберите в меню **Simulate>Analyze** или щёлкните по значку **Analyze** на панели инструментов. Результаты анализа отображаются на графике рис 3.27.

#### Копирование схемы в окне просмотра проекта.

Чтобы выполнить двухчастотный анализ, требуется та же самая схема, но с двухчастотным портом гармонического баланса. Мы не будем изменять порт в имеющейся схеме, а создадим новую, используя возможность в **Microsoft Office** создавать копии схем.

1. Установите курсор на имя

Обычно измеряемые величины, используемые для характеристики усилителя мощности, являются тремя последовательностями составляющих интермодуляции относительно передаваемой мощности. Чтобы создать эти измеряемые величины, на вход необходимо подать две, близко расположенные частоты. Для добавления двухчастотного порта гармонического баланса:

1. В активном окне схемы **Two Tone Amp** дважды щёлкните левой кнопкой мышки по элементу **PORT1**. Откроется диалоговое окно **Element Options** (Рис. 3.28).

2. Откройте вкладку **Port** диалогового окна, щёлкнув мышкой по закладке **Port** в верхней части этого окна.

3. В области **Port Type** отметьте **Source** (Источник) и **Swept Power** (Вариация частоты), в поле **Simulator type** (Решающее устройство) введите **Harmonic Balance**. В поле **Tone Type** введите **Tone 1&2**. В области **Source excitation** (Источник возбуждения) выберите **Excite fundamental frequency** (Возбуждение фундаментальной частоты).

4. Откройте вкладку **Parameters**. В поле **Fdelt** введите **0.2**, в поле **Pstart** введите **-10**, в поле **Pstop** введите **25**, в поле **Pstep** введите **5**, как показано на рис. 3.29. Затем нажмите **OK**.

## Добавление измеряемой величины третьей составляющей интермодуляции.

Чтобы добавить измеряемую величину третьей составляющей интермодуляции:

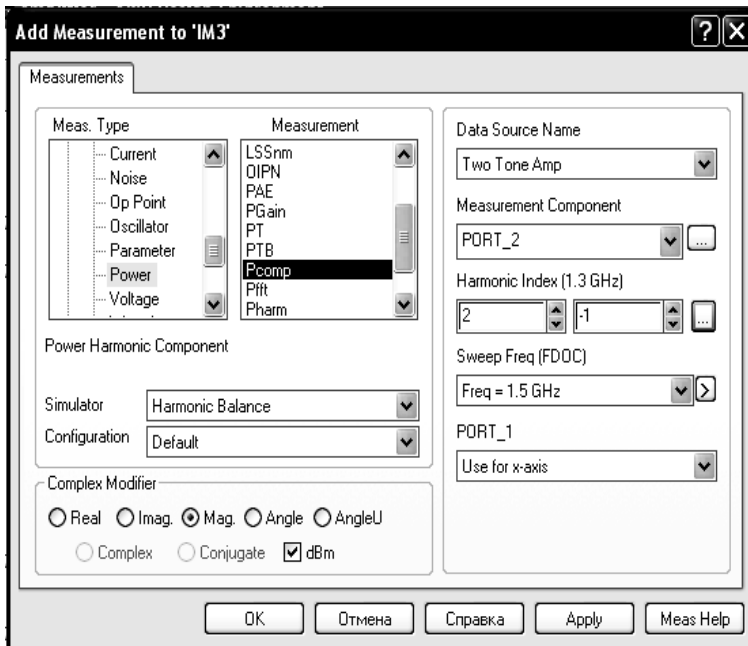


Рис. 3.30

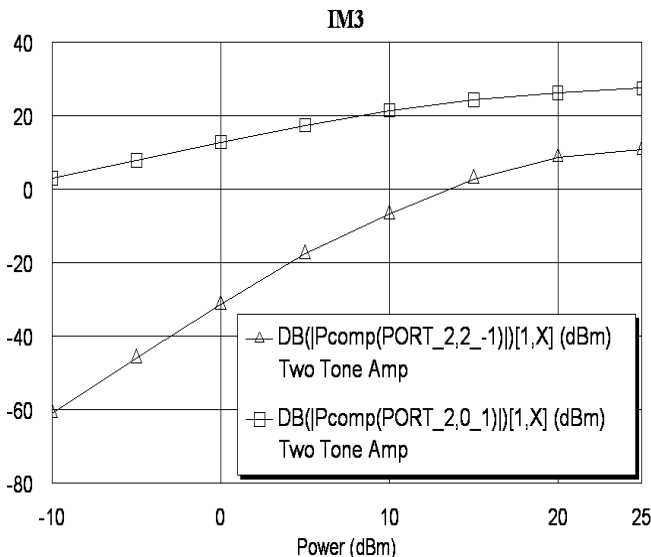


Рис. 3.31

Результаты отображаются на графике рис. 3.31.

1. Сначала создайте график. Для этого в левом окне просмотра проекта щёлкните правой кнопкой мышки по группе **Graphs** и выберите **Add Graph**, или щёлкните левой кнопкой мышки по значку **New Graph** на панели инструментов. Откроется диалоговое окно **Create Graph**.

2. Наберите **IM3** (Интермодуляция 3) в поле ввода **Graph Name**, отметьте **Rectangular** в области **Graph Type** и нажмите **OK**. На рабочем поле будет отображён график.

3. Правой кнопкой мышки щёлкните по подгруппе **IM3** в группе **Graphs** в окне просмотра проекта и выберите **Add**

**Measurement** во всплывающем меню. Откроется диалоговое окно **Add Measurement** (Рис 3.30).

4. Выберите **Nonlinear>Power** в области **Meas Type**, выберите **Pcomp** в области **Measurement**, введите **Two Tone Amp** в поле **Data Source Name**, введите **PORT\_2** в поле **Measurement Component**, введите **2** и **-1** в поля **Harmonic Index**, введите **Freq=1.5 GHz** в поле **Sweep Freq (FDOC)**, введите **Use for x-axis** в поле **PORT\_1**, отметьте **dBm**, нажмите **Apply**.

5. Повторите п.4, но в поля **Harmonic Index** введите **0** и **1**. Нажмите **Apply** и **OK**.

6. Выберите в меню **Simulate>Analyze** или щёлкните по значку **Analyze** на панели инстру-

## 3.2. Моделирование балансного смесителя на диодах.

Выполнить моделирование балансного смесителя с частотой сигнала 4.25 ГГц, частотой гетеродина 3.75 ГГц, промежуточная частота 0.5 ГГц.

### Создание нового проекта.

Чтобы создать новый проект:

1. Выберите в меню **File>New Project** (Файл>Новый проект).
2. Выберите в меню **File>Save Project As** (Файл>Сохранить проект как). Откроется диалоговое окно **Save As**.
3. Наберите имя проекта **BDMixer** и нажмите **Сохранить**.

### Определение единиц измерения и частот проекта.

1. Выберите в меню **Options>Project Options** (Опции>Опции проекта) или дважды щёлкните мышкой по **Project Options** в левом окне проекта. Откроется диалоговое окно **Project Options**.

2. В открывшемся окне опций проекта откройте вкладку **Global Options** и определите глобальные единицы измерения, как показано на рис. 3.32.
3. Откройте вкладку **Frequencies**. Введите **2** в поле **Start**, **5** в поле **Stop**, **0.03** в поле **Step**. Отметьте **Replace** и нажмите **Apply**. Диапазон частот отображается в окне списка **Current Range**, как показано на рис.3.33.
4. Нажмите **OK**.

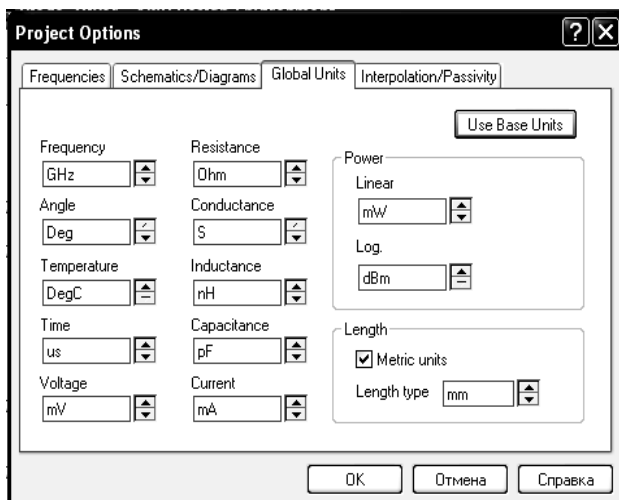


Рис. 3.32

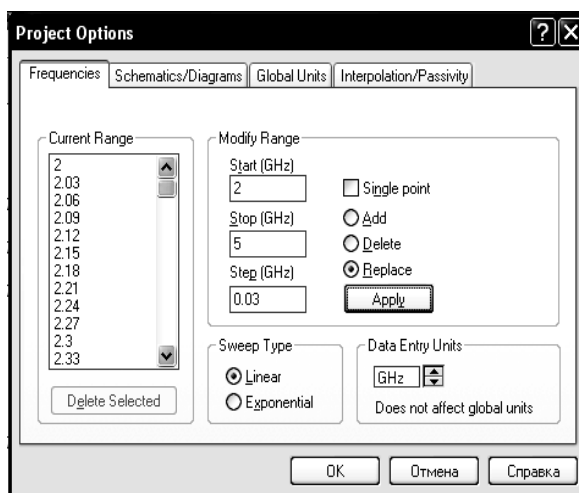


Рис. 3.33

### Создание схемы и анализ ответвителя Ланге.

В проекте будут несколько схем, использующие одну и ту же подложку. Поэтому поместим элемент подложки в глобальные определения, откуда он будет доступен для всех схем.

1. В окне просмотра проекта дважды щёлкните по **Global Definitions**, откроется окно глобальных определений.
2. В левом окне откройте окно просмотра элементов, щёлкнув мышкой по кнопке **Elements** в нижней части левого окна.
3. Щёлкните мышкой по группе **Substrates**, чтобы отобразить элементы подложек.
4. Перетащите элемент **MSUB** в окно глобальных определений и щёлкните левой кнопкой мышки, чтобы закрепить его.

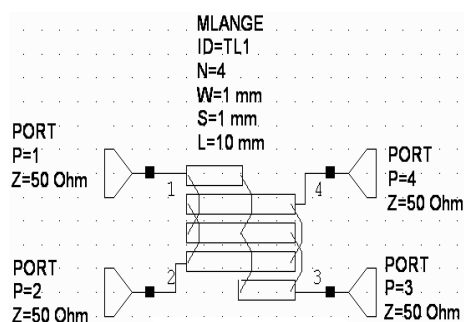


Рис. 3.34

5. Дважды щёлкните мышкой по элементу **MSUB** и в открывшемся окне свойств элемента введите: **Er=6, H=1.25 mm, T=0.025 mm, Tand=0.001** и **ErNom=6**. Нажмите **OK**.

Теперь создадим схему ответвителя Ланге. Эта схема будет состоять только из одного элемента, и её будем использовать, чтобы правильно подобрать значения параметров этого элемента.

1. Щёлкните мышкой по значку **New Schematic** на панели инструментов и создайте схему с именем **Lange Coupler**.

2. В окне просмотра элементов раскройте группу **Microstrip** и щёлкните мышкой по подгруппе **PwrDivider**.

3. Перетащите в окно схемы элемент **MLANGE** в окно схемы и щёлкните левой кнопкой мышки, чтобы закрепить его.
4. Щёлкните мышкой по значку **Port** на панели инструментов и подключите порт к плечу **1** элемента **MLANGE**. Аналогично подключите порт к плечу **2**. Затем подключите порты к плечам **3** и **4**, два раза щёлкая мышкой, чтобы развернуть эти порты на 180 градусов. Полученная схема показана на рис. 3.34.
5. Щёлкните мышкой по значку **Tune Tool** на панели инструментов и, щёлкая мышкой, назначьте параметры **W, S** и **L** элемента **MLANGE** для настройки.
6. Щёлкните мышкой по значку **New Graph** на панели инструментов и создайте график с именем **Lange Coupler S Parameters**.
7. Откройте окно просмотра проекта, щёлкнув мышкой по панели **Project** в левой нижней части окна.
8. Щёлкните правой кнопкой мышки по имени созданного графика в окне просмотра проекта и выберите **Add Measurement**.
9. В открывшемся окне в области **Meas type** отметьте **Linear>Port Parameters**, в области **Measurement** отметьте **S**, в поле **Data Source Name** введите **Lange Coupler**, в поля **To**

**Port Index** и **From Port Index** введите **1**, отметьте **dB** и нажмите **Apply**. Затем в поле **To Port Index** поочередно введите **2, 3 и 4**, нажимая после каждого ввода **Apply**.

10. Нажмите **OK**.

11. Щёлкните по значку **Analyze** на панели инструментов.

12. Чтобы прямоугольник с обозначениями измеряемых величин на графике не затемнял характеристики, установите курсор на этот прямоугольник, нажмите левую кнопку мышки и переместите этот прямоугольник выше схемы. Затем установите курсор на ромбик посередине левой стороны прямоугольника и сдвиньте эту сторону до левого края графика. Аналогично сдвиньте правую сторону прямоугольника до правого края графика. Поместите полученный новый прямоугольник над графиком и щёлкните по значку **View All** на панели инструментов.

13. Щёлкните по значку **Tune** на панели инструментов и, двигая движки переменных на блоке настройки, добейтесь нужной характеристики (рис. 3.35). Закройте блок настройки и, щёлкнув мышкой по значку **Tune Tool** на панели инструментов, отмените настройку для переменных **W, S** и **L** элемента **MLANGE**.

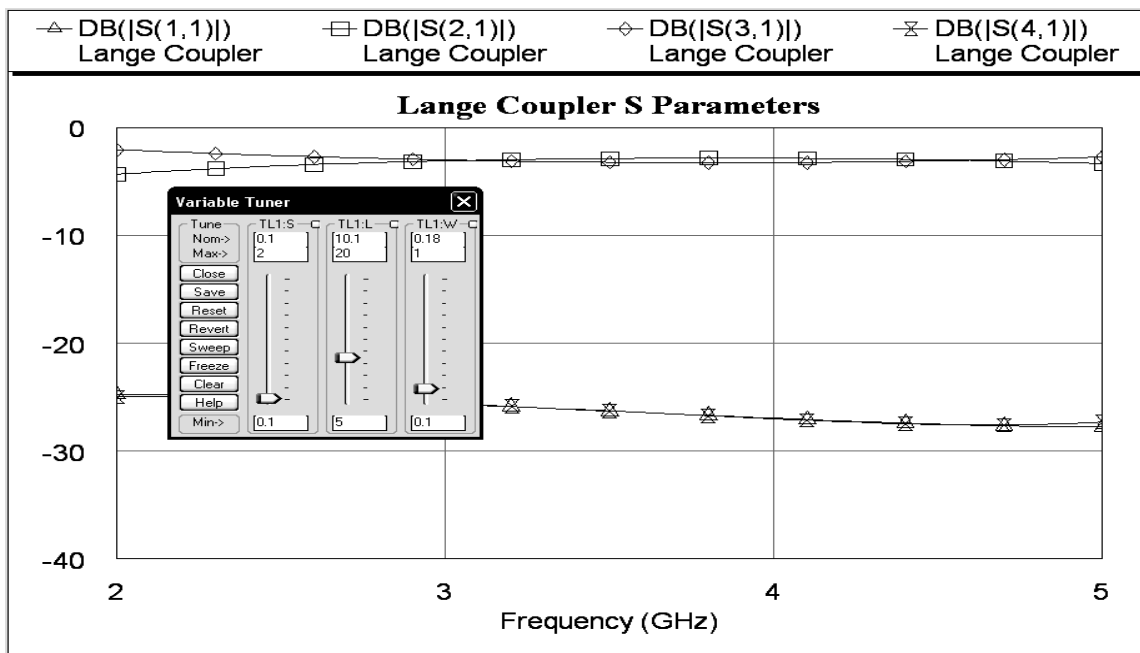


Рис. 3.35

### Создание эквивалентной схемы диода.

Создадим эквивалентную схему диода, учитывающую “паразитные” параметры корпуса диода в дополнение к SPICE модели диода.

1. Щёлкните по значку **New Schematic** на панели инструментов и создайте схему с именем **Diode**.
2. Откройте окно просмотра элементов, раскройте группу **Lumped Element** и щёлкните мышкой по подгруппе **Inductor**.
3. Перетащите элемент **IND** в окно схемы и щёлкните левой кнопкой мышки, чтобы закрепить его.
4. Два раза повторите п. 3, подключая элементы последовательно.
5. Раскройте группу **Nonlinear** и щёлкните мышкой по подгруппе **Diode**.
6. Перетащите элемент **SDIODE** в окно схемы, щёлкните правой кнопкой мышки, чтобы вернуть его, и подключите диод к точке между второй и третьей индуктивностями. Если дважды щёлкнуть мышкой по элементу **SDIODE** и затем в открывшемся окне щёлкнуть по кнопке **Show Secondary**, можно отредактировать параметры диода. Мы будем использовать параметры по умолчанию.
7. Щёлкните мышкой по любому элементу **IND**, чтобы выделить его. Щёлкните по значку **Copy** и затем по значку **Paste** на панели инструментов, переместите курсор в окно схемы, щёлкните правой кнопкой мышки, чтобы развернуть скопированный элемент, и подключите его к нижнему выводу диода.
8. Раскройте группу **Lumped Element** и щёлкните мышкой по подгруппе **Capacitor**.
9. Перетащите элемент **Cap** в окно схемы и поместите его над второй и третьей индуктивностями.
10. Снова перетащите элемент **Cap** в окно схемы, щёлкните правой кнопкой мышки, и подключите элемент к точке между первой и второй индуктивностями.
11. Повторите п. 10 и подключите элемент **Cap** к свободному выводу последней индуктивности.

- Установите курсор на левый вывод первого элемента **Cap** так, чтобы курсор отображался в виде соленоида, щёлкните левой кнопкой мышки и соедините этот вывод конденсатора с точкой между первой и второй индуктивностями. Аналогично соедините второй вывод этого конденсатора с правым выводом последней индуктивности.

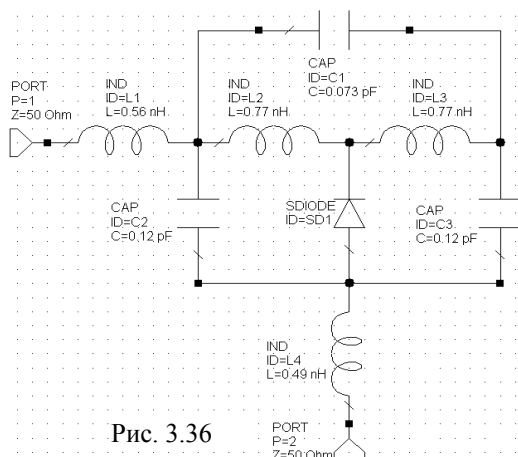


Рис. 3.36

- Таким же образом соедините проводом нижние выводы двух параллельных конденсаторов и диода.
- Щёлкните мышкой по значку **Port** на панели инструментов и подключите вход к левому выводу первой индуктивности. Затем подключите порт к свободному нижнему выводу последней индуктивности, предварительно развернув его на 90 градусов. Должна получиться схема, показанная на рис. 3.36.
- Дважды щёлкая по элементам индуктивностей и емкостей, отредактируйте их параметры, как показано на рис. 3.36.

### Создание схемы фильтра нижних частот.

- Щёлкните по значку **New Schematic** на панели инструментов и создайте схему с именем **LPF**.
- Откройте окно просмотра элементов, раскройте группу **Microstrip** и щёлкните мышкой по подгруппе **Lines**.
- Перетащите элемент **MLIN** в окно схемы и щёлкните левой кнопкой мышки, чтобы закрепить его.
- Раскройте группу **Lumped Element** и щёлкните мышкой по подгруппе **Inductor**.
- Перетащите элемент **IND** в окно схемы и подключите его к правому выводу элемента **MLIN**.
- Повторите п. 5 и подключите второй элемент **IND** к правому выводу первого элемента.
- Щёлкните мышкой по подгруппе **Capacitor**, перетащите элемент **CAP** в окно схемы и подключите этот элемент к правому выводу второго элемента **IND**.
- Перетащите второй элемент **CAP** в окно схемы, разверните его на 90 градусов, щёлкнув правой кнопкой мышки, и подключите к точке между элементами **MLIN** и **IND**.
- Щёлкните мышкой по значку **Copy** и затем по значку **Paste** на панели инструментов (последний вставленный элемент **CAP** должен быть выделен). Подключите скопированный элемент к точке соединения между двумя элементами **IND**.
- Поместите курсор на нижний узел ёмкости **C2** так, чтобы он отображался в виде соленоида, и щёлкните левой кнопкой мышки, чтобы зафиксировать начало провода. Переместите курсор к нижнему узлу ёмкости **C3** и щёлкните левой кнопкой мышки, чтобы зафиксировать провод.
- Щёлкните по значку **Ground** на панели инструментов, переместите курсор в окно схемы и подключите к проводу, соединяющему ёмкости **C2** и **C3**.
- Щёлкните по значку **Port** на панели инструментов, переместите курсор в окно схемы, подключите порт ко входу схемы и щёлкните левой кнопкой мышки, чтобы зафиксировать.
- Снова щёлкните по значку **Port** на панели инструментов, переместите курсор в окно схемы, щёлкните два раза правой кнопкой мышки, чтобы повернуть порт и подключите его к выходу схемы.
- Дважды щёлкая по элементам схемы, отредактируйте их параметры, как показано на рис. 3.37.

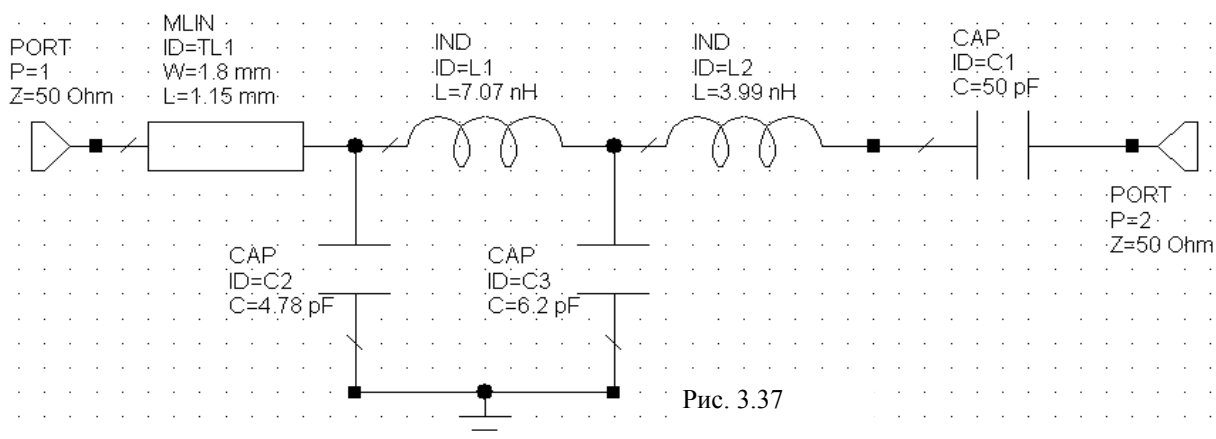


Рис. 3.37

## Создание графика и анализ фильтра нижних частот.

1. Откройте окно просмотра проекта, щёлкнув мышкой по кнопке **Project** в левой нижней части окна.
2. Щёлкните левой кнопкой мышки по значку **New Graphs** на панели инструментов и в открывшемся окне введите имя графика **LPF S Parameters**. Нажмите **OK**.
3. Щёлкните левой кнопкой мышки по значку **Add Measurement** на панели инструментов. Откроется диалоговое окно **Add Measurement**.
4. В окне списка **Meas. Type** отметьте **Linear>Port Parameters**, в окне списка **Measurement** отметьте **S**. в поле ввода **Data Source Name** введите **LPF**, в поле ввода **To Port Index** введите **2**, в поле ввода **From Port Index** введите **1**, щёлкните левой кнопкой мышки по переключателям **dB** и **Mag**, нажмите **Apply**.

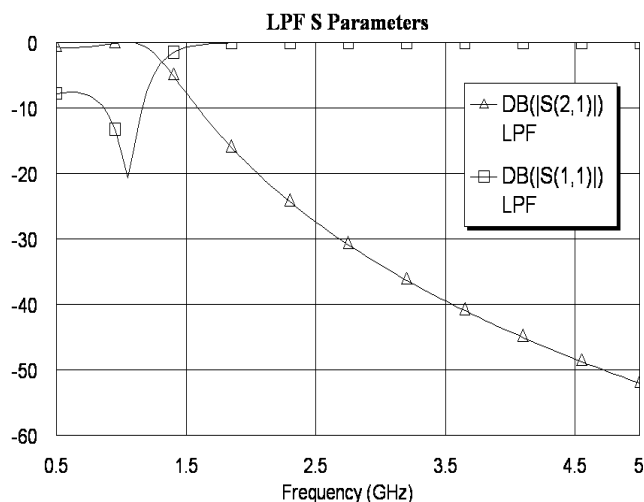


Рис. 3.38

5. Введите **1** в поля ввода **To Port Index** и **From Port Index**, нажмите **Apply**.
6. Нажмите **OK**.
7. Щёлкните правой кнопкой мышки по имени схемы **LPF** в группе **Circuit Schematics** в левом окне просмотра проекта и выберите **Options**.
8. В открывшемся окне опций на вкладке **Frequencies** снимите “галочку” в **Use project defaults**, в поле **Start (GHz)** введите **0.5**, в поле **Stop (GHz)** введите **5**, в поле **Step (GHz)** введите **0.05**, отметьте **Replace**, нажмите **Apply** и **OK**.
9. Щёлкните левой кнопкой мышки по значку **Analyze** на панели инструментов. Полученный график показан на рис. 3. 38.

## Создание схемы смесителя.

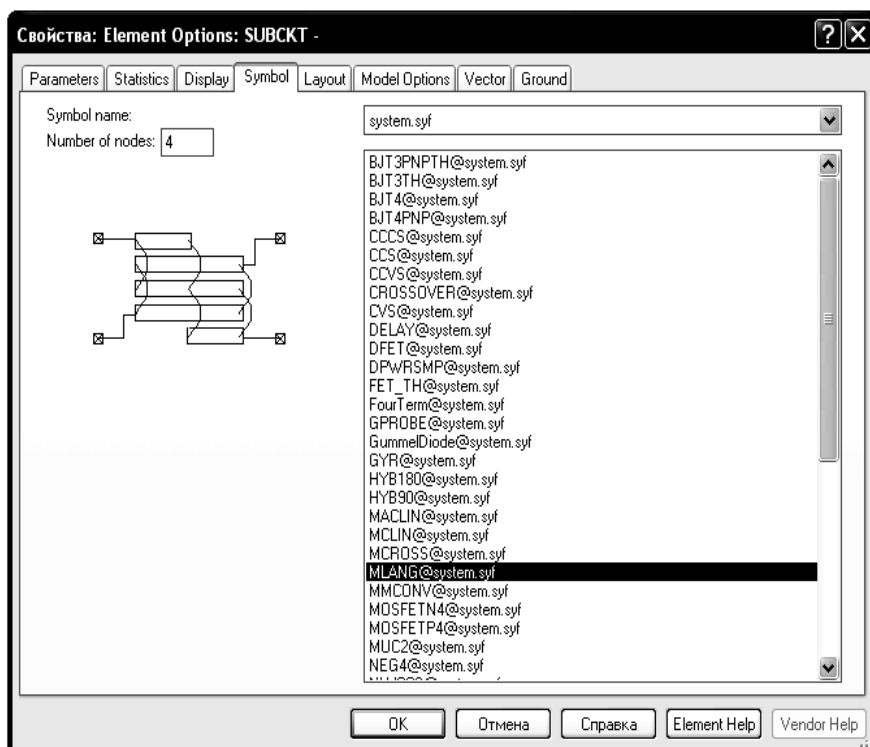


Рис. 3.39

Можно изменить вид подсхемы, чтобы он был более наглядным. Для этого дважды щёлкните по элементу **Lange Coupler** в окне схемы и в открывшемся окне свойств элемента откройте вкладку **Symbol**. В правой верхней строке ввода отметьте **all** или **system.syf**. В правом окне списка символов отметьте **MLANG@system.syf** (рис. 3.39) и нажмите **OK**.

При создании схемы смесителя, созданные ранее схемы будем использовать в качестве подсхем.

1. Щёлкните по значку **New Schematic** на панели инструментов и создайте схему с именем **Diode Mixer**.
2. Откройте окно просмотра элементов и щёлкните мышкой по **Subcircuits** (Подсхемы).
3. Перетащите в окно схемы элемент **Lange Coupler**. По умолчанию все подсхемы отображаются в виде прямоугольника.

4. Щёлкните по элементу ответвителя Ланге правой кнопкой мышки, выберите **Rotate** и поверните элемент на 90 градусов против часовой стрелке.

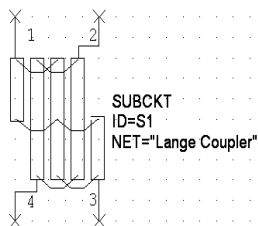


Рис. 3.40

5. Снова щёлкните по элементу ответвителя Ланге правой кнопкой мышки, выберите **Flip** и, вращая мышкой против часовой стрелки, создайте зеркальное отображение элемента. Элемент должен выглядеть, как показано на рис. 3.40.

6. Раскройте группу **Lumped Element** и отметьте **Capacitor**. Перетащите элемент **CAP** в окно схемы и подключите его к плечу 3 ответвителя Ланге.

7. Дважды щёлкните мышкой по элементу **CAP** и введите **C=1.85 pF**. Нажмите **OK**.

8. Щёлкните по значку **Copy** и затем по значку **Paste** на панели инструментов (элемент **CAP** должен быть выделен). Подключите скопированный элемент к плечу 2 ответвителя Ланге.

9. Перетащите в окно схемы элемент **Diode** из группы **Subcircuits** в окне просмотра элементов и поместите его на свободном месте.

10. Дважды щёлкните по элементу **Diode** и в открывшемся окне свойств элементов откройте вкладку **Symbol**. В правой верхней строке ввода отметьте **all** или **system.syf**. В правом окне списка символов отметьте **Diode@system.syf** и нажмите **OK**. Подключите диод к свободному правому выводу верхнего конденсатора **CAP**.

11. Щёлкните по значку **Copy** и затем по значку **Paste** на панели инструментов (элемент диода должен быть выделен). Два раза щёлкните правой кнопкой мышки, чтобы развернуть скопированный элемент на 180 градусов, и подключите его к свободному правому выводу нижнего конденсатора **CAP**.

12. В окне просмотра элементов раскройте группу **Lumped Element** и отметьте **Inductor**. Перетащите элемент **Ind** в окно схемы и, щёлкнув правой кнопкой мышки, чтобы развернуть элемент, подключите его к точке между конденсатором и диодом в нижней цепи смесителя.

13. Дважды щёлкните мышкой по элементу **Ind** и в окне свойств элемента введите **1.66 nH**.

14. Скопируйте элемент **Ind** и подключите его к точке между конденсатором и диодом в верхней цепи смесителя, предварительно развернув на 180 градусов.

15. Щёлкните по значку **Ground** на панели инструментов и подключите землю к свободному нижнему выводу нижней индуктивности. Аналогично подключите землю к свободному верхнему выводу верхней индуктивности, предварительно два раза щёлкнув правой кнопкой мышки.

16. Установите курсор на свободный правый вывод диода так, чтобы курсор отображался в виде соленоида, щёлкните левой кнопкой мышки, переместите курсор к правому выводу нижнего диода и снова щёлкните мышкой.

17. Щёлкните мышкой по группе **Subcircuits** в окне просмотра элементов. Перетащите элемент **LPF** в окно схемы и подключите его к середине провода, соединяющего диоды.

18. В окне просмотра элементов раскройте группу **Ports** и отметьте **Harmonic Balance**. Перетащите порт **PORTF** в окно схемы и подключите его к плечу 1 ответвителя Ланге.

19. Перетащите порт **PORT\_PS1** в окно схемы и подключите его к плечу 4 ответвителя Ланге.

20. Щёлкните по значку **PORT** на панели инструментов, разверните его на 180 градусов и подключите его к выходу схемы.

21. При желании вы можете дополнить схему поясняющим текстом. Выберите в меню **Draw>Text**, переместите курсор в окно схемы, где вы собираетесь поместить текст, и щёлкните мышкой. В образовавшемся поле ввода введите нужный текст и затем щёлкните мышкой вне поля ввода. Щёлкнув правой кнопкой по введённому тексту и выбрав **Properties**, вы можете изменить тип шрифта и его высоту. Обратите внимание, здесь можно использовать русские буквы.

Схема балансного смесителя:

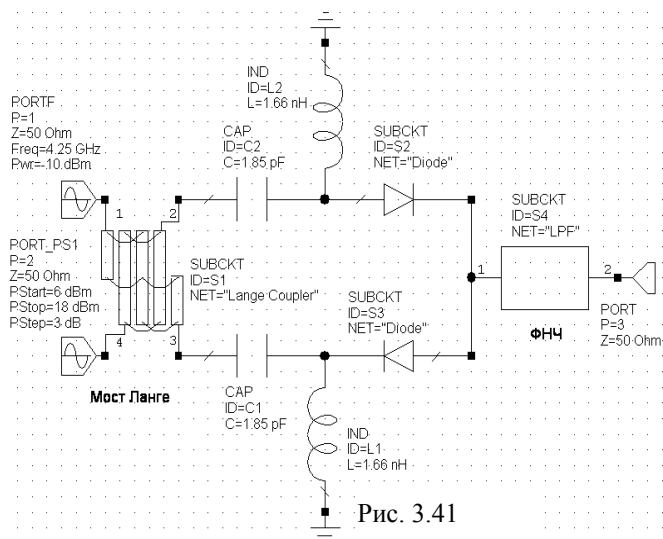


Рис. 3.41

22. Дважды щёлкните по порту **PORTF** и в открывшемся окне свойств введите **Freq=4.25 GHz** (частота сигнала), **Pwr=-10 dBm**. Нажмите **OK**.

23. Дважды щёлкните по порту **PORT\_PS1** и в открывшемся окне свойств введите **PStart=6 dBm**, **PStop=18 dBm**, **PStep=3 dB** (мощность гетеродина). Нажмите **OK**.

Должна получиться схема, показанная на рис. 3.41.

Откройте окно просмотра проекта, щёлкните правой кнопкой мышки по имени созданной схемы **Diode Mixer** и выберите **Options**. В открывшемся окне опций схемы на вкладке **Frequencies** снимите “галочку” в **Use project defaults**, отметьте **Replace** (Заменить) и **Single point** (Одна точка). В поле **Point (GHz)** введите **3.75** (частота гетеродина), нажмите **Apply** и **OK**.

### Создание графика потерь преобразования.

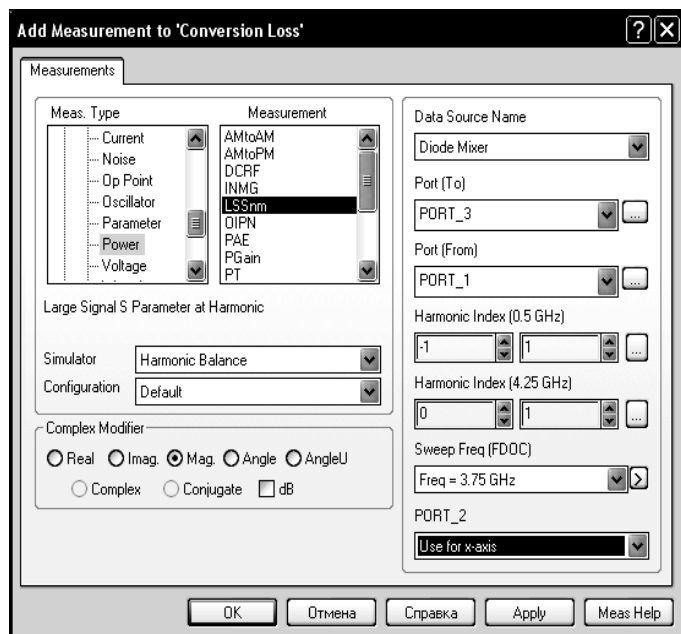


Рис. 3.42

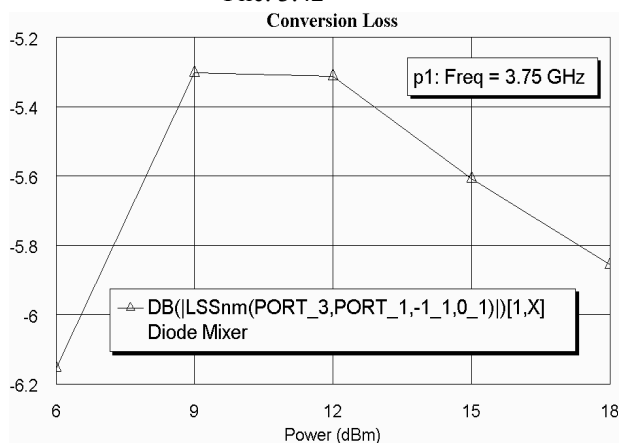


Рис. 3.43

### Создание графика изменения выходного напряжения промежуточной частоты во времени.

- Щёлкните левой кнопкой мышки по значку **New Graph** на панели инструментов и создайте график с именем **Mixer IF Output Voltage**.
- Щёлкните левой кнопкой мышки по значку **Add Measurement** на панели инструментов.

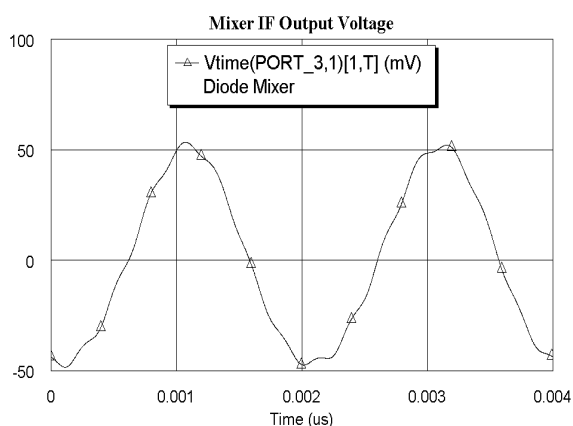


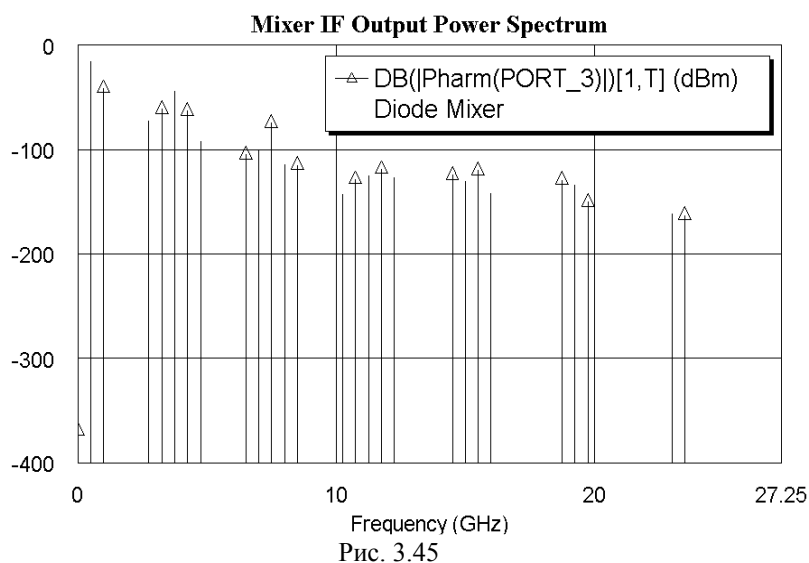
Рис. 3.44

- Откройте окно просмотра проекта, щёлкнув мышкой по кнопке **Project** в нижнем углу левого окна.
- Щёлкните левой кнопкой мышки по значку **New Graph** на панели инструментов и создайте график с именем **Conversion Loss**.
- Щёлкните левой кнопкой мышки по значку **Add Measurement** на панели инструментов. Откроется диалоговое окно **Add Measurement** (Рис.3.42).
- В окне списка **Meas. Type** отметьте **Nonlinear>Power**, в окне списка **Measurement** отметьте **LSSnm**, в поле ввода **Data Source Name** введите **Diode Mixer**, в поле ввода **Port (To)** введите **PORT\_3**, в поле ввода **Port (From)** введите **PORT\_1**, в верхних полях **Harmonic Index** введите **-1** и **1**, в нижних полях **Harmonic Index** введите **0** и **1**, щёлкая по стрелкам справа от этих полей, в поле ввода **Sweep Freq (FDOC)** введите **Freq=3.75 GHz**, в поле **PORT\_2** введите **Use for x-axis**, щёлкните левой кнопкой мышки по переключателям **dB** и **Mag**, нажмите **Apply** и **OK**.
- Щёлкните левой кнопкой мышки по значку **Analyze** на панели инструментов. Рассчитанный график показан на рис. 3.43.



- Щёлкнув по значку **Tune** на панели инструментов и двигая движок переменной **Pwr** на блоке настройки, вы можете наблюдать изменение выходного напряжения в зависимости от мощности входного сигнала **Pwr**.

### Спектральный анализ.



- Щёлкните левой кнопкой мышки по значку **New Graph** на панели инструментов и создайте прямоугольный график с именем **Mixer IF Output Power Spectrum**.
- В окне списка **Meas. Type** отметьте **Nonlinear>Power**, в окне списка **Measurement** отметьте **Pharm**, в поле ввода **Data Source Name** введите **Diode Mixer**, в поле ввода **Measurement Component** введите **PORT\_3**, в поле ввода **Sweep Freq (FDOC)** введите

**Freq=3.75 GHz**, в поле **PORT\_2** введите **Select with tuner**, отметьте **Mag** и **dBm**, нажмите **Apply** и **OK**.

- Щёлкните левой кнопкой мышки по значку **Analyze** на панели инструментов. Рассчитанный график показан на рис. 3.45.
- Щёлкнув по значку **Tune** на панели инструментов и двигая движок переменной **Pwr** на блоке настройки, вы можете наблюдать изменение спектра в зависимости от мощности входного сигнала **Pwr**.

## 4. Создание топологии схемы

В Microwave Office для создания топологии схемы используется эффективный объектно-ориентированный метод программирования. При этом топология тесно связана со схемой и электромагнитными структурами. Топология – это фактически другое представление схемного решения и любые модификации, которые делаются в схеме, автоматически и немедленно отображаются и в соответствующей её топологии и наоборот. Это исключает необходимость в сложной синхронизации соответствия схемы и её топологии перед моделированием.

В Microwave Office имеется много возможностей, которые позволяют создавать сложные топологии, типа монолитных СВЧ микросхем (МММС) и различных типов многослойных структур. Приводимый здесь пример показывает некоторые основные возможности создания топологии.

Создание топологии в Microwave Office включает следующие основные шаги:

- o Импортирование файла обработки слоя (\*.lpf);
- o Редактирование базовой единицы измерения и размера сетки по умолчанию;
- o Импортирование библиотеки элементов топологии;
- o Импортирование и размещение файла данных в схемном решении;
- o Замена изображения схемного элемента в схеме;
- o Размещение микрополосковых проводников в топологии;
- o Назначение элемента топологии элементу схемы;
- o Просмотр топологии;
- o Закрепление элемента топологии;
- o Создание элемента топологии;
- o Управление элементом MTRACE2 (элемент, которым можно чертить изогнутые проводники, например, меандровую линию) в топологии;
- o Экспортирование топологии.

### Создание нового проекта.

Чтобы создать новый проект:

1. Выберите в меню **File>New Project** (Файл>Новый проект).
2. Выберите в меню **File>Save Project As** (Файл>Сохранить проект как). Откроется диалоговое окно **Save As**.
3. Наберите имя проекта (например, **Layout**) и нажмите **Сохранить**.

### Определение глобальных единиц измерения в проекте.

Выберите в меню **Options>Project Options** и в открывшемся окне для частоты введите единицу измерения **GHz**, снимите отметку в **Metric units** и в поле **Length type** введите **mil**. Нажмите **OK**.

### Импортирование файла слоя.

Файл слоя (LPF) определяет установки по умолчанию для представления топологии, включая рисунок слоёв, отображение, 3-х мерное изображение и отображение электромагнитных структур. Чтобы импортировать файл \*.lpf:

1. Щёлкните левой кнопкой мышки по панели **Layout** (Топология) в нижней части левого окна, чтобы открыть менеджер топологии (Layout Manager).

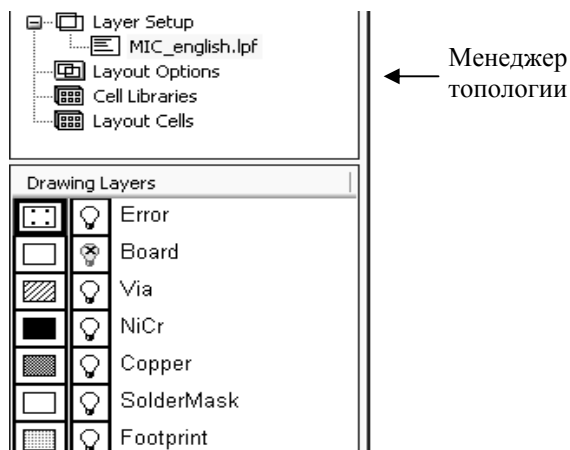


Рис. 4.1

2. Правой кнопкой мышки щёлкните по **Layer Setup** (Установка слоя) в менеджере топологии и выберите **Import Process Definition** (Импорт процесса определения). Откроется диалоговое окно **Import Process Definition**.

3. Найдите папку **...\\AWR\\AWR2007** и дважды щёлкните по ней левой кнопкой мышки, чтобы открыть папку.

4. Выделите файл **MIC\_english.lpf** и нажмите **Открыть**. Окно менеджера топологии будет выглядеть, как показано на рис. 4.1. Слои в нижней части окна менеджера топологии отображаются в том случае, если на рабочем поле открыто окно схемы.

## Редактирование базовой единицы измерения и размера сетки по умолчанию.

Базовые единицы измерения являются минимальными единицами измерения, определяющими точность топологии. Установленное значение базовых единиц измерения в дальнейшем не должно изменяться в процессе работы над проектом. Их изменение может вызвать погрешности округления, что может вызвать проблемы в файле топологии.

Размер сетки важен потому, что размеры многих элементов топологии должны быть кратны размерам сетки. Размер сетки должен быть равен или больше базовых единиц измерения. При создании топологии схемы вы можете изменять размер сетки, увеличивая или уменьшая его до 10 раз, вводя соответствующий множитель на панели инструментов при открытом окне топологии схемы. Поэтому размер

сетки нужно устанавливать в 10 раз больше базовых единиц измерения, чтобы не допустить наличие более мелкой сетки, чем базовые единицы измерения.

Чтобы установить базовые единицы измерения и размер сетки:

1. Выберите в меню **Options>Layout Options** или дважды щёлкните левой кнопкой мышки по **Layout Options** в окне менеджера топологии.
2. В открывшемся окне опций топологии на вкладке **Layout** (рис. 4.2) в поле **Grid spacing** (Интервал сетки) введите **0.1 mil**, в поле **Database unit size** (Размер базовой единицы измерения) введите **0.01 mil**. Нажмите **OK**.

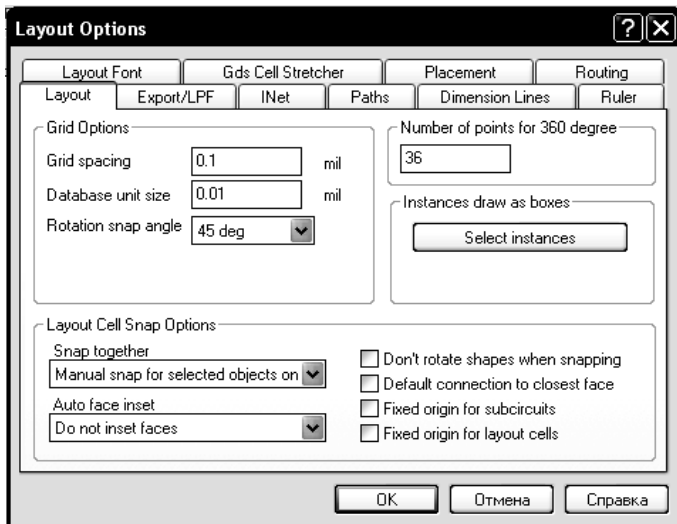


Рис. 4.2

## Импортирование библиотеки элементов GDSII.

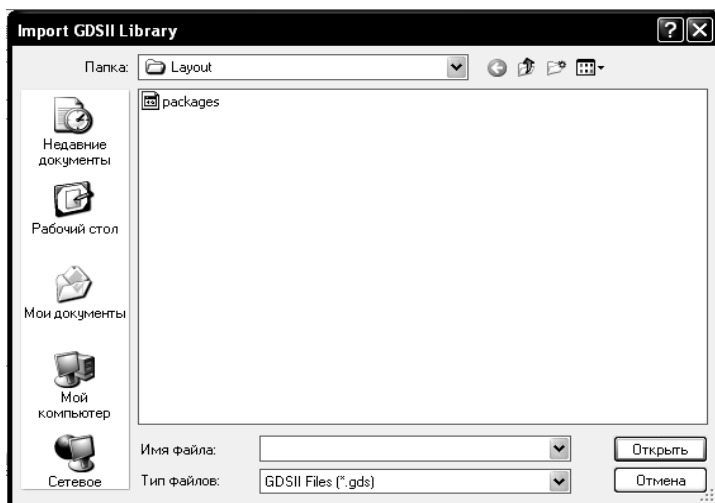


Рис. 4.3

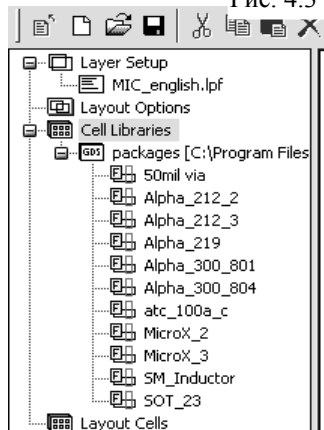


Рис. 4.4

Библиотеки элементов используются в Microwave Office, чтобы обеспечивать создание, как многослойных физических структур, так и полосков печатных плат или обработки гибридных устройств, а так же для стандартных графических работ, используемых при обработке монолитных СВЧ микросхем (MMIC) и высокочастотных интегральных схемах (RFIC). Microwave Office поддерживает формат файлов GDSII для чертежей.

Чтобы импортировать библиотеку элементов GDSII:

1. Правой кнопкой мышки щёлкните по **Cell Libraries** (Библиотеки элементов) в менеджере топологии и выберите **Import GDSII Library** (Импортировать библиотеку GDSII). Откроется диалоговое окно **Import GDSII Library** (Рис. 4.3).
2. Откройте папку `... \AWR\MWO2007\Examples \Microwave Office \Getting_Started\Layout` и дважды щёлкните левой кнопкой мышки по файлу **packages.gds**, чтобы импортировать этот файл.
3. Откроется окно **Warning: Different Database Unit** (Предупреждение: Модуль различной базы данных). В этом окне сообщается, что некоторые пункты в этой библиотеке будут сокращены в текущем модуле базы данных при выполнении чертежа или сохранении в файле и перечисляются элементы из базы данных. Нажмите **OK**. Импортированная библиотека будет отображена в окне менеджера топологии, как показано на рис. 4.4.

## Импортирование файла данных.

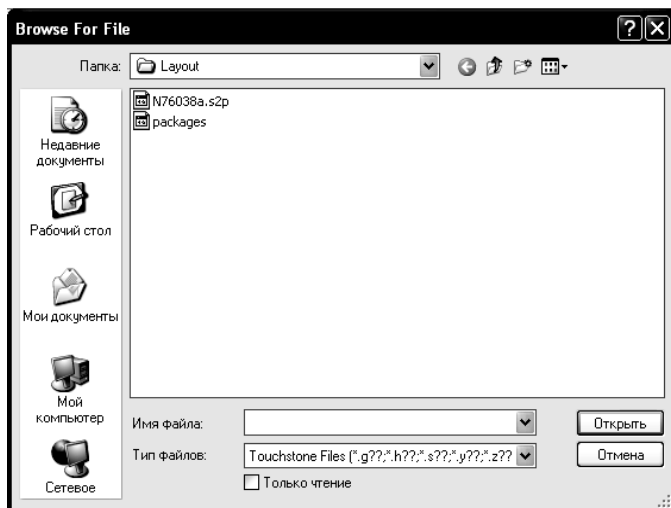


Рис. 4.5

## Создание схемы.

Чтобы создать схему:

1. Правой кнопкой мышки щёлкните по группе **Circuit Schematics** в окне просмотра проекта и выберите **New Schematic** или щёлкните по значку **New Schematic** на панели инструментов. Откроется диалоговое окно **Create New Schematic** (Создать новую схему).
2. Введите **qs layout** и нажмите **OK**.

## Размещение файла данных в схеме и добавление точки заземления.

Как только вы импортировали файл данных, он появляется как элемент подсхемы в группе **Subcircuits** в окне просмотра элементов, как показано на рис. 4.6. Теперь вы можете файл данных вставить в качестве подсхемы в любую схему, создаваемую в проекте.

По умолчанию подсхемам присваивается символ прямоугольника, который имеет столько узлов, сколько имеется портов в исходной схеме. В нашем случае подсхема файла данных, который представляет собой S-параметры транзистора, имеет только два узла, хотя для транзистора их должно быть три. Для подобных случаев Microwave Office предоставляет возможность добавить третий узел, который назван **Explicit ground node** (Явный узел земли). Т.е. нам нужно вставить в схему элемент подсхемы **N76038a** с добавленным третьим узлом. Сделать это можно двумя способами.

Чтобы поместить файл данных в схему:

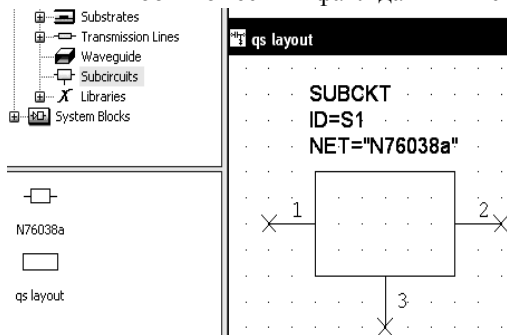


Рис. 4.6

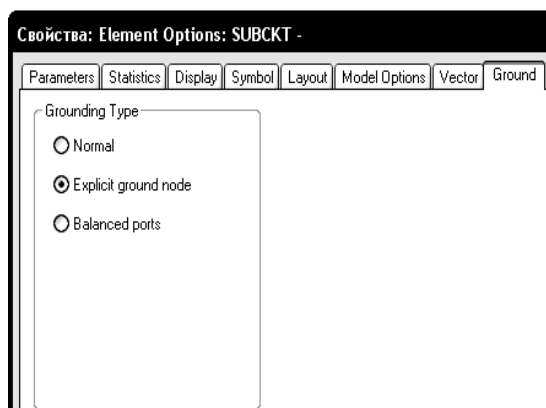



Рис. 4.7

Чтобы импортировать файл данных:

1. Щёлкните мышкой по п **Project** в нижней части левого окна.
2. Правой кнопкой мышки щёлкните по группе **Data Files** в окне просмотра проекта и выберите **Import Data File**. Откроется диалоговое окно **Browse For File** (Рис. 4.5).
3. Откройте папку `... \AWR\MWO2007\Examples\ Microwave Office\Getting_Started\ Layout` и дважды щёлкните по файлу **N76038a.s2p**, чтобы импортировать его.

1. Щёлкните мышкой по панели **Elements** в нижней части левого окна, чтобы открыть окно просмотра элементов.
2. Щёлкните левой кнопкой мышки по группе **Subcircuit** (Подсхемы). Модели подсхем отображаются в нижней части левого окна.
3. Нажмите левой кнопкой мышки на модель **N76038a** и, не отпуская кнопки мышки, перетащите её в окно схемы, отпустите кнопку мышки, поместите элемент в окне схемы и щёлкните левой кнопкой мышки, чтобы его зафиксировать.
4. В окне схемы дважды щёлкните мышкой по вставленному элементу **N76038a**.
5. В открывшемся окне свойств элемента откройте вкладку **Ground** (рис. 4.7). В области **Grounding Type** отметьте **Explicit ground node** и нажмите **OK**. Элемент подсхемы будет выглядеть, как показано на рис. 4.6.

Второй способ, возможно, более удобный, заключается в следующем:

1. Щёлкните левой кнопкой мышки по значку **SUB**  на панели инструментов.

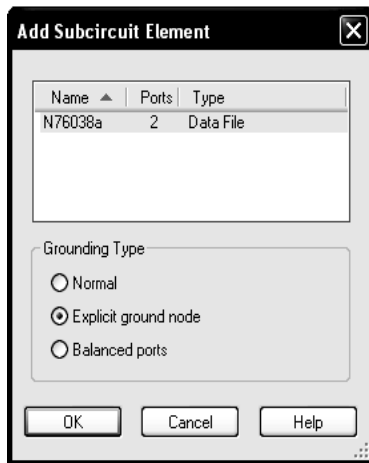


Рис. 4.8

- Откроется окно **Add Subcircuit Element** со списком всех имеющихся в проекте подсхем (рис. 4.8).
- Отметьте **N76038a** в списке подсхем, затем отметьте **Explicit ground node** и нажмите **OK**. Результат будет таким же, как показано на рис. 4.6.

### Замена символа элемента.

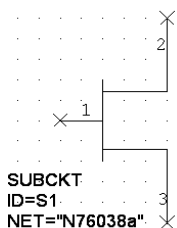


Рис. 4.9

Символ подсхемы может быть изменён на FET, чтобы можно было видеть, какие узлы соответствуют затвору, стоку и истоку. Чтобы изменить символ:

- Дважды щёлкните левой кнопкой мышки по элементу подсхемы в окне схемы. Откроется диалоговое окно **Element Options**.
  - В открывшемся окне опций элемента откройте вкладку **Symbol**.
3. В верхней строке ввода типов символов введите **all** (все) или **system.syf**, щёлкнув по кнопке в правом конце этой строки. В расположенном ниже списке символов выделите **FET@system.syf** и нажмите **OK**. Результат показан на рис. 4.9.

### Размещение микрополосковых элементов в схеме для топологии.

Микрополосковые элементы имеют по умолчанию соответствующие им элементы топологии. Элементам топологии автоматически присваиваются параметры и размеры в соответствии со значениями, определёнными для каждого параметра.

Чтобы разместить микрополосковые элементы:

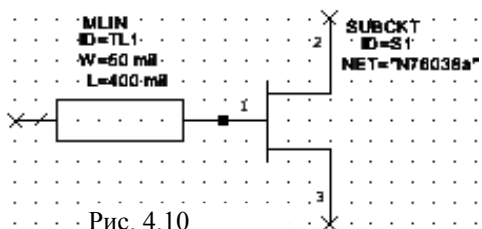


Рис. 4.10

- Дважды щёлкните левой кнопкой мышки по подгруппе **Microstrip** в окне просмотра элементов.
- Щёлкните левой кнопкой мышки по подгруппе **Lines**. Модели линий отображаются в нижней части левого окна.
- Нажмите левой кнопкой мышки на модель **MLIN** и, не отпуская кнопки мышки, перетащите элемент в окно схемы, отпустите кнопку, поместите элемент на узел **1** подсхемы **N76038a** и щёлкните левой

кнопкой мышки, чтобы зафиксировать его (Рис.4.10).

- Теперь щёлкните левой кнопкой мышки по подгруппе **Junction** (Сочленения) в группе **Microstrip** в окне просмотра элементов. Модели сочленений отображаются в нижней части левого окна.

**Примечание.** Элементы, имеющие на конце имени \$, наследуют параметры от других элементов, с которыми они соединяются. Элементы, имеющие на конце имени X, созданы электромагнитным моделированием с параметрами, сведёнными в таблицу. Например, MTEEX\$ – это T – сочленение в микрополосковой линии, созданное электромагнитным моделированием, которое наследует ширину полосок от линий, с которыми оно соединяется.

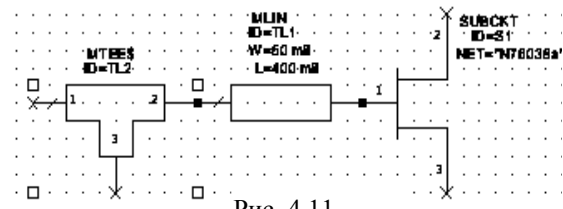


Рис. 4.11

- Нажмите левой кнопкой мышки на модель **MTEES** и, не отпуская кнопки мышки, перетащите элемент в окно схемы, отпустите кнопку, поместите элемент так, чтобы соединить его с левым узлом элемента **MLIN**, как показано на рис. 4.11 и щёлкните левой кнопкой мышки, чтобы зафиксировать его.

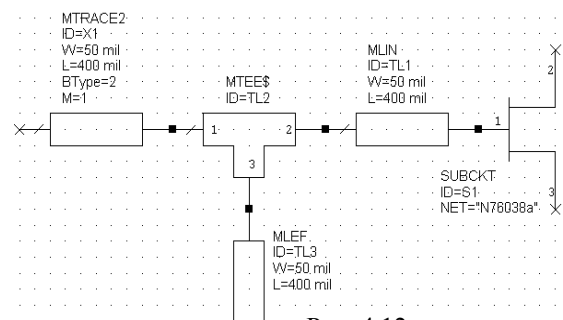


Рис. 4.12

- Щёлкните левой кнопкой мышки по подгруппе **Lines**, перетащите элемент **MTRACE2** в окно схемы и соедините его с узлом **1** элемента **MTEES** и щёлкните левой кнопкой мышки, чтобы зафиксировать элемент.
- Перетащите элемент **MLEF** в окно схемы, щёлкните три раза правой кнопкой мышки, чтобы повернуть элемент, поместите его на узел **3** элемента **MTEES** и щёлкните левой кнопкой мышки, чтобы зафиксировать (рис. 4.12).

- Дважды щёлкните левой кнопкой мышки по элементу **MTRACE2** в окне схемы, чтобы открыть диалоговое окно **Element Options**. Введите следующие параметры: **W=10 mil**, **L=200 mil**, **BType=2** и **M=0.6**. Нажмите **OK**.
- Дважды щёлкните мышкой по элементу **MLIN**, затем по элементу **MLEF**, и отредактируйте их параметры следующим образом. Для элемента **MLIN** введите **W=10 mil**, **L=100 mil**. Для элемента **MLEF** введите **W=20 mil**, **L=150 mil**.

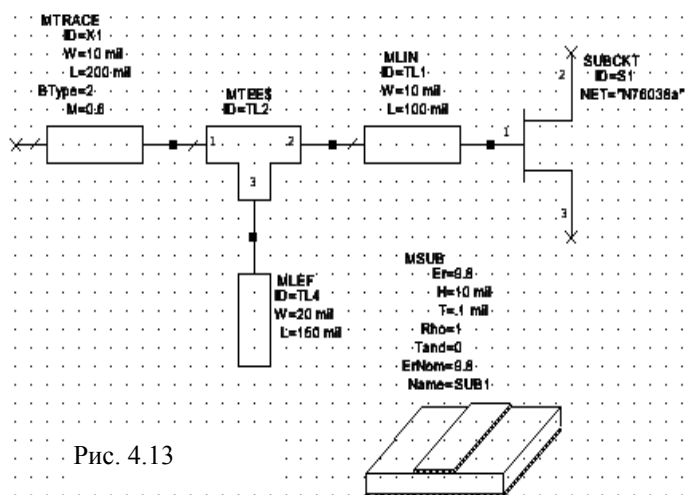


Рис. 4.13

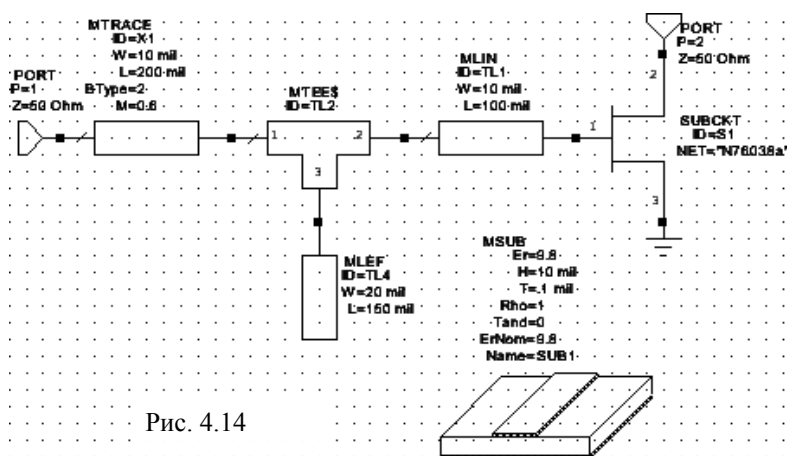


Рис. 4.14

- Port** на панели инструментов, переместите курсор в окно схемы, поместите порт на левом узле элемента **MTRACE**, как показано на рис. 4.14 и щёлкните левой кнопкой мышки, чтобы зафиксировать.
- Снова щёлкните левой кнопкой мышки по значку **Port** на панели инструментов, переместите курсор в окно схемы, щёлкните три раза правой кнопкой мышки, чтобы развернуть порт, поместите его на узле **2** элемента **SUBCKT** и щёлкните левой кнопкой мышки, чтобы зафиксировать.
  - Чтобы закончить схему, щёлкните левой кнопкой мышки по значку **Ground** на панели инструментов, переместите курсор в окно схемы, поместите землю на узле **3** элемента **SUBCKT** и щёлкните левой кнопкой мышки, чтобы зафиксировать (Рис. 4.14).

## Назначение топологического чертежа ячейки элементу схемы.

Элементу схемы может быть поставлен в соответствие топологический чертёж ячейки. Чтобы сделать это:

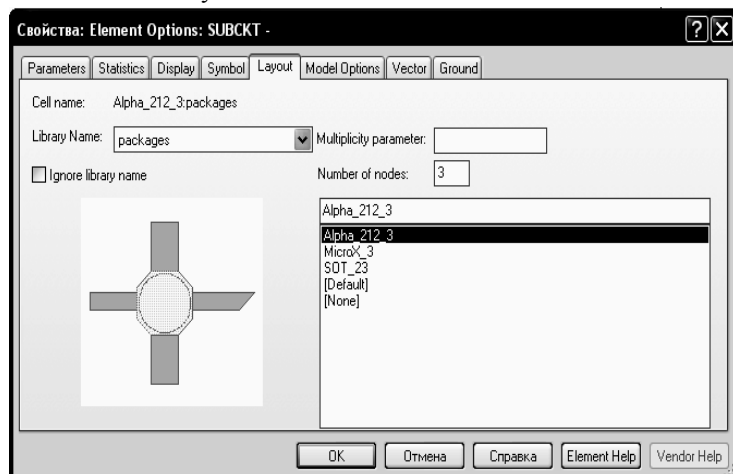



Рис. 4.15

- Щёлкните левой кнопкой мышки по подгруппе **Substrates** (Подложки) в окне просмотра элементов. Модели подложек отображаются в нижней части левого окна.
- Нажмите левой кнопкой мышки на модель **MSUB** и, не отпуская кнопки мышки, перетащите элемент в окно схемы, отпустите кнопку, поместите элемент, как показано на рис. 4.13 и щёлкните левой кнопкой мышки, чтобы зафиксировать.
- Дважды щёлкните левой кнопкой мышки по элементу **MSUB** в окне схемы, чтобы открыть диалоговое окно **Element Options**. Введите **Er=9.8**, **H=10 mil**, **T=0.1 mil**, **Rho=1**, **Tand=0** и **ErNom=9.8**. Нажмите **OK**.
- Щёлкните левой кнопкой мышки по значку

- Дважды щёлкните по элементу **N76038a** в окне схемы, чтобы открыть диалоговое окно **Element Options**.
- Откройте вкладку **Layout** этого окна.
- В поле ввода **Library Name** введите **packages**, щёлкнув мышкой по кнопке в правом конце этого поля, и в списке топологических ячеек отметьте **Alpha\_212\_3**. Нажмите **OK**.

## Просмотр топологии.

Чтобы просмотреть топологию:

1. При активном окне схемы выберите в меню **View>New Layout View** или щёлкните левой кнопкой мышки по значку **New Schematic View Layout**  на панели инструментов. Топология будет показана в окне топологии на рабочем поле. Она может отображаться в

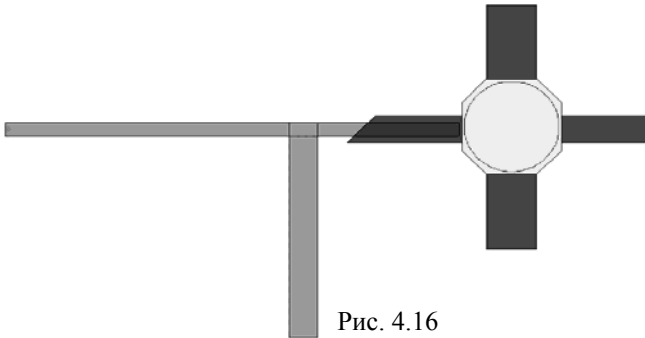



Рис. 4.16

беспорядочном виде, где правильные соединения отдельных топологических элементов показаны красными линиями.

2. Установите курсор мышки левее и выше топологии, нажмите левую кнопку мышки и, не отпуская кнопки, переместите курсор правее и ниже топологии так, чтобы вся топология попала в образовавшийся прямоугольник. Или выберите в меню **Edit>Select All**. Вся топология

должна быть выделена.

3. Выберите в меню **Edit>Snap Together** (Редактировать>Связать вместе) или щёлкните по значку **Snap Together** , чтобы связать вместе все элементы топологии и тем самым упорядочить топологию. Созданная топология показана на рис. 4.16.

## Закрепление элемента топологии.

Элементы топологии обладают определёнными свойствами, которые определяют, каким образом каждый элемент топологии соединяется с другими элементами при упорядочении топологии. Одним из таких свойств является возможность закрепить элемент топологии на установленном месте. Причём возможны два варианта такого закрепления: **Anchor** (Прикрепить) и **Freeze** (Зафиксировать). Если использовать закрепление **Anchor**, то при любых изменениях в расположении элементов в схеме или

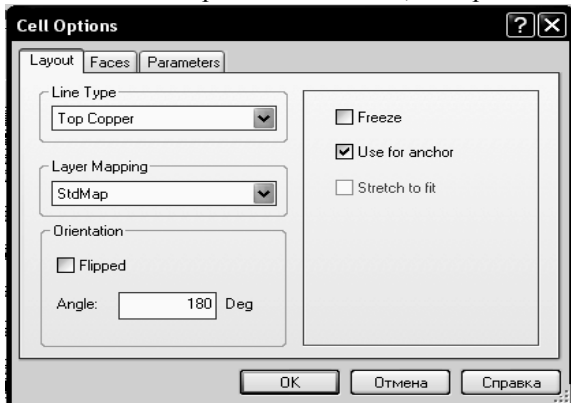


Рис. 4.17

изменении их параметров с последующим редактированием топологии командой **Snap Together**, чтобы снова соединить вместе изменённое расположение соответствующих элементов топологии, то закреплённые элементы будут оставаться на прежнем месте. Все остальные элементы топологии будут “подгоняться” под закреплённые элементы. Однако закреплённый этим способом элемент топологии можно перемещать мышкой или координатным вводом. Если же элемент топологии закрепить командой **Freeze**, то такой элемент нельзя переместить никаким способом.

Чтобы закрепить элемент топологии:

1. В окне топологии схемы щёлкните левой кнопкой мышки по топологическому элементу **Alpha\_212\_3**, чтобы выделить его. Затем щёлкните по этому элементу правой кнопкой мышки и выберите **Shape Properties** (Свойства формы). Откроется диалоговое окно **Cell Options** (рис. 4.17).

2. На вкладке **Layout** этого окна отметьте **Use for Anchor** и нажмите **OK**.

Элемент топологии теперь закреплён и отображается в топологии с символом

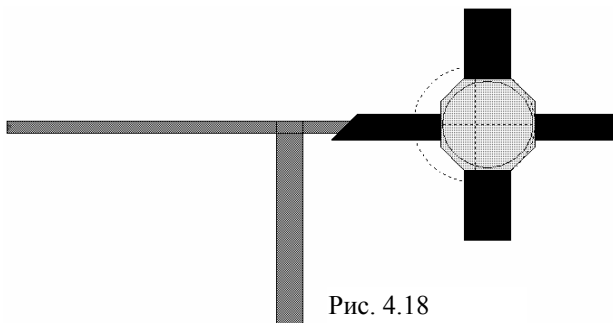


Рис. 4.18

закрепления, как показано на рис. 4.18.

## Черчение топологического чертежа элемента топологии.

Чтобы создать топологический чертёж элемента топологии:

1. Щёлкните левой кнопкой мышки по панели **Layout** в нижней части левого окна, чтобы активизировать менеджер топологии.
2. Щёлкните правой кнопкой мышки по подгруппе **packages** (многослойные структуры) в группе **Cell Libraries** (Библиотеки элементов) и выберите **New Layout Cell** (Новый элемент

топологии) во всплывающем меню. Откроется диалоговое окно **Create New Layout Cell** (Создание нового элемента топологии).

- Введите **chip cap** (чип конденсатора) в поле **Enter the name of the cell** (Ввод имени элемента) и нажмите **OK**. На рабочем поле откроется окно для черчения.

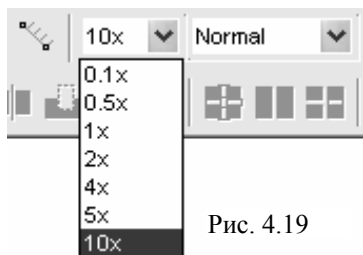


Рис. 4.19

- Щёлкните мышкой по кнопке в правом конце поля ввода **Grid Spacing** на панели инструментов и введите в это поле множитель **10x** (рис. 4.19). Этот множитель определяет размер клеток сетки. По умолчанию при выбранной системе единиц измерения длины он равен 0.1 mil. Множитель 10x увеличивает размер клеток сетки в 10 раз, т.е. он будет равен 1 mil. Если этого поля на панели инструментов нет, щёлкните правой кнопкой мышки по панели инструментов и

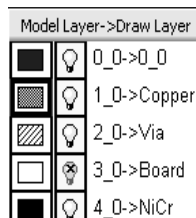


Рис. 4.20

- отметьте **Cell Edit**.
- Щёлкните левой кнопкой мышки по квадрату **0->Copper** (Медь) в нижней части окна менеджера, чтобы назначить медь для активного слоя, как показано на рис. 4.20 (не щёлкайте по лампочке, т.к. такой щелчок определяет слой для показа или скрытия).
- Щёлкните левой кнопкой мышки по окну черчения на рабочем поле, чтобы сделать его активным.
- Выберите в меню **Draw>Rectangle** (Чертить>Прямоугольник) или щёлкните по значку **Rectangle** на панели инструментов.

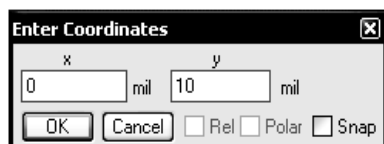


Рис. 4.21

- Переместите курсор в окно черчения, затем нажмите клавишу **Tab** на клавиатуре. Откроется диалоговое окно **Enter Coordinates** (Ввод координат, рис. 4.21).

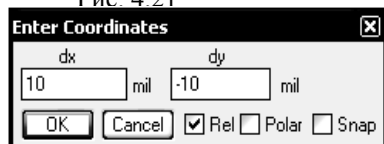


Рис. 4.22

- Введите значения **0** и **10** в поля x и y соответственно и нажмите **OK**.

- Нажмите клавишу **Tab** снова, чтобы открыть диалоговое окно **Enter Coordinates** (рис. 4.22).

- Введите значения **10** и **-10** в поля **dx** и **dy** соответственно и нажмите **OK**. Полученный рисунок показан на рис. 4.23.

- Щёлкните левой кнопкой мышки по квадрату **0->Footprint** (Контур) в нижней части окна менеджера, чтобы создать пустой прямоугольник на плате.

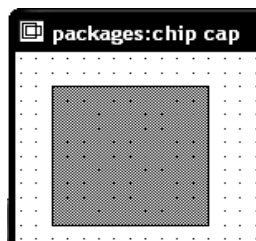


Рис. 4.23

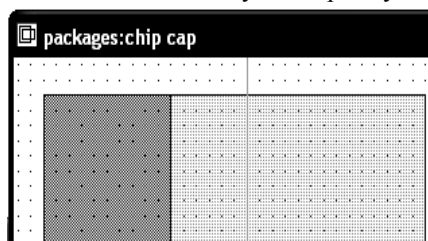


Рис. 4.24

- Выберите в меню **Draw>Rectangle** или щёлкните по значку **Rectangle** на панели инструментов.

- Переместите курсор в окно черчения, затем нажмите клавишу **Tab** на клавиатуре. Откроется диалоговое окно **Enter**

#### **Coordinates.**

- Введите значения **10** и **10** в поля x и y соответственно и нажмите **OK**.

- Нажмите клавишу **Tab** снова, чтобы открыть диалоговое окно **Enter Coordinates**.

- Введите значения **20** и **-10** в поля **dx** и **dy** соответственно и нажмите **OK**. Полученный чертёж показан на рис. 4.24.

- Щёлкните левой кнопкой мышки по левому медному квадрату в окне рисунка и нажмите клавиши **Ctrl+C** и затем **Ctrl+V** или щёлкните левой кнопкой мышки по значку **Copy** и затем по значку **Paste** на панели инструментов, чтобы скопировать и вставить прямоугольный проводник. Нажмите левой кнопкой мышки на скопированный проводник и, не отпуская кнопки мышки, переместите его к правому краю последнего прямоугольника топологии и щёлкните левой кнопкой мышки, чтобы зафиксировать. Полученная топология показана на рис. 4.25.

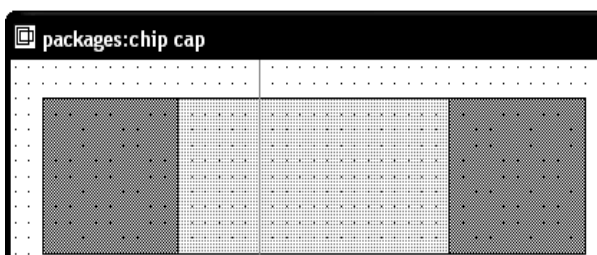


Рис. 4.25

### **Добавление портов к созданному элементу топологии.**

Порты в элементе топологии определяют грани, по которым данный элемент соединяется с другими топологическими элементами. Направление стрелки порта показывает направление, по которому происходит соединение топологического элемента с соседними топологическими элементами.



Чтобы добавить порты к созданному элементу топологии:

1. Выберите в меню **Draw>Cell Port** (Чертить>Порт элемента) или щёлкните левой кнопкой мышки по значку **Cell Port** на панели инструментов.

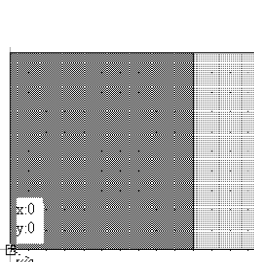


Рис. 4.26

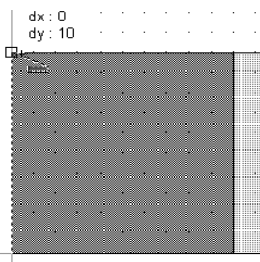


Рис. 4.27

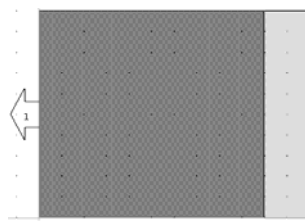


Рис. 4.28

шней квадратик появился на этом углу. Не отпускайте клавишу **Ctrl**.

3. Не отпуская клавишу **Ctrl**, нажмите левую кнопку мышки (соответствующее изображение показано на рис. 4.26) и, не отпуская её, двигайте курсор к верхнему левому углу проводника, пока другой квадрат появится на этом углу (рис. 4.27). Отпустите кнопку мышки и клавишу **Ctrl**. Добавленный порт показан на рис. 4.28.

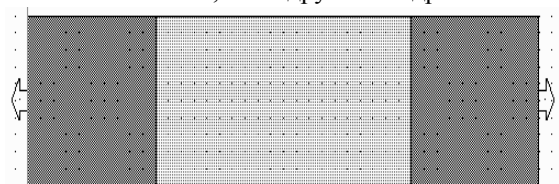


Рис. 4.29

элемент. Нажмите **Yes**, чтобы сохранить. Полученная топология показана на рис. 4.29.

4. Повторите шаги с 1-го по 3-ий, чтобы поместить порт на противоположной стороне рисунка, но начните с верхнего правого угла и двигайте курсор к правому нижнему углу.
5. Закройте окно черчения. Будет выведен запрос, хотите ли вы сохранить нарисованный элемент.

## Добавление в схему конденсатора и назначение ему элемента топологии **chip cap**.

Чтобы добавить в схему конденсатор и назначить ему элемент топологии **chip cap**:

1. В окне схемы установите курсор на входной порт, нажмите и удерживайте клавишу **Ctrl**, нажмите левую кнопку мышки и, не отпуская её, переместите порт на свободное место в схеме, прервав его связь со схемой.

2. Нажмите панель **Elements** в нижней части левого окна, чтобы открыть окно просмотра элементов.

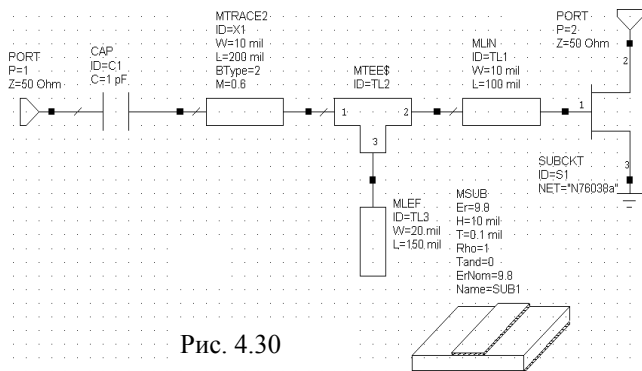


Рис. 4.30

элементов.

3. Дважды щёлкните левой кнопкой мышки по группе **Lumped Element** (Сосредоточенные элементы), чтобы раскрыть её, затем щёлкните левой кнопкой мышки по подгруппе **Capacitor** (Конденсаторы), чтобы отобразить элементы конденсаторов в нижней части левого окна.

4. Нажмите левой кнопкой мышки на элемент **CAP** и, не отпуская кнопки мышки, перетащите его в окно схемы, отпустите кнопку мышки, подключите элемент **CAP** к левому узлу элемента **MTRACE** и щёлкните левой кнопкой мышки, чтобы зафиксировать.

5. Установите курсор на входной порт, нажмите левую кнопку мышки и подключите порт ко входу схемы. Должна получиться схема, показанная на рис. 4.30.

6. Дважды щёлкните левой кнопкой мышки по элементу **CAP** в окне схемы. Откроется окно **Element Options** (Опции элемента).

7. Нажмите на кнопку **Layout** в верхней части этого окна.

8. В поле **Library Name** введите **packages** и в списке элементов отметьте **chip cap** (рис. 4.31). Нажмите **OK**.

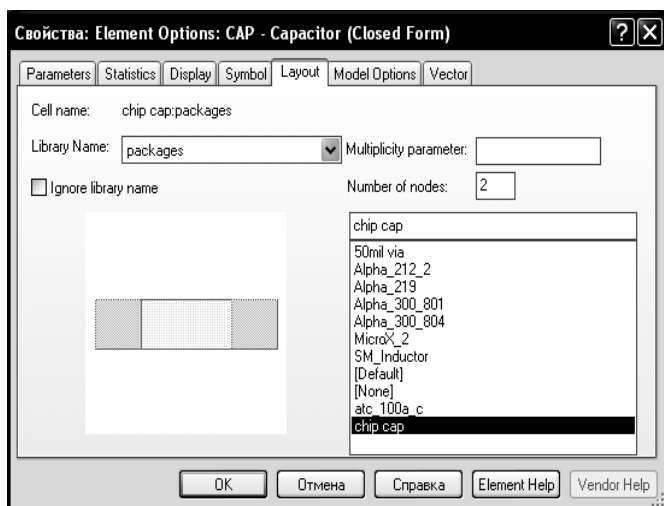


Рис. 4.31

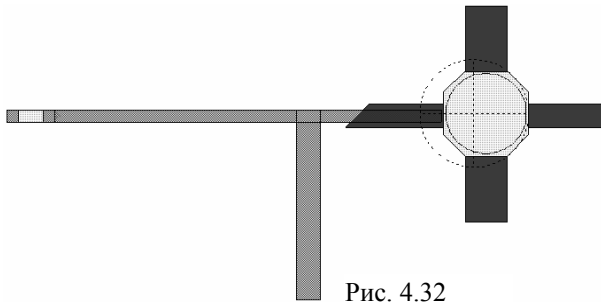


Рис. 4.32

**Together** на панели инструментов.

### Трассировка элемента MTRACE2 в окне топологии.

Элемент **MLIN** – это прямоугольный элемент, чья ширина задаётся и может изменяться в топологии, но редактировать форму этого элемента (например, делать изгибы) нельзя. Элемент **MTRACE2** – это элемент, топология которого может быть отредактирована, чтобы иметь изгибы со скошенными краями. Элемент **MCTRACE** – это элемент, топология которого может быть отредактирована, чтобы иметь изгибы со скруглёнными краями.

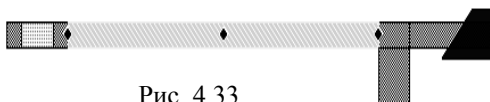


Рис. 4.33

Чтобы выполнить трассировку топологии элемента **MTRACE2**:

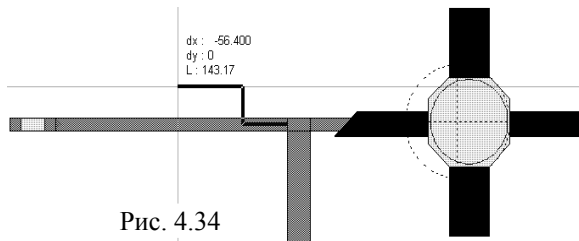


Рис. 4.34

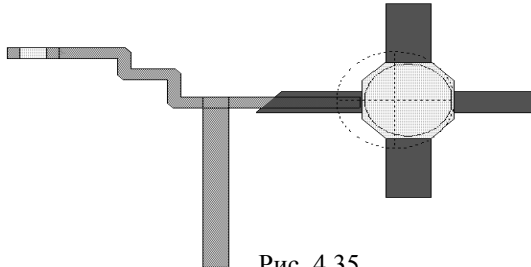


Рис. 4.35

должным образом, о чём говорит наличие красных линий на топологии, выберите в меню **Edit>Select All** и затем щёлкните по значку **Snap Together** на панели инструментов.

1. Дважды щёлкните левой кнопкой мышки по элементу топологии **MTRACE2**. На проводнике появятся синие ромбики, как показано на рис. 4.33.

2. Поместите курсор на крайний правый ромбик так, чтобы он отображался в виде двойной стрелки. Дважды щёлкните левой кнопкой мышки, чтобы активизировать инструмент трассировки.

3. Переместите курсор, не нажимая кнопки мышки, в желательную точку и щёлкните левой кнопкой мышки, чтобы зафиксировать (рис. 4.34). (Щелчок правой кнопкой мышки удалит последнюю точку трассировки, нажатие клавиши **Esc** отменяет процесс трассировки).

4. Продолжайте двигать инструмент трассировки к точкам нужного маршрута, щёлкая левой кнопкой мышки, чтобы фиксировать точки изгиба, затем дважды щёлкните левой кнопкой мышки, чтобы закончить трассировку. Пример полученной топологии показан на рис. 4.35.

5. Если топологические элементы не соединены

### Опции привязки элементов топологии.

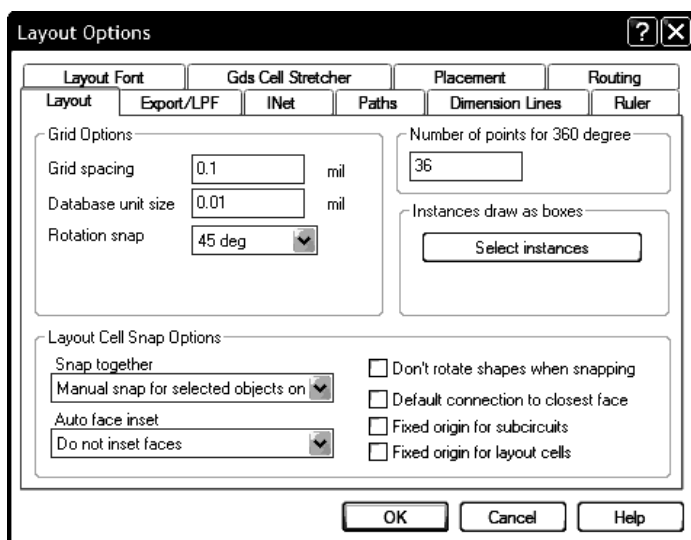


Рис. 4.36

Опции привязки определяют соединения элементов топологии в различных конфигурациях. Эти опции вы можете установить в диалоговом окне **Layout Options**.

1. Выберите в меню **Options>Layout Options**. Откроется диалоговое окно **Layout Options** (рис. 4.36).

2. На вкладке **Layout** этого окна в области **Layout Cell Snap Options** (Опции привязки элементов топологии) в поле **Snap together** (Привязать вместе) введите **Manual snap for selected objects only** (Привязка вручную только для выделенных объектов), щёлкнув по кнопке в конце этого поля. Нажмите **OK**.

3. Чтобы просмотреть действие этой установленной опции, изменим положение некоторых элементов топологии. Установите курсор на элемент топологии, соответствующий элементу схемы **MLEF**, нажмите левую кнопку мышки и переместите этот элемент, как показано на рис. 4.37.
4. Повторите п. 3 для элементов **MTRACE2** и конденсатора **chip cap**, как показано на рис 4.38. Красные линии показывают, что грани этих элементов не соединены.

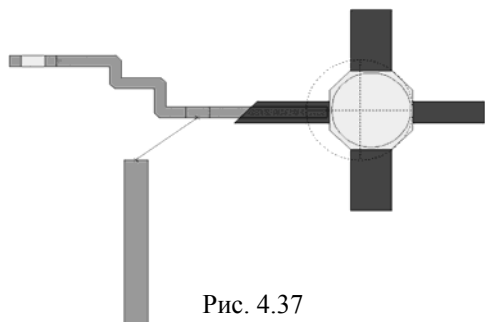


Рис. 4.37

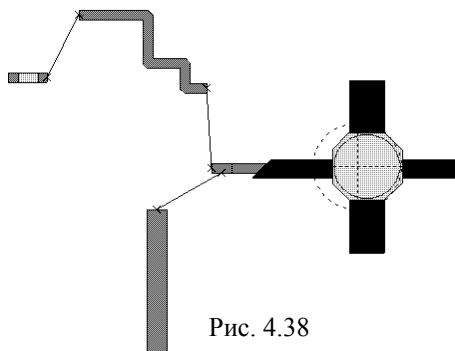


Рис. 4.38

5. Чтобы соединит элементы, нажмите клавишу **Shift** и щёлкните мышкой по элементам **MLEF**, **MTRACE2** и **MTEES** в окне топологии.
6. Щёлкните мышкой по значку **Snap Together** на панели инструментов. Результат показан на рис. 4.39. Заметьте, что не все элементы топологии соединены вместе.
7. Нажмите клавиши **Ctrl+A**, чтобы выделить всю топологию.
8. Щёлкните мышкой по значку **Snap Together** на панели инструментов. Вся топология будет соединена (рис. 4.40).

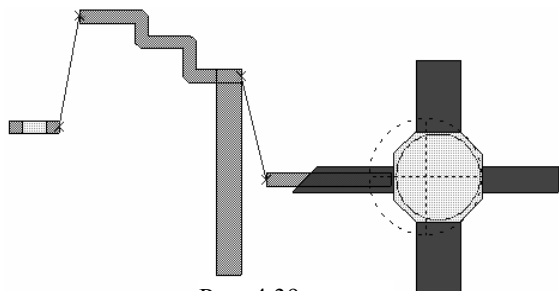


Рис. 4.39

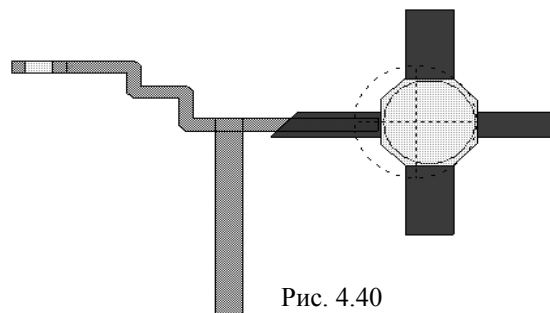



Рис. 4.40

Если элемент конденсатора не соединён с элементом **MTRACE2**, их можно соединить и другим способом, используя команду **snap tu fit** (подогнать привязку). При выполнении этой команды изменяется маршрут элемента **MTRACE2**, чтобы обеспечить соединение, вместо того, чтобы переместить элемент конденсатора, как в предыдущем случае. Это может выглядеть следующим образом.

1. Установите курсор на элемент конденсатора, нажмите левую кнопку мышки и переместите этот элемент, как показано на рис. 4.41.
2. Щёлкните мышкой по элементу топологии **MTRACE2**, чтобы выделить его.
3. Щёлкните мышкой по значку **Snap to fit**  на панели инструментов. Результат показан на рис. 4.42.

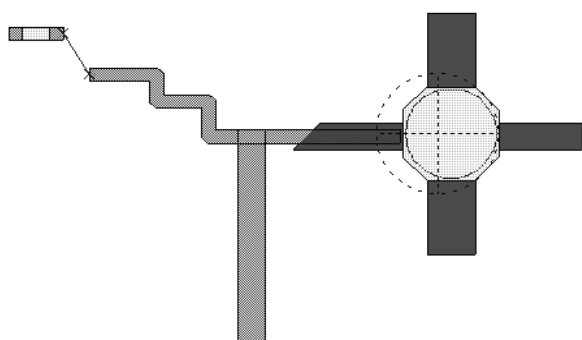


Рис. 4.41

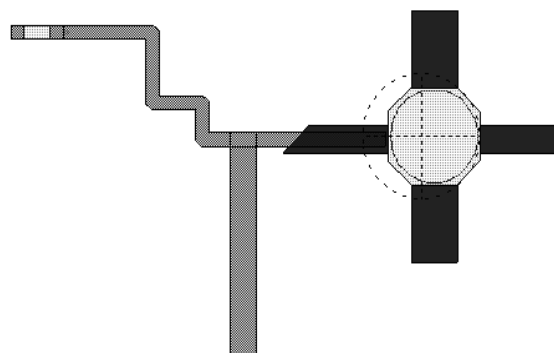


Рис. 4.42

## Экспорт топологии.

Чтобы экспортировать топологию:

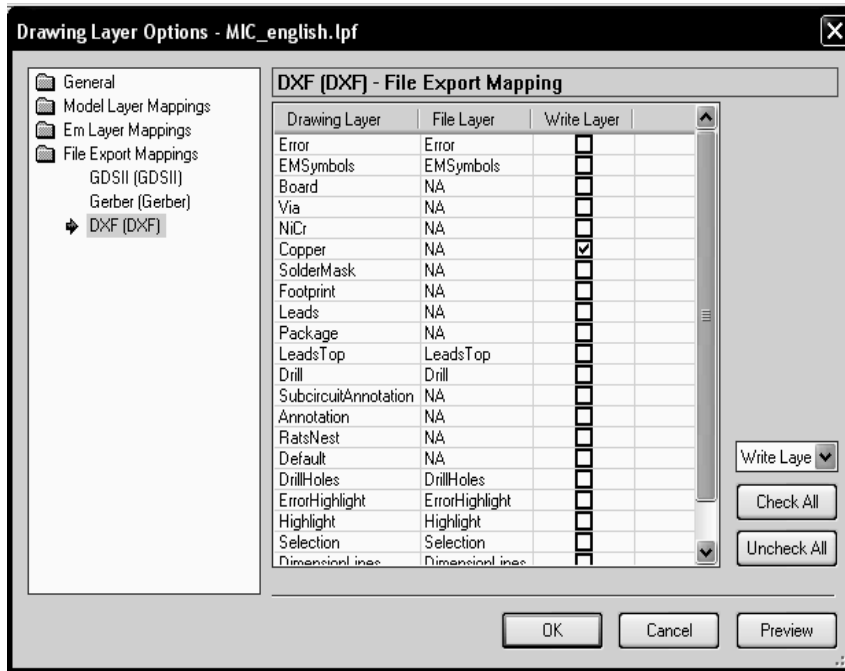


Рис. 4.43

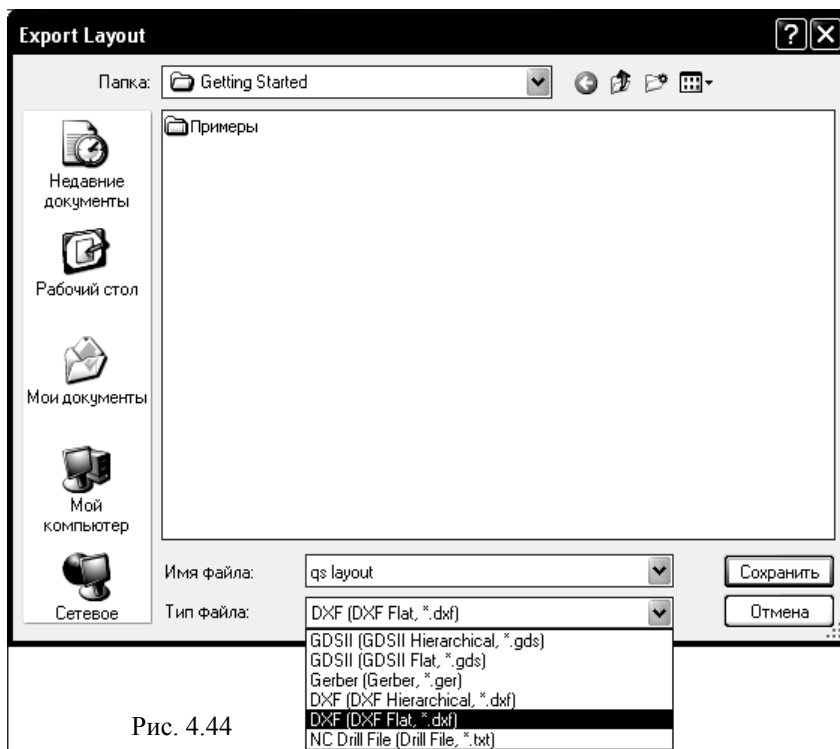


Рис. 4.44

1. Выберите в меню **Options>Drawing Layers** (Опции>Слои черчения), чтобы определить слои, которые надо экспортировать в файл. Откроется диалоговое окно **Drawing Layer Options** (Опции слоя черчения).

2. В левой части окна щёлкните мышкой по **File Export Mappings** (Соответствие файла экспорта) и отметьте **DXF**. В столбце **Write Layer** (Записать слой) отметьте **Copper** (Медь) и снимите все остальные “галочки” (рис. 4.43). Нажмите **OK**.

3. Выберите в меню **Layout>Export** (Топология>Экспорт). Откроется диалоговое окно **Export Layout** (рис.4.44).

4. В поле **Тип файла** введите **DXF (Flat\*.dxf)**, щёлкнув левой кнопкой мышки по кнопке в правом конце этого поля.

5. В поле **Имя файла** введите **qs Layer** и нажмите **Сохранить**, чтобы экспортировать слой меди в файл **DXF**.

На этом пример моделирования топологии закончен. При желании вы можете сохранить свою работу, выбрав в меню **File>Save Project**.

## 5. Электромагнитное моделирование

Электромагнитное моделирование (EM) использует уравнения Максвелла для определения характеристик устройства по его заданной физической геометрии. С помощью электромагнитного моделирования можно анализировать произвольные структуры и обеспечивать очень точные результаты. Кроме того, электромагнитное моделирование свободно от ограничений, имеющихся в моделях электрических цепей, т.к. использует фундаментальные уравнения для вычисления характеристик. Недостатком такого моделирования является то, что, в зависимости от сложности структуры, увеличивается необходимый объём оперативной памяти и увеличивается время моделирования по экспоненте. Поэтому важно минимизировать сложность структуры, чтобы время моделирования было приемлемым, а требуемый объём оперативной памяти не превышал имеющийся на компьютере.

Электромагнитное и схемотехническое моделирования – это дополняющие друг друга методы для проектирования интегральных схем. Используя комбинации этих методов, можно решить многие проблемы проекта.

Microwave Office поддерживает интеграцию многих решающих устройств электромагнитного моделирования других программных продуктов через интерфейс “EM Socked” (“Канал электромагнитного моделирования”). Для этого соответствующее программное обеспечение должно поддерживать этот интерфейс. Например, одним из таких решающих устройств является последняя версия Sonnet. Приведённые здесь примеры используют только собственное решающее устройство EMSight.

Блок электромагнитного моделирования EMSight в Microwave Office, способен моделировать планарные трёхмерные структуры, содержащие множество металлических и диэлектрических слоёв. Структуры могут иметь межслойные переходы или заземления. EMSight использует метод моментов Галёркина в спектральной области, который является чрезвычайно точным для анализа полосковых, микрополосковых, компланарных, а также других произвольных структур. Используемая должным образом, эта методика может обеспечивать точные результаты моделирования до 100 ГГц и выше.

В 7-ой версии AWR Design Environment (AWRDE) интерфейс пользователя для электромагнитных структур значительно изменился. Прежний редактор EM Layer Editor удалён и вместо него используется редактор для топологии схем Layout Editor. В новый редактор внесены существенные изменения:

- Метод выбора слоя при редактировании проводников и/или перемычек изменился.
- Просмотр ячеек сетки, токов и E-полей для электромагнитной структуры изменился и выполняется через добавление аннотации к электромагнитной структуре.
- Все проекты из более ранних версий, которые содержат электромагнитные структуры, преобразуются к новой электромагнитной структуре.

Следующие примеры показывают некоторые из основных особенностей электромагнитного моделирования в Microwave Office.

### 5.1. Моделирование встречноштыревого микрополоскового фильтра

Этот пример показывает, как использовать электромагнитное моделирование в Microwave Office для проектирования встречноштыревого микрополоскового фильтра. Такое моделирование включает следующие основные шаги:

- Создание электромагнитной структуры;
- Определение корпуса;
- Создание топологии;
- Моделирование межслойных переходов;
- Просмотр структуры в трёхмерном изображении;
- Определение портов и установка референсных плоскостей;
- Конфигурирование структуры сетки;
- Просмотр плотности тока и электрических полей;
- Выполнение усовершенствованной развёртки частоты (AFS – Advanced Frequency Sweep).
- Добавление электромагнитной структуры в схему и анализ.

#### Создание нового проекта.

Чтобы создать новый проект:

1. Выберите в меню **File>New Project** (Файл > Новый проект).
2. Выберите в меню **File>Save Project As** (Файл > Сохранить проект как. Откроется диалоговое окно **Save As**).
3. Наберите имя проекта (например, **EM-example**) и нажмите **Сохранить**.

#### Импорт файла обработки слоя LPF (Layer Process File).

1. Выберите в меню **Project>Process Library>Import LPF**. Откроется окно **Import Process Definition**.
2. Откройте корневой каталог программы (по умолчанию C:\Program Files\AWR\AWR2007).

3. Выберите **Blank.lpf** и нажмите **Открыть**, затем в следующем открывшемся окне нажмите **Да**, чтобы заменить существующий LPF.

## Создание электромагнитной структуры.

Чтобы создать новую электромагнитную структуру:

1. Выберите в меню **Project>Add EM Structure>New EM Structure** или щёлкните левой

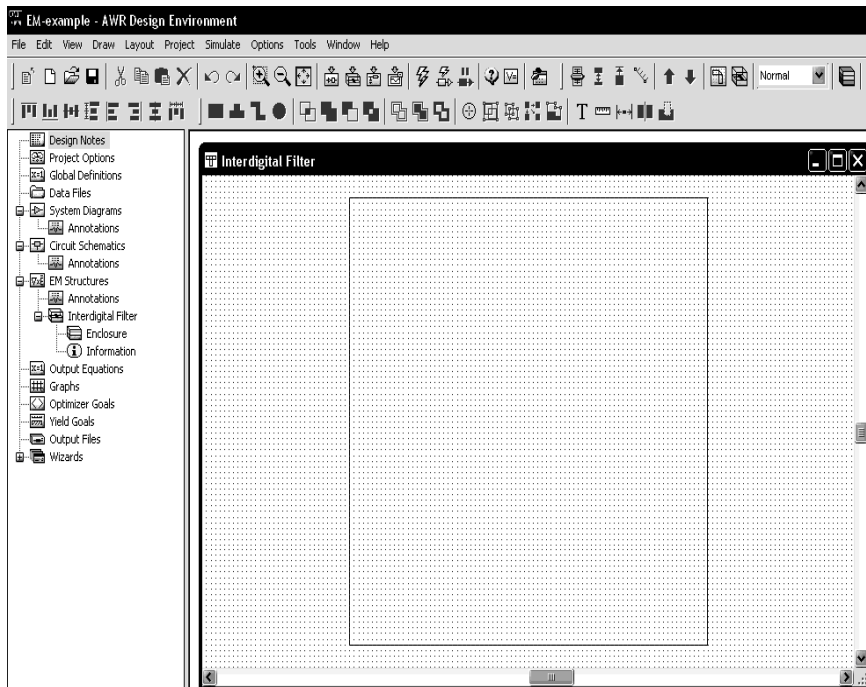


Рис. 5.1

кнопкой мышки по значку **New EM Structure** на панели инструментов.

2. Наберите **Interdigital Filter** (Встречноштыревой фильтр) в поле **Enter a name for the EM Structure** (Ввод имени для электромагнитной структуры), отметьте **AWR EMSight Simulator** и нажмите **Create**. На рабочем поле откроется окно электромагнитной структуры (рис. 5.1).

**Примечание.** EMSight использует прямоугольную сетку для представления структуры. Для проекта лучше использовать по возможности более грубую сетку, поскольку это уменьшает время моделирования. Здесь нужно искать компромисс между временем моделирования и точностью.

## Определение корпуса.

При определении корпуса задаются все диэлектрические материалы для каждого из слоёв в электромагнитной структуре, краевые условия, все физические размеры структуры и размер сетки, который будет использоваться.

Чтобы определить корпус:

1. Выберите в меню **Options>Project Options** или дважды щёлкните мышкой по **Project Options** в левом окне просмотра проекта. Откроется диалоговое окно **Project Options**.
2. На вкладке **Global Units** этого окна в поле **Frequency** введите **GHz**, в поле **Length type** введите **mm** и нажмите **OK**.
3. Выберите в меню **Options>Layout Options**. Откроется диалоговое окно **Layout Options**. На вкладке **Layout** этого окна в области **Grid Options** (Опции сетки) в поле **Grid Spacing** (Интервалы сетки) введите **1 mm**, в поле **Database unit size** введите **0.01 mm** и нажмите **OK**.

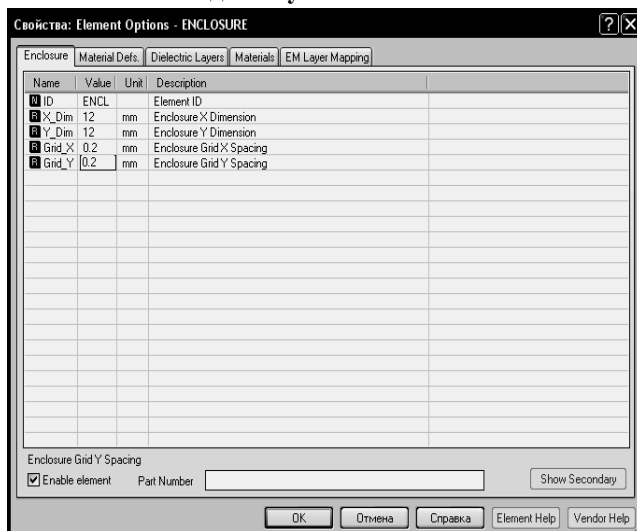


Рис. 5.2

4. Дважды щёлкните левой кнопкой мышки по подгруппе **Enclosure** (Корпус) в дереве стержневого фильтра **Interdigital Filter** (в группе **EM Structures**) в окне просмотра проекта (см. рис. 5.1) или щёлкните левой кнопкой мышки по значку **Substrate Information** (Информация о подложке) на панели инструментов. Откроется диалоговое окно свойств электромагнитной структуры.

5. На вкладке **Enclosure** открывшегося окна (рис. 5.2) в поля **X\_Dim** и **Y\_Dim** введите **12**, в поля **Grid\_X** и **Grid\_Y** введите **0.2**.

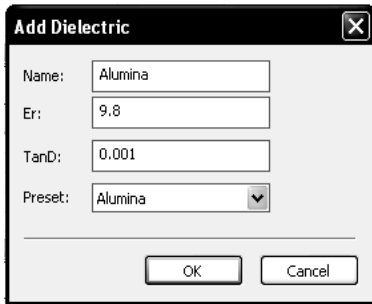


Рис. 5.3

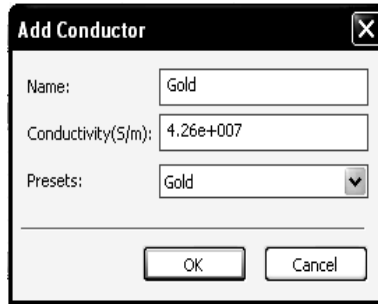


Рис. 5.4

6. На вкладке **Material Defs** щёлкните мышкой по кнопке **Add** для **Dielectric Definitions**, чтобы добавить материал диэлектрика. Откроется дополнительное диалоговое окно **Add Dielectric** (рис. 5.3). В поле **Preset** (Предварительная установка) введите **Alumina**, щёлкнув мышкой по кнопке в правом

конце этого поля. В поле **Er** введите **9.8**, в поле **TanD** введите **0.001**, нажмите **OK**.

7. Щёлкните мышкой по кнопке **Add** для **Conductor Definitions**, чтобы добавить материал проводника. Откроется дополнительное диалоговое окно **Add Conductor** (рис. 5.4). В поле **Presets** введите **Gold**, остальные поля этого окна заполняются автоматически. Нажмите **OK**. Вкладка **Material** окна свойств электромагнитной структуры должна выглядеть, как показано на рис. 5.5.

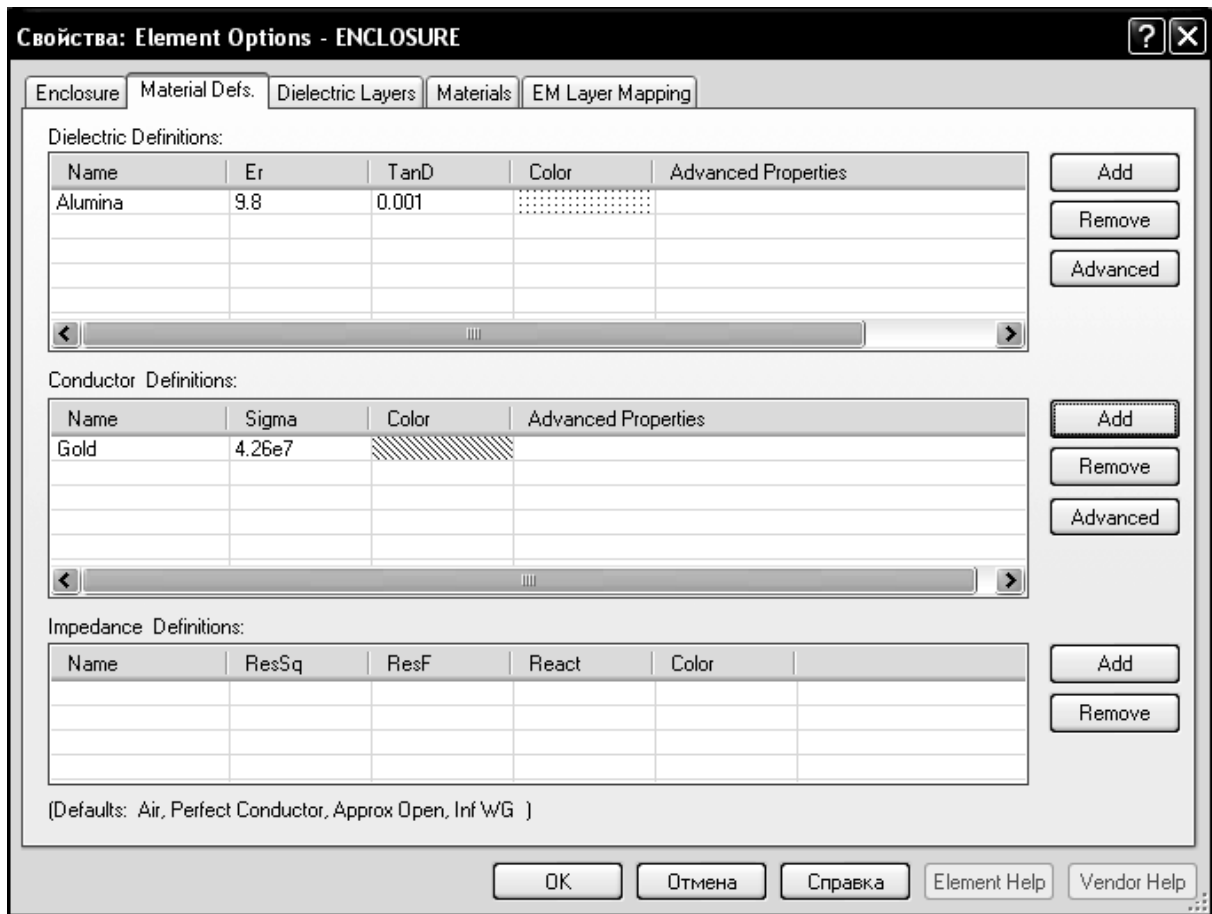


Рис. 5.5

8. На вкладке **Dielectric Layers** (Диэлектрические слои) для слоя **1** в колонке **Thickness** (Толщина) введите **5**, в колонке **Material Definition** введите **Air** (Воздух), щёлкнув левой кнопкой мышки по этому полю, в колонке **Draw Scale** (Масштаб черчения) введите **1**. Для слоя **2** в колонке **Thickness** введите **0.636**, в колонке **Material Definition** введите **Alumina**, щёлкнув левой кнопкой мышки по этому полю, в колонке **Draw Scale** (Масштаб черчения) введите **4**, чтобы удобнее было просматривать трёхмерное отображение электромагнитной структуры. Вкладка **Dielectric Layers** должна выглядеть, как показано на рис. 5.6.

**Примечание.** Граничные условия для боковых стенок корпуса в электромагнитной структуре всегда идеальные и не могут быть изменены. Верхняя и нижняя стенки корпуса также являются идеальными проводниками по умолчанию, но они могут быть изменены на вкладке **Dielectric Layers** выбором материала в полях **Top Boundary** (Верхняя граница) и **Bottom Boundary** (Нижняя граница). В этом примере используются значения по умолчанию.

9. На вкладке **Materials** определяются материалы для проводников и межслойных перемычек. Щёлкните мышкой по кнопке **Insert** на этой вкладке. В столбце **Name** замените появив-

шея имя **Trace1** на **Gold Line**, в столбце **Material Definition** введите **Gold**, щёлкнув мышкой по этому полю, в столбце **Thickness** введите **0.001** (рис. 5.7).

10. Нажмите **OK**.

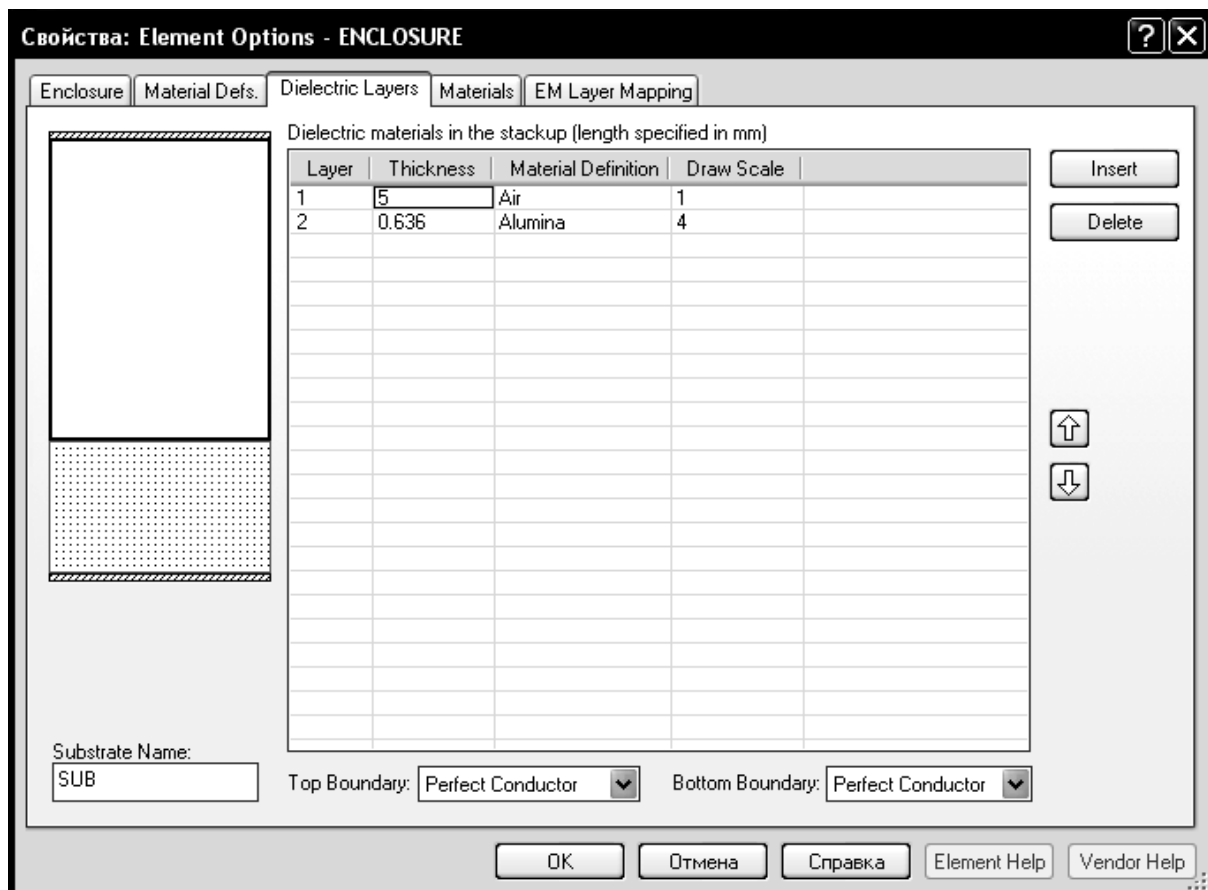


Рис. 5.6

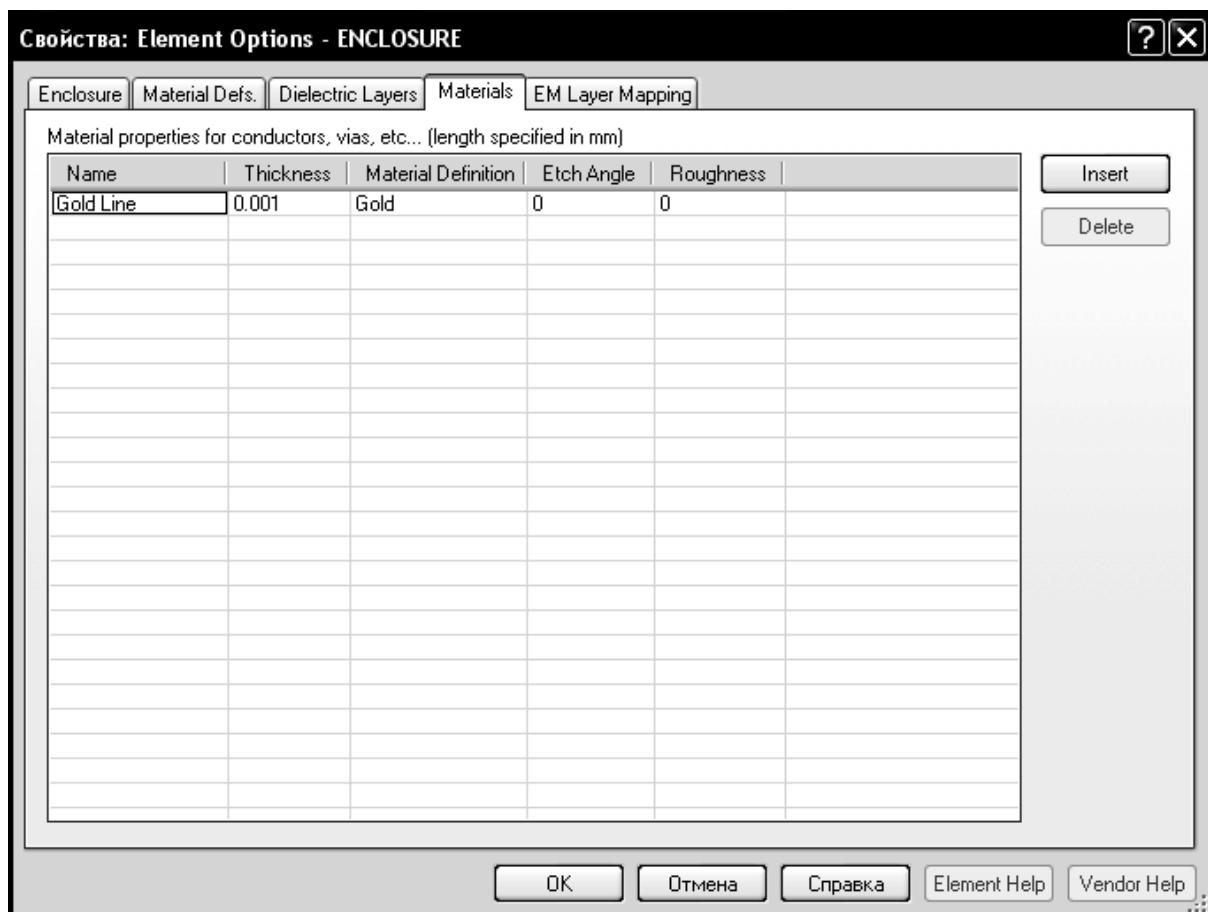


Рис. 5.7



## Создание топологии.

Чтобы создать топологию для моделирования, можно использовать редактор топологии, имеющийся в Microwave Office. Можно так же импортировать структуры непосредственно из топологии схемы, созданной в проекте, или импортировать структуры из файлов формата AutoCAD DXF или GDSII. В этом примере мы создадим топологию микрополоскового встречноштыревого фильтра, используя редактор топологии.

Microwave Office поддерживает абсолютные координаты и относительные. Абсолютные координаты относятся ко всему корпусу (подложке) электромагнитной структуры, а относительные только к отдельному элементу структуры, например, к прямоугольному проводнику. Абсолютная координата  $x=0$  соответствует левому краю корпуса электромагнитной структуры, а координата  $y=0$  – нижнему краю корпуса. Относительная координата  $x=0$  соответствует левому краю элемента, например, прямоугольного проводника, а  $y=0$  – нижнему краю элемента.

Чтобы создать топологию:

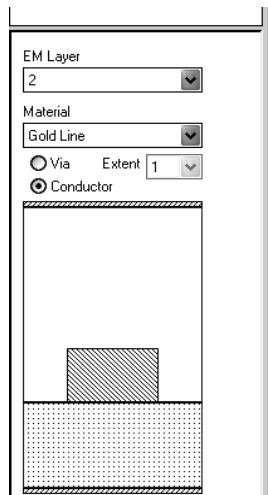


Рис. 5.8

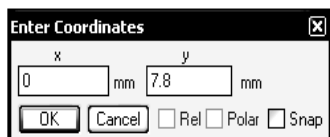


Рис. 5.9

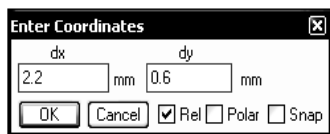


Рис. 5.10

1. Щёлкните мышкой по панели **Layout** в нижней части левого окна, чтобы открыть в этом окне менеджер топологии и отметьте **Conductor**. В поле **EM Layer** введите **2**, щёлкнув по кнопке в правом конце этого поля. В поле **Material** введите **Gold Line**, щёлкнув по кнопке в правом конце этого поля (рис. 5.8).

2. Выберите в меню **Draw>Rectangle** (Чертить>Прямоугольник) или щёлкните левой кнопкой мышки по значку **Rectangle** на панели инструментов.

3. Поместите курсор в окно электромагнитной структуры и нажмите клавишу **Tab** на клавиатуре. Откроется диалоговое окно **Enter Coordinates** (Ввод координат), показанное на рис. 5.9.

4. Введите **0** в поле  $x$ , введите **7.8** в поле  $y$  и нажмите **OK**.

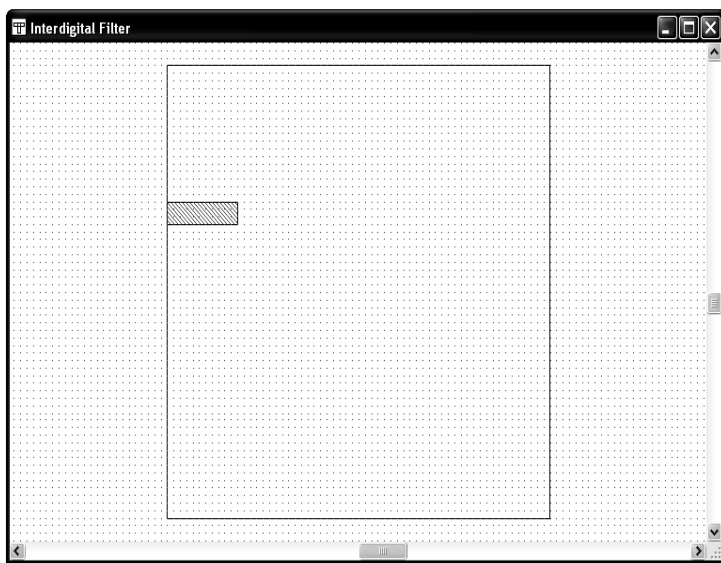


Рис. 5.11

**Примечание.** Переход между полями ввода можно делать, щёлкая левой кнопкой мышки по нужному полю ввода или нажимая клавишу **Tab** на клавиатуре.

5. Нажмите клавишу **Tab** снова, чтобы снова открыть диалоговое окно **Enter Coordinates** (рис. 5.10). Установите флажок в переключателе **Rel**, чтобы активизировать относительные координаты. Введите **2.2** в поле  $dx$ , и **0.6** в поле  $dy$ , нажмите **OK**. Проводник прямоугольного сечения отображается в окне электромагнитной структуры (Рис. 5.11).

**Примечание.** Чтобы удалить неверно вставленный проводник, щёлкните по нему левой кнопкой мышки и нажмите клавишу **Delete**.

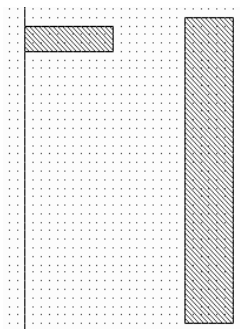


Рис. 5.12

Создайте второй проводник прямоугольного сечения:

6. Выберите в меню **Draw>Rectangle** или щёлкните левой кнопкой мышки по значку **Rectangle** на панели инструментов.

7. Поместите курсор в окно электромагнитной структуры и нажмите клавишу **Tab**. Откроется диалоговое окно **Enter Coordinates**. Введите **4** в поле  $x$ , введите **1.4** в поле  $y$  и нажмите **OK**.

8. Нажмите клавишу **Tab**, чтобы снова открыть диалоговое окно **Enter Coordinates**. Установите флажок в переключателе **Rel**, чтобы активизировать относительные координаты. Введите **1.2** в поле  $dx$ , **7.2** в поле  $dy$  и нажмите **OK**. Второй проводник прямоугольного сечения отображается в окне электромагнитной структуры (рис. 5.12).

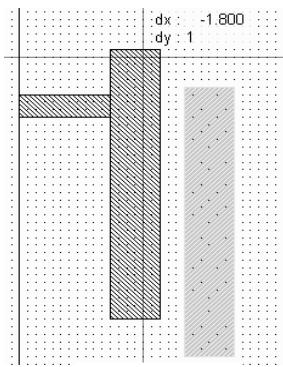




Рис. 5.13

- Установите курсор на второй проводник, нажмите левую кнопку мышки и, не отпуская кнопки, переместите второй проводник так, чтобы появившиеся относительные координаты смещения были равны **dx:-1.8** и **dy:1**. Оба проводника должны соединиться, как показано на рис. 5.13.

**Примечание.** Щёлкните по значку **Measure** (Измерить)  на панели инструментов, чтобы измерить размеры проводников, смещения или зазоры в топологии электромагнитной структуры.

### Добавление межслойных перемычек (металлизированных отверстий).

Межслойные перемычки осуществляют связь между слоями структуры. Мы должны добавить заземление одной стороны вертикального проводника на основание корпуса. Чтобы сделать это:

- Откройте в левом окне менеджер топологии, отметьте **Via** и щёлкните по вертикальному проводнику, чтобы выделить его.
- Выберите в меню **Draw>Add Via Port** (Чертить>Добавить порт-перемычку) или щёлкните левой кнопкой мышки по значку **Via Port**  на панели инструментов.
- Поместите курсор в окно электромагнитной структуры и нажмите клавишу **Tab**. Откроется диалоговое окно **Enter Coordinates**. Введите **2.6** в поле **x**, введите **9.4** в поле **y** и нажмите **OK**.
- Нажмите клавишу **Tab** снова, чтобы открыть диалоговое окно **Enter Coordinates**. Установите флажок в переключателе **Rel**, чтобы активизировать относительные координаты.

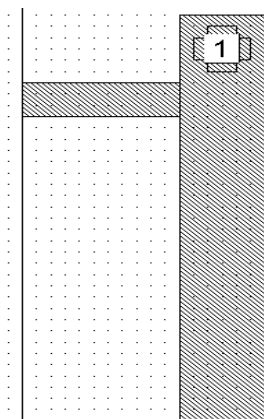




Рис. 5.14

- Введите **0.4** в поле **dx**, **-0.8** в поле **dy** и нажмите **OK**.
- Выберите в меню **Edit>Copy** (Редактор>Копировать) и затем выберите **Edit>Paste** (Редактор>Вставить) или щёлкните мышкой  и затем по значку **Paste**  на панели инструментов.
- Поместите курсор мышки в окно электромагнитной структуры. Контур скопированного межслойного перехода будет отображаться в окне.
- Щёлкните правой кнопкой мышки, чтобы его развернуть.
- Нажмите клавишу **Tab**, чтобы отобразить диалоговое окно **Enter Coordinates**. Снимите галочку в переключателе **Rel**, чтобы установить абсолютные координаты. Введите **2.8** в поле **x**, введите **9** в поле **y** и нажмите **OK**. Новая электромагнитная структура показана на рис. 5.14.

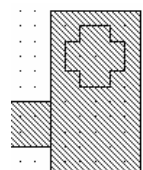


Рис. 5.15

- Установите курсор левее и выше вертикального проводника, нажмите левую кнопку мышки и, не отпуская кнопки, переместите курсор правее и ниже созданных перемычек так, чтобы обе перемычки попали в образовавшийся прямоугольник. Отпустите кнопку мышки. Обе перемычки будут выделены.

- Выберите в меню **Draw>Modify Shapes>Union** (Чертить>Модифицировать формы>Объединить), чтобы объединить обе перемычки. Созданная перемычка будет выглядеть, как показано на рис. 5.15.

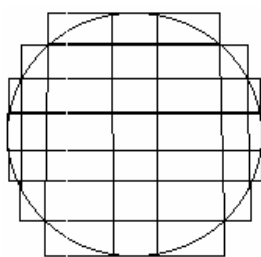


Рис. 5.15

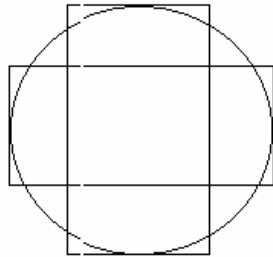


Рис. 5.16

**Примечания.** 1. Не обязательно использовать мелкую сетку (рис. 5.15), чтобы аппроксимировать круглое отверстие межслойного перехода. Точность моделирования будет достаточной, если цилиндрическое отверстие межслойного перехода аппроксимировать призмой в виде двух пересекающихся прямоугольников (рис. 5.16). Центр призмы должен совпадать с центром отверстия. Длину и ширину прямоугольников, видимо, желательно брать кратными размерам сетки, заданным для структуры.

2. Межслойную перемычку можно сделать и круглой, используя инструмент **Ellipse**. Такой вариант перемычки используется в примере 5.4.

## Просмотр 3-х мерной структуры.

В Microwave Office поддерживается 2-х мерное и 3-х мерное представления электромагнитных структур. Чтобы создать 3-х мерное представление:

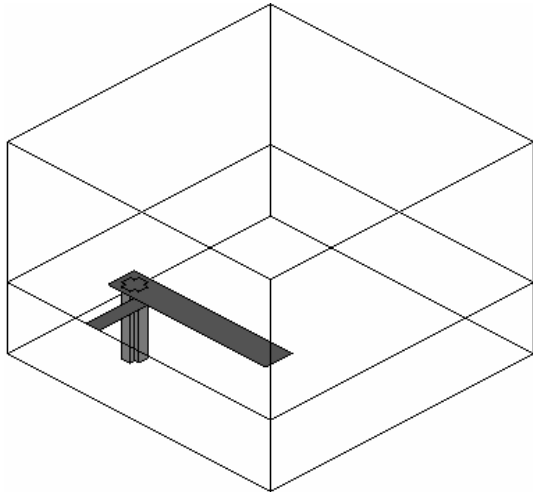


Рис. 5.16

**Auto View** (Показать всё) во всплывающем меню. Или можно щёлкнуть по соответствующему значку на панели инструментов. Чтобы вращать 3-х мерную структуру, нажмите её левой кнопкой мышки и, не отпуская кнопки, перемещайте мышку.

1. Выберите в меню **View>New 3D View** или щёлкните мышкой по значку **New Schematic 3D View** на панели инструментов. На рабочем поле появится трёхмерное изображение, как показано на рис. 5.16.
2. Выберите в меню **Window>Tile Vertical** (Окно>Не перекрывающееся вертикальное расположение) или **Window>Tile Horizontal**. Окна с 3-х мерным и 2-х мерным изображениями отображаются рядом. Затем выберите **Window>Cascade**.

**Примечание.** Изменить вид отображения 3-х мерной структуры можно, щёлкнув правой кнопкой мышки в окне 3-х мерной структуры, и затем выбрать **Zoom Area** (Увеличить область), **Zoom Out** (Уменьшить область) и

## Добавление портов и установка референсных плоскостей.

При электромагнитном моделировании можно определять электрические порты на краю платы (т.е. внешние порты) или как зонд, проходящий через нижнюю или верхнюю крышки (т.е. Via Port).

Чтобы определить внешний порт:

1. Щёлкните левой кнопкой мышки по горизонтальному проводнику в окне электромагнитной структуры. Обратите внимание, что этот проводник должен быть позиционирован точно на левом краю подложки ( $X=0$ ) прежде, чем добавлять внешний порт.
2. Выберите в меню **Draw>Add Edge Port** (Чертить>Добавить внешний порт) или щёлкните левой кнопкой мышки по значку **Edge Port** на панели инструментов.
3. Поместите курсор на левый край горизонтального проводника, пока не отобразится квадрат, и щёлкните левой кнопкой мышки, чтобы зафиксировать порт. Маленькая площадка с номером 1 появится на левом краю проводника (рис. 5.17).

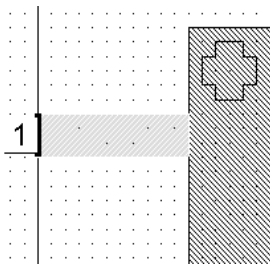


Рис. 5.17

Чтобы установить референсную плоскость для порта 1:

4. Щёлкните правой кнопкой мышки в окне электромагнитной структуры и выберите **Zoom Area** (Увеличить размер области) во всплывающем меню или нажмите значок **Zoom Area** на панели инструментов. Курсор будет отображаться в виде лупы.
5. Поместите курсор чуть выше и левее верхнего левого угла входного проводника, нажмите левую кнопку мышки и, не отпуская кнопки, переместите курсор к правому нижнему углу этого проводника так, чтобы выделить весь проводник с портом и отпустите кнопку мышки.
6. Щёлкните левой кнопкой мышки по порту 1. По углам отобразятся четыре небольших квадрата.

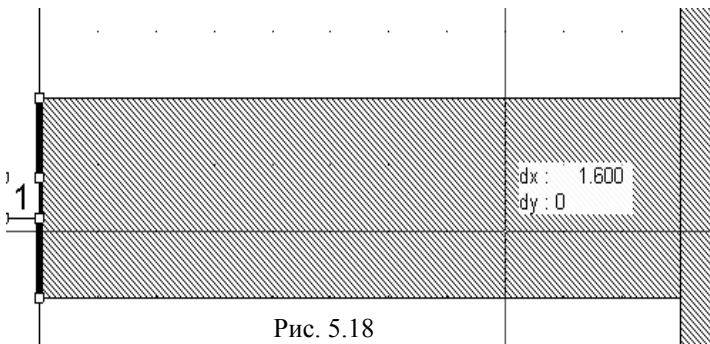


Рис. 5.18

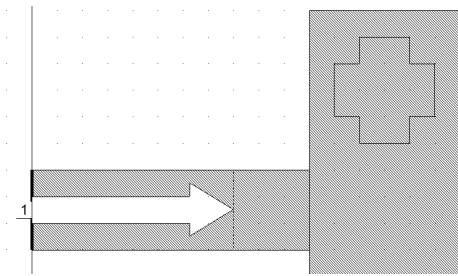


Рис. 5.19

7. Установите курсор мышки на правый край порта так, чтобы курсор отображался в виде двойной стрелки.

8. Нажмите левую кнопку мышки и не отпуская кнопки мышки, перетащите курсор вправо, пока не будет отображено **dx:1.6, dy:0** (рис. 5.18). Отпустите кнопку мышки, чтобы зафиксировать площадку. Порт с установленной референсной плоскостью будет выглядеть, как показано на рис. 5.19..

## Определение частот для моделирования.

Чтобы определить частоты:

1. Нажмите панель **Project** в нижней части левого окна, чтобы открыть окно просмотра проекта.
2. Правой кнопкой мышки щёлкните по объекту **Interdigital Filter** в группе **EM Structures** и выберите **Options** во всплывающем меню. Откроется диалоговое окно **Options**.
3. Щёлкните панель **Frequencies** (Частоты) в верхней части окна.

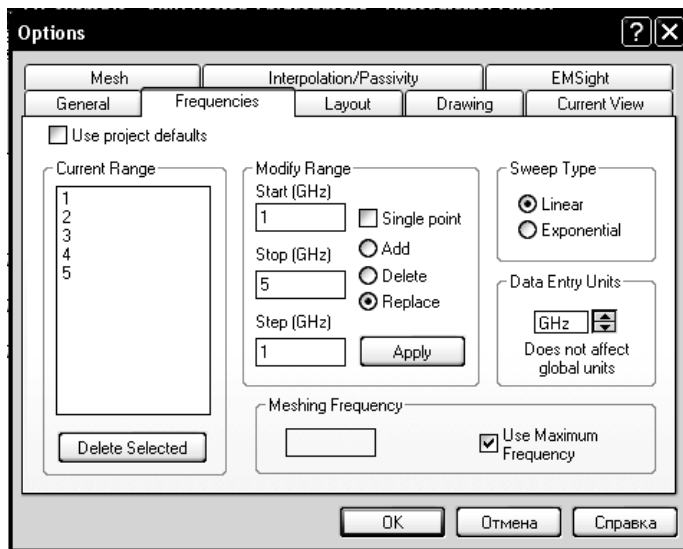


Рис. 5.20

4. Снимите галочку (если она стоит) на переключателе **Use Project Frequency** (Использовать частоты проекта), чтобы локальные частоты имели преимущество перед глобальными частотами проекта (рис. 5.20).

5. Установите **GHz** в поле **Unit**, щёлкая стрелки справа от этого поля.

6. Введите **1** в поле **Start** (Начало), введите **5** в поле **Stop** (Конец) и введите **1** в поле **Step** (Шаг).

7. Щёлкните **Apply** (Применить). В окне списка **Current Range** (Текущий диапазон) отображается частотный диапазон и частотные точки с шагом, которые вы только что определили.

8. Нажмите **OK**.

**Примечание.** Microwave Office позволяет определять частоты моделирования глобально (через Project Options в окне просмотра проекта) или локально для каждой схемы и электромагнитной структуры. Для электромагнитной структуры часто лучше использовать локальные частоты с количеством частотных точек меньшим, чем для линейных схем.

## Просмотр ячеек сетки.

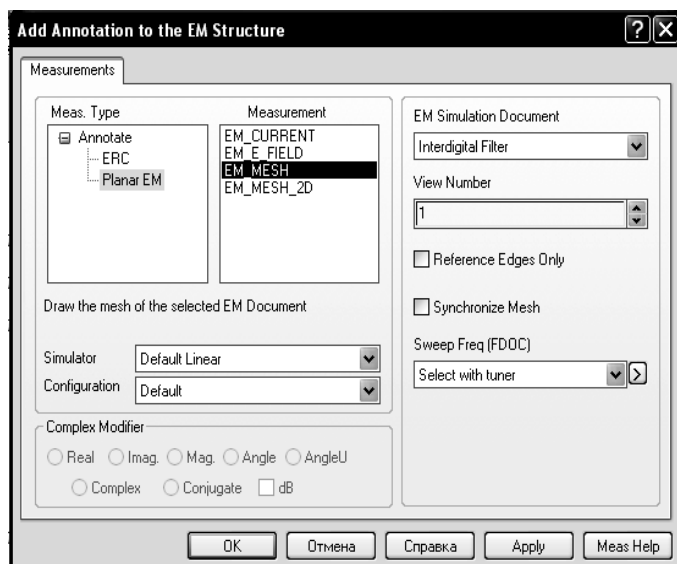


Рис. 5.21

Структура сетки очень важна для моделирования, т.к. она влияет на время и точность моделирования. Рекомендуется начинать с грубой сетки и затем делать её более мелкой до тех пор, пока результаты анализа не будут заметно изменяться при дальнейшем уменьшении ячеек сетки.

Чтобы просмотреть ячейки сетки:

1. Щёлкните правой кнопкой мышки по имени электромагнитной структуры **Interdigital Filter** в окне просмотра проекта и выберите **Add Annotation**.

2. В открывшемся окне (рис. 5.21) в списке **Measurement** отметьте **EM\_MESH**, остальные параметры установите, как показано на рис. 5.21 и нажмите **OK**.

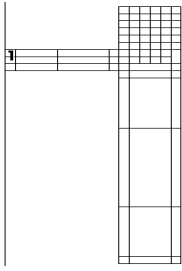


Рис. 5.22

- Структуру сетки можно просмотреть в 3-х мерном отображении электромагнитной структуры при виде сверху. Щёлкните мышкой по значку **New Schematic 3D View** и затем по значку **Top** (Верх) на панели инструментов. Сетка будет отображена, как показано на рис. 5.22.
- Щёлкнув правой кнопкой мышки по имени аннотации **Interdigital Filter:EM\_MESH** в группе **Annotations** в окне просмотра проекта и выбрав **Toggle Enable**, можно отменить показ структуры сетки. Повторный вызов этой команды возобновляет показ структуры сетки.

### Выполнение электромагнитного моделирования.

Электромагнитное моделирование выполняется очень быстро для небольших электрических структур. Чтобы найти резонансную частоту первого резонатора фильтра, можно выполнить электромагнитное моделирование для одного резонатора стержневого фильтра.

Чтобы выполнить моделирование структуры:

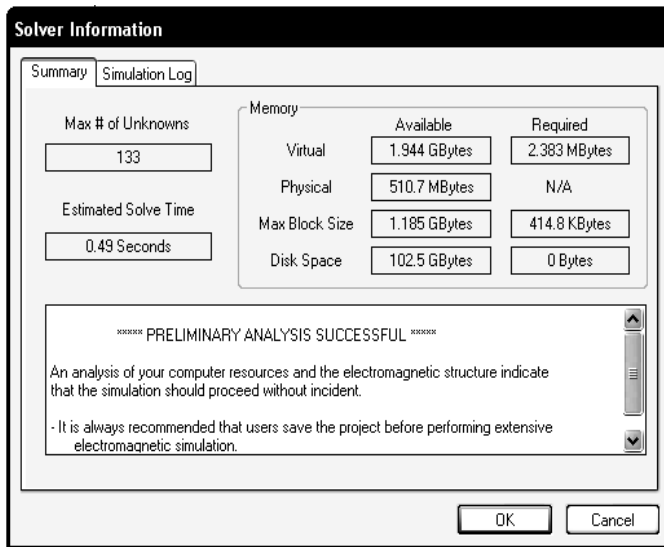


Рис. 5.23

- Дважды щёлкните левой кнопкой мышки по подгруппе **Information** (Информация) стержневого фильтра (**Interdigital Filter**) в группе **EM Structures**. Откроется диалоговое окно **Solver Information** (Информация решающего устройства). В этом окне (рис. 5.23) на вкладке **Summary** отображается доступное (**Available**) и необходимое (**Required**) количество памяти на компьютере для моделирования и оценочное время анализа. Ознакомившись с этими данными, закройте окно, нажав **OK**.
- Выберите в меню **Simulate>Analyze** (Моделирование>Анализ) или

щёлкните левой кнопкой мышки по значку **Analyze** на панели инструментов. Откроется окно, в котором отображается процесс анализа. Когда это окно исчезает, анализ закончен.

### Отображение результатов на графике.

Для определения резонансной частоты необходимо построить график коэффициента отражения в электромагнитной структуре. Чтобы сделать это:

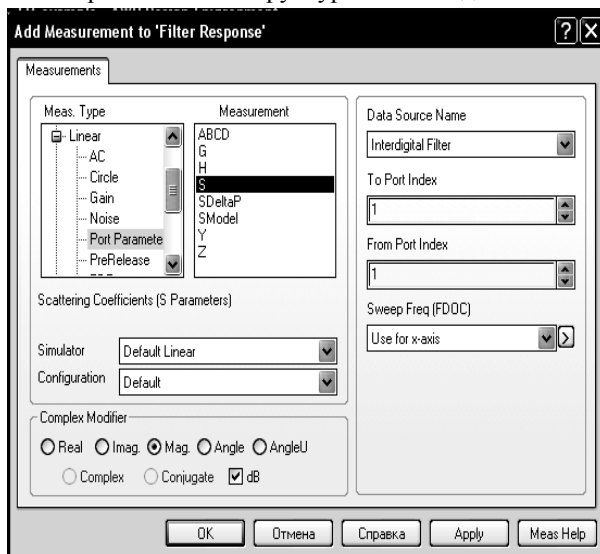


Рис. 5.24

- Выберите в меню **Project>Add Graph** (Добавить график), или щёлкните правой кнопкой мышки по группе **Graphs** в окне просмотра проекта и выберите **Add Graph**, или щёлкните левой кнопкой мышки по значку **New Graph** на панели инструментов. Откроется диалоговое окно **Create Graph** (Создать график).
- В поле **Graph Name** введите имя графика **Filter Response**, отметьте **Rectangular** (Прямоугольный) в области **Graph Type** (Тип графика) и нажмите **OK**. Окно графика откроется на рабочем поле.
- Выберите в меню **Project>Add Measurement** (Добавить измеряемую величину), или щёлкните правой кнопкой мышки по имени графика **Filter Response** в окне просмотра проекта и выберите **Add**

**Measurement**, или щёлкните левой кнопкой мышки по значку **Add Measurement** на панели инструментов. Откроется диалоговое окно **Add Measurement** (рис. 5.24).

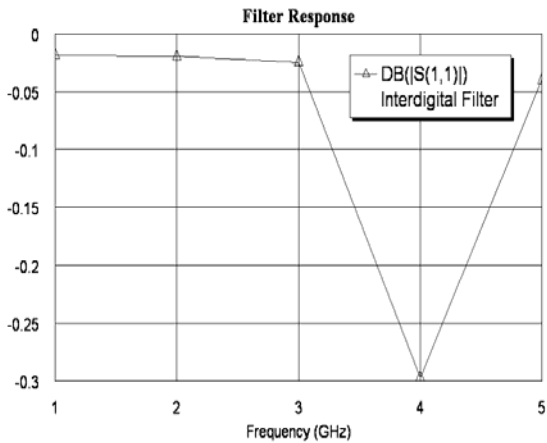


Рис. 5.25

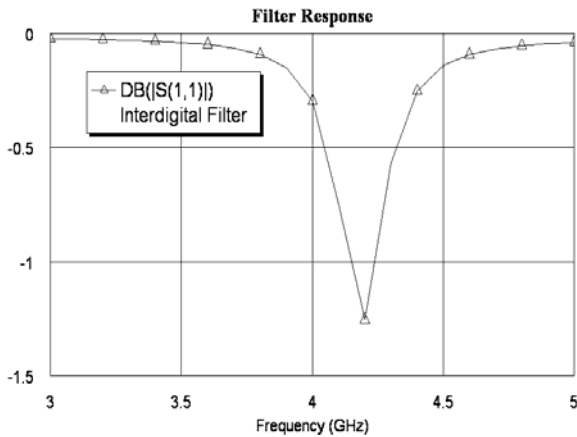



Рис. 5.26

10. Нажмите **OK**.

11. Выберите **Simulate > Analyze** в выпадающем меню или щёлкните левой кнопкой мышки

по значку **Analyze**  на панели инструментов, чтобы выполнить новый анализ схемы. Результаты анализа отображаются на графике, как показано на рисунке рис. 5.26.

4. В окне списка **Meas. Type** раскройте группу **Linear** и выберите **Port Parameters**, выберите **S** в окне списка **Measurement** (Измеряемая величина), выберите **Interdigital Filter** в поле **Data Source Name** (Имя источника данных), в поля **To Port Index** и **From Port Index** введите **1**, отметьте **Mag** и **dB** в области **Complex Modifier** (Представление комплексной величины) и нажмите **Apply** (Применить).

5. Нажмите **OK**.

6. Выберите в меню **Simulate>Analyze** или щёлкните левой кнопкой мышки по значку **Analyze** на панели инструментов. Результаты анализа отображаются на графике, как показано на рисунке 5.25.

Чтобы определить резонансную частоту более точно, необходимо изменить частотный диапазон и шаг по частоте. Чтобы сделать это:

7. Щёлкните правой кнопкой мышки объект **Interdigital Filter** в группе **EM Structures** и выберите **Options**. Откроется диалоговое окно **Options**.

8. Нажмите панель **Frequencies** в верхней части этого окна.

9. Введите **3** в поле **Start**, введите **5** в поле **Stop** и **0.1** в поле **Step**. Нажмите **Apply**. В окне списка **Current Range** будет отображён новый частотный диапазон с шагом, которые вы только что определили.

## Просмотр анимации токов и E – поля.

Просмотр токов и полей электромагнитной структуры может быть полезен при изучении её физических характеристик. Токи и электрические поля добавлены к аннотации электромагнитных структур и могут быть просмотрены в 3-х мерном отображении структур.

Чтобы просмотреть токи на проводниках:

1. Щёлкните правой кнопкой мышки по имени электромагнитной структуры **Interdigital Filter** в окне просмотра проекта и выберите **Add Annotation**.

2. В открывшемся окне (рис. 5.27) в списке **Measurement** отметьте **EM\_CURRENT**, остальные параметры установите, как показано на рис. 5.27 и нажмите **OK**.

3. Сделайте активным окно электромагнитной структуры и щёлкните мышкой по значку **New**

**Schematic 3D View**  на панели инструментов.

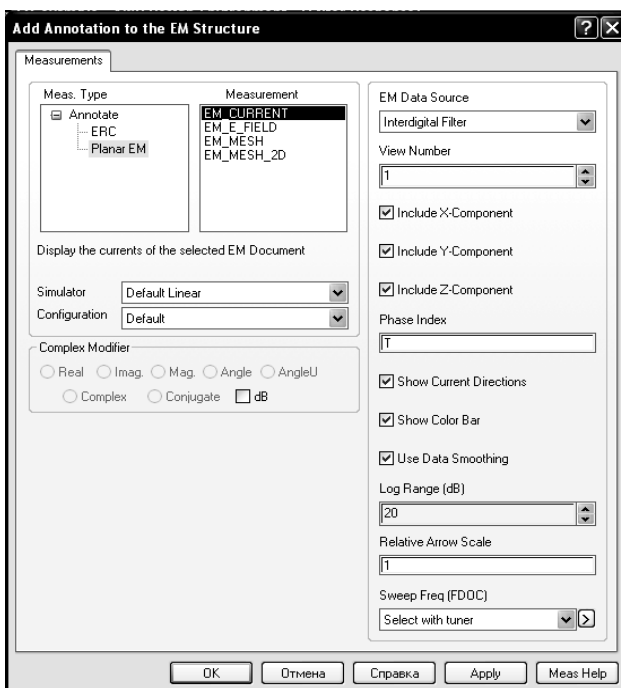


Рис. 5.27

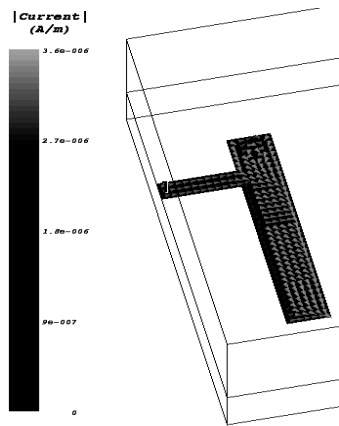


Рис. 5.28

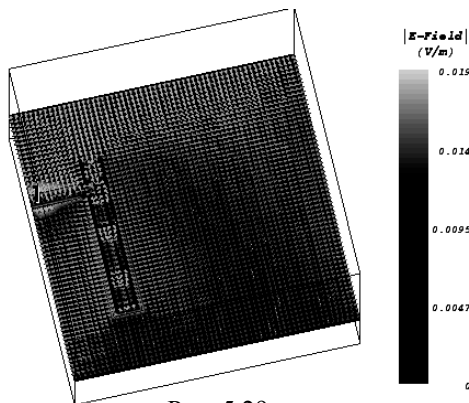


Рис. 5.29

- Щёлкните мышкой по значку **Animate Play** на панели инструментов. Анимация токов в трёхмерном представлении будет отображена на рабочем поле (рис. 5.28).
- Щёлкните левой кнопкой мышки по значку **Animate Stop** на панели инструментов, чтобы остановить анимацию.
- Щёлкнув правой кнопкой мышки по имени аннотации **Interdigital Filter:EM\_CURRENT** в группе **Annotations** в окне просмотра проекта и выбрав **Toggle Enable**, можно отменить показ токов. Повторный вызов этой команды возобновляет показ токов.

Чтобы просмотреть электрическое поле:

- Щёлкните правой кнопкой мышки по имени электромагнитной структуры **Interdigital Filter** в окне просмотра проекта и выберите **Add Annotation**.
- В открывшемся окне в списке **Measurement** отметьте **EM\_E\_Field** и нажмите **OK**.
- В окне просмотра проекта щёлкните правой кнопкой мышки по имени аннотации **Interdigital Filter:EM\_CURRENT** в группе **Annotations** и выберите **Toggle Enable**.
- Выберите в меню **Simulate>Analyze** или щёлкните левой кнопкой мышки по значку **Analyze** на панели инструментов, чтобы вычислить электрические поля.
- Выберите **Animate > Animate Play** в выпадающем меню или щёлкните левой кнопкой мышки по значку **Animate Play** на панели инструментов, чтобы просмотреть анимацию поля (рис. 5.29). Этот вид зависит от конфигурации вашего компьютера.

- Щёлкните левой кнопкой мышки по значку **Animate Stop** на панели инструментов, чтобы остановить анимацию.
- Чтобы прекратить вычисление и показ электрического поля, щёлкните правой кнопкой мышки по имени аннотации **Interdigital Filter:EM\_E\_Field** в группе **Annotations** в окне просмотра проекта и выберите **Toggle Enable**.

## Завершение топологии фильтра.

Чтобы завершить топологию фильтра, мы будем использовать некоторые усовершенствованные особенности редактирования в окне электромагнитной структуры.

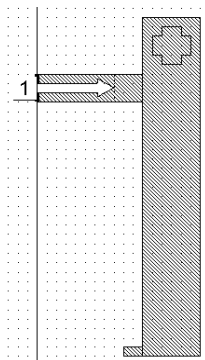


Рис. 5.30

Чтобы добавить небольшой проводник на конце входного резонатора:

- Щёлкните по окну электромагнитной структуры **Interdigital Filter**, чтобы сделать его активным.
- Выберите в меню **Draw>Rectangle** (Чертить>Прямоугольник) или щёлкните левой кнопкой мышки по значку **Rectangle** на панели инструментов.
- Поместите курсор в окно **Interdigital Filter** и нажмите клавишу **Tab** на клавиатуре. Откроется диалоговое окно **Enter Coordinates** (Ввод координат).
- Введите **2.2** в поле **x**, введите **2.4** в поле **y** и нажмите **OK**.
- Нажмите клавишу **Tab** снова, чтобы открыть диалоговое окно **Enter Coordinates**. Отметьте переключатель **Rel**, чтобы установить относительные координаты. Введите **-0.4** в поле **dx**, введите **0.2** в поле **dy** и нажмите **OK**.

Прямоугольный проводник будет отображён в окне электромагнитной структуры (рис. 5.30).

Чтобы начертить выходной резонатор:

- Выберите в меню **Edit>Select All** (Редактировать>Выделить всё). Или установите курсор левее и выше топологии, нажмите левую кнопку мышки и переместите курсор правее и ниже топологии так, чтобы вся топология попала в образовавшийся прямоугольник. Отпустите кнопку мышки.
- Выберите в меню **Edit>Copy** (Редактировать>Копировать) или щёлкните по значку **Copy** на панели инструментов. Затем выберите в меню **Edit>Paste** (Редактировать>Вставить) или щёлкните по значку **Paste** на панели инструментов. Появится контур топологии.

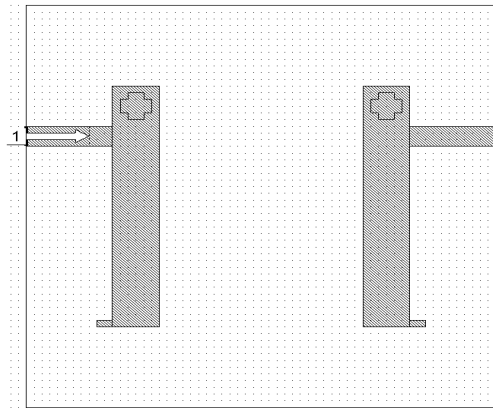


Рис. 5.31

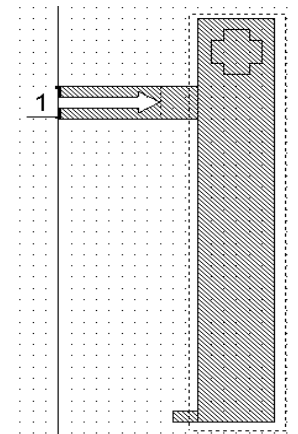


Рис. 5.32

8. Переместите курсор в окно электромагнитной структуры, нажмите клавишу **Ctrl** и щёлкните правой кнопкой мышки. Будет создано зеркальное отображение скопированной топологии. Переместите созданную копию резонатора вправо так, чтобы правый край горизонтального проводника совпал с правым краем корпуса электромагнитной структуры (рис. 5.31)

Чтобы создать средний резонатор:

9. Установите курсор несколько выше верхнего левого угла входного резонатора, нажмите левую кнопку мышки и, не отпуская кнопки, переместите курсор к правому нижнему углу резонатора так, чтобы выделение охватило весь резонатор, отпустите кнопку мышки. Вертикальный проводник с межслойным переходом будет выбран (5.32).

10. Выберите в меню **Edit>Copy**, затем выберите **Edit>Paste**. Появится контур скопированного проводника.


11. Двигайте курсор к середине окна электромагнитной структуры, чтобы переместить скопированный образец в середину окна, затем дважды щёлкните правой кнопкой мышки, чтобы повернуть образец на 180 градусов.

12. Нажмите клавишу **Tab**, чтобы открыть окно **Enter Coordinates**.

13. Уберите галочку (если она есть) на переключателе **Rel**, чтобы установить абсолютные координаты. Введите **6** в поле **x**, введите **5** в поле **y** и нажмите **OK**. Новая топология показана на рис. (5.33).

Для завершения электромагнитной структуры, необходимо добавить порт к выходному проводнику. Чтобы добавить порт и установить референсную плоскость:

14. Щёлкните левой кнопкой мышки по выходному проводнику в окне электромагнитной структуры.

15. Выберите в меню **Draw>Add Edge Port** или щёлкните левой кнопкой мышки по значку **Edge Port**  на панели инструментов.

16. Переместите курсор к правому краю проводника, пока не будет отображён квадрат, и щёлкните левой кнопкой мышки, чтобы зафиксировать порт. Небольшой квадрат с цифрой 2 будет отображён на правом краю проводника.

17. Щёлкните левой кнопкой мышки по порту 2. В его углах отобразятся четыре квадрата.

18. Установите курсор на левый край порта так, чтобы он отображался в виде двойной стрелки.

19. Нажмите левую кнопку мышки и, не отпуская кнопки, переместите курсор влево, пока **dx** и **dy** получат значения **dx:-1.6**, **dy:0**. Отпустите кнопку мышки, чтобы зафиксировать положение референсной плоскости. Законченная топология показана на рис. 5.34.

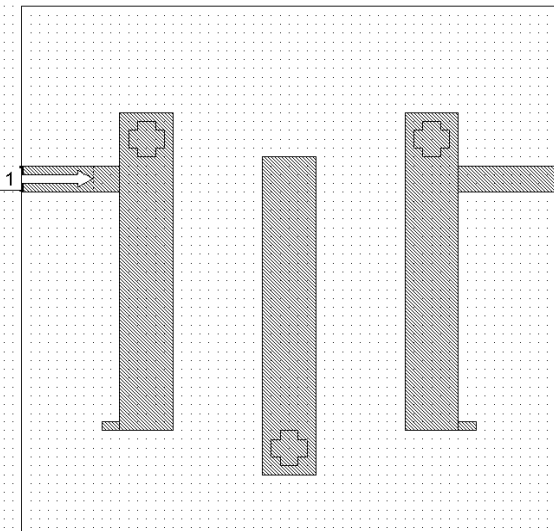


Рис. 5.33

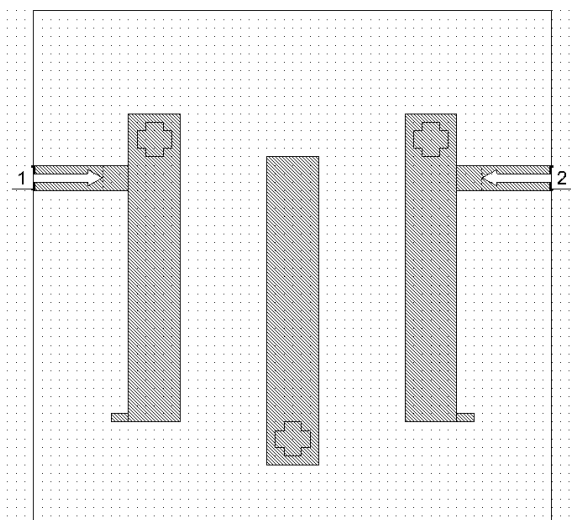


Рис. 5.34



## Улучшенная вариация частоты (AFS – Advanced Frequency Sweep).

Решающее устройство EMSight может выполнять улучшенную вариацию частоты (AFS). Обратите внимание, что токи и электрические поля не вычисляются при выполнении AFS.

Чтобы выполнить AFS:

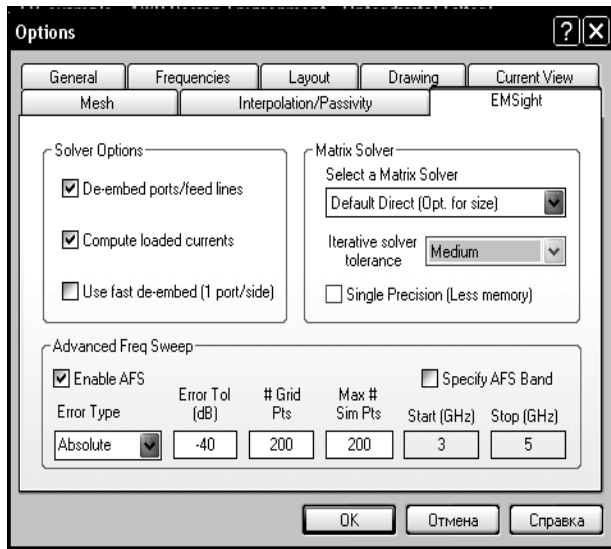


Рис. 5.35

Measurement. Откроется диалоговое окно Add Measurement (рис. 5.36).

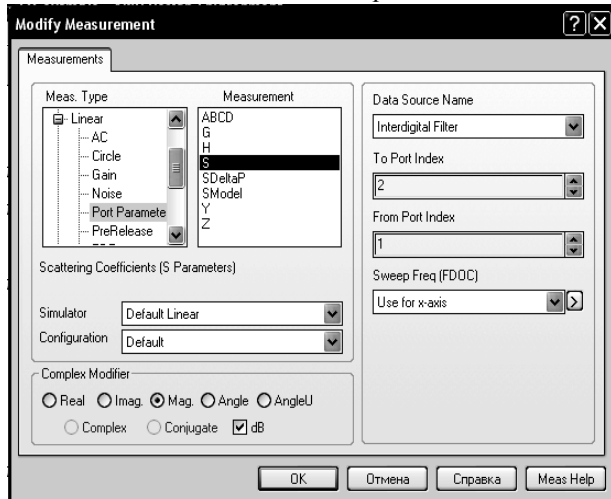


Рис. 5.36

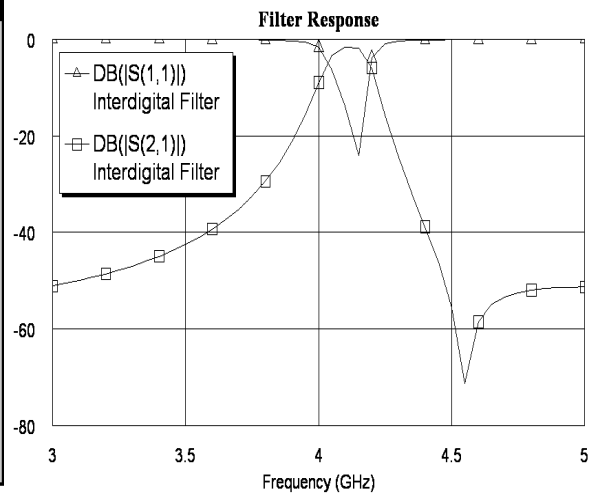


Рис. 5.37

- В окне списка **Meas. Type** раскройте группу **Linear** и выберите **Port Parameters**, выберите **S** в окне списка **Measurement** (Измеряемая величина), выберите **Interdigital Filter** в поле **Data Source Name** (Имя источника данных), введите **2** в поле **To Port Index**, введите **1** в поле **From Port Index**, отметьте **Mag** и **dB** в области **Complex Modifier** (Представление комплексной величины), нажмите **Apply** (Применить) и **OK**.
- Сделайте активным окно графика и щёлкните мышкой по значку **Analyze** на панели инструментов. Рассчитанный график показан на рис. 5.37.

## Добавление электромагнитной структуры в схему и моделирование.

Вы можете добавить электромагнитную структуру в схему так же, как добавляется любая подсхема.

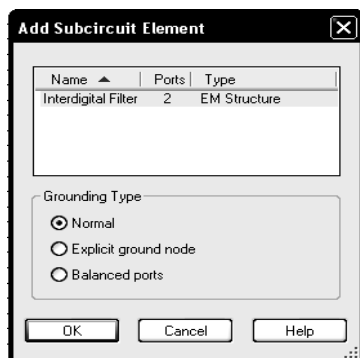


Рис. 5.38

- Создайте новую схему, выбрав в меню **Project>Add Schematic>New Schematic** или щёлкнув мышкой по значку **New Schematic** на панели инструментов. В открывшемся окне введите имя схемы **Schematic using EM** и нажмите **OK**.
- Щёлкните мышкой по значку **Subcircuit** на панели инструментов или выберите в меню **Draw>Add Subcircuit**. Откроется диалоговое окно с перечнем всех имеющихся в проекте подсхем (рис. 5.38).

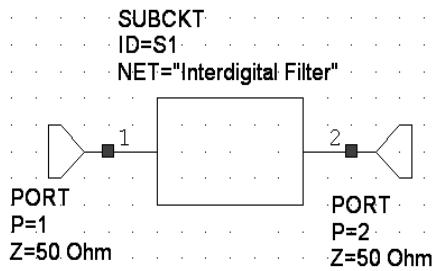


Рис. 5.39

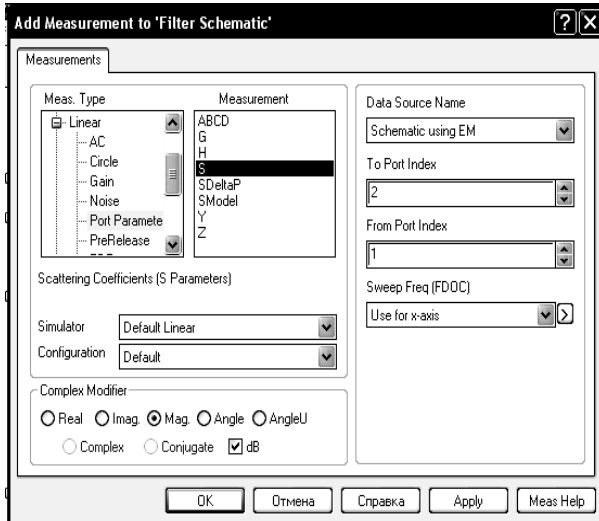


Рис. 5.40

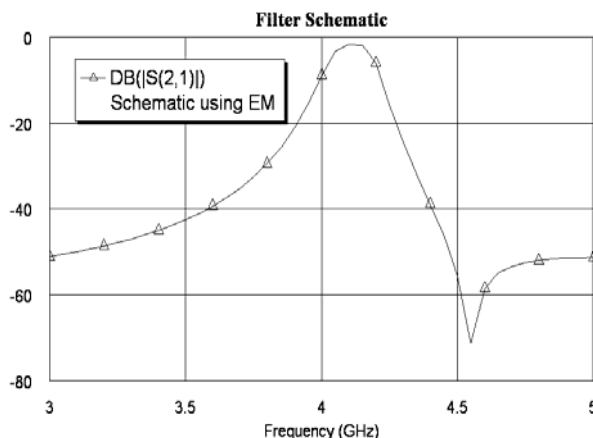


Рис. 5.41

3. Щёлкните мышкой по имени добавляемой подсхемы **Interdigital Filter**, чтобы выделить её, и нажмите **OK**. Или просто дважды щёлкните мышкой по имени добавляемой подсхемы.
4. Перемещая мышку, установите подсхему в окне схемы и щёлкните левой кнопкой мышки, чтобы зафиксировать.
5. Щёлкните мышкой по значку **Port** на панели инструментов и установите порт на входе схемы. Аналогично установите порт на выходе схемы, предварительно два раза щёлкнув правой кнопкой мышки, чтобы вернуть порт на 180 градусов. Созданная схема должна иметь вид, показанный на рис. 5.39.

6. Щёлкните правой кнопкой мышки по имени созданной схемы **Schematic using EM** в группе **Circuit Schematics** в левом окне просмотра проекта и выберите **Options**.
7. На вкладке **Frequencies** открывшегося окна опций схемы снимите отметку в **Use project defaults**, в поле **Start** введите **3**, в поле **Stop** введите **5** и в поле **Step** введите **0.05**. Щёлкните мышкой **Apply** и затем **OK**.
8. Создайте прямоугольный график с именем **Filter Schematic**.
9. При активном окне вновь созданного графика щёлкните мышкой по значку **Add Measurement** на панели инструментов. В открывшемся окне введите такие же параметры, какие были введены при создании предыдущего графика рис. 5.36, только в поле **Data Source Name** введите **Schematic using EM** (рис. 5.40). Нажмите **Apply** и **OK**.
10. Щёлкните мышкой по значку **Analyze** на панели инструментов. Рассчитанный график показан на рис. 5.41. Он такой же, как и график электромагнитной структуры.

На этом заканчивается пример моделирования электромагнитной структуры. При желании вы можете сохранить проделанную вами работу, выбрав а меню **File>Save Project**.

## 5.2. Моделирование микрополоскового аттенюатора

Этот пример показывает, как выполнить электромагнитное моделирование для структуры с напылёнными резисторами. Здесь выполняется моделирование такой же структуры аттенюатора, которая использовалась для линейного моделирования в примере 2.3, чтобы можно было сравнить результаты линейного и электромагнитного моделирования. Однако размеры элементов топологии несколько изменены (округлены) так, чтобы все размеры были кратны размерам ячеек сетки.

### Создание нового проекта.

1. Выберите в меню **File>New Project** (Файл>Новый проект).
2. Выберите в меню **File>Save Project As** (Файл>Сохранить проект как). Откроется диалоговое окно **Save As**.
3. Наберите **At20** и нажмите **Сохранить**.
4. Выберите в меню **Options>Project Options** или дважды щёлкните мышкой по **Project Options** в левом окне просмотра проекта. Откроется диалоговое окно **Project Options**.
5. На вкладке **Global Units** этого окна в поле **Frequency** введите **GHz**, в поле **Length type** введите **mm** и нажмите **OK**.

## Создание электромагнитной структуры.

- Щёлкните левой кнопкой мышки по значку **New EM Structure**  на панели инструментов.

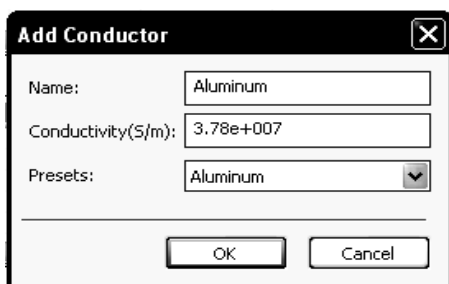


Рис. 5.42

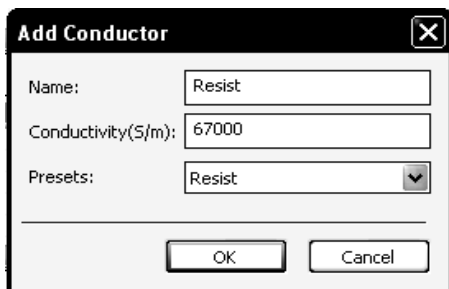


Рис. 5.43

- Наберите **Atr20** в поле **Enter a name for the EM Structure** (Ввод имени для электромагнитной структуры), отметьте **AWR EMSight Simulator** и нажмите **Create**. На рабочем поле откроется окно электромагнитной структуры.
- Щёлкните по значку **Substrate Information** на панели инструментов. На вкладке **Enclosure** открывшегося окна в поле **X\_Dim** введите **13.4**, в поле **Y\_Dim** введите **6.9**, в поле **Grid\_X** введите **0.1** и в поле **Grid\_Y** введите **0.05**.
- На вкладке **Material Defs** в области **Dielectric Definitions** для диэлектрического слоя **Diel\_1** введите **Er=10.55**, **TanD=0.0001**. Для области **Conductor Definitions** щёлкните мышкой по кнопке **Add**, чтобы добавить материал проводника. Откроется дополнительное диалоговое окно **Add Conductor** (рис. 5.42). В поле **Presets** (Предварительные установки) введите **Aluminum**, щёлкнув по кнопке в правом конце этого поля, и нажмите **OK**. Снова щёлкните мышкой по кнопке **Add**, в поле **Presets** введите **Resist** (рис. 5.43) и нажмите **OK**. Вкладка **Material Defs** будет выглядеть, как показано на рис. 5.44.

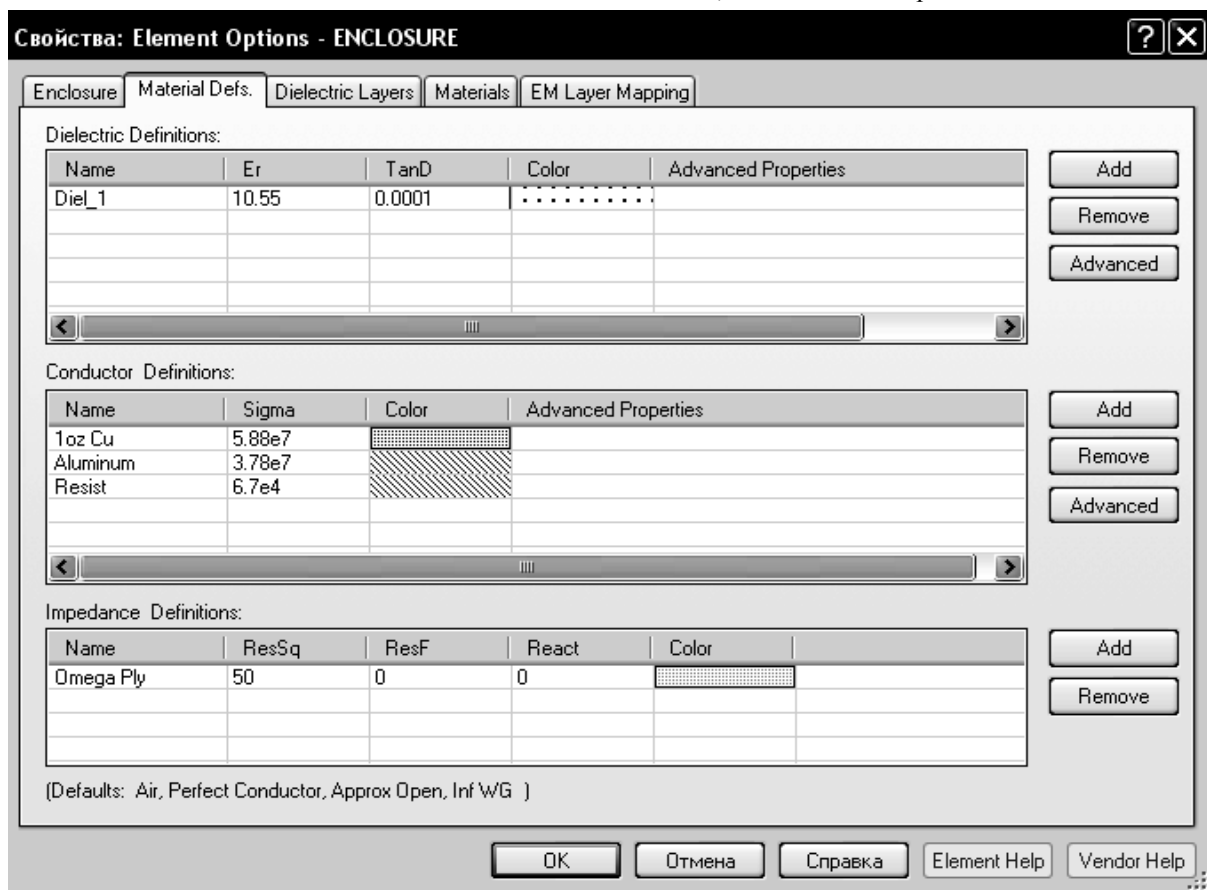


Рис. 5.44

- На вкладке **Dielectric Layers** (Диэлектрические слои) для слоя **1** в колонке **Thickness** (Толщина) введите **7**, в колонке **Material Definition** введите **Air** (Воздух), щёлкнув левой кнопкой мышки по этому полю, в колонке **Draw Scale** (Масштаб черчения) введите **1**. Для слоя **2** в колонке **Thickness** введите **0.5**, в колонке **Material Definition** введите **Diel\_1**, щёлкнув левой кнопкой мышки по этому полю, в колонке **Draw Scale** (Масштаб черчения) введите **4**, чтобы удобнее было просматривать трёхмерное отображение электромагнитной структуры. В поле **Top Boundary** (верхняя граница) введите материал **Aluminum**, в поле **Bottom Boundary** (нижняя граница) введите материал **1 oz Cu**.



## Добавление портов и установка референсных плоскостей.

1. Щёлкните левой кнопкой мышки по значку **Zoom Area** на панели инструментов и выделите левую часть входного проводника.
2. Щёлкните левой кнопкой мышки по этому проводнику, чтобы выделить его.
3. Щёлкните левой кнопкой мышки по значку **Edge Port** на панели инструментов.
4. Поместите курсор на левый край входного проводника, пока не отобразится квадрат, и щёлкните левой кнопкой мышки, чтобы зафиксировать порт.
5. Щёлкните левой кнопкой мышки по порту **1**. По углам отобразятся четыре квадрата.
6. Установите курсор мышки на правый край порта так, чтобы курсор отображался в виде двойной стрелки.
7. Нажмите левую кнопку мышки и не отпуская кнопки, перетащите курсор вправо, пока не будет отображено **dx:1**. Отпустите кнопку мышки, чтобы зафиксировать площадку.
8. Щёлкните левой кнопкой мышки по значку **Auto View** на панели инструментов, чтобы отобразить всю плату.
9. Щёлкните левой кнопкой мышки по значку **Zoom Area** на панели инструментов и выделите правую часть выходного проводника.
10. Щёлкните левой кнопкой мышки по значку **Edge Port** на панели инструментов.
11. Поместите курсор на правый край выходного проводника, пока не отобразится квадрат, и щёлкните левой кнопкой мышки, чтобы зафиксировать порт.
12. Щёлкните левой кнопкой мышки по порту **2**. По углам отобразятся четыре квадрата.
13. Установите курсор мышки на левый край порта так, чтобы курсор отображался в виде двойной стрелки.
14. Нажмите левую кнопку мышки и не отпуская кнопки мышки, перетащите курсор влево, пока не будет отображено **dx:-1**. Отпустите кнопку мышки, чтобы зафиксировать площадку.
15. Щёлкните левой кнопкой мышки по значку **View All** на панели инструментов, чтобы отобразить всю плату.

## Назначение материала проводникам.

1. Щёлкните левой кнопкой мышки по окну топологии, чтобы сделать его активным, если оно не активно.

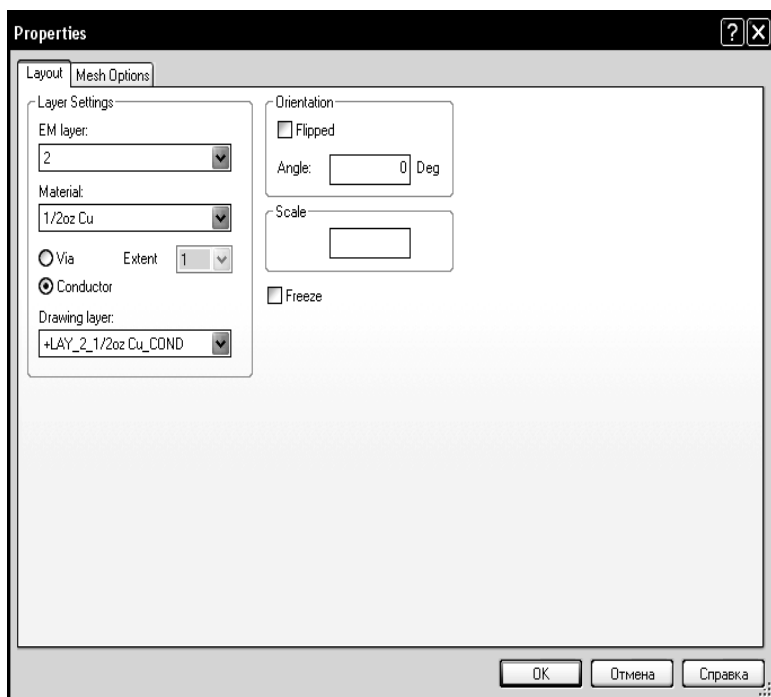


Рис. 5.46

2. Нажмите клавишу **Shift** и щёлкните левой кнопкой мышки поочередно по всем проводникам (кроме резисторов), чтобы выделить их. Затем щёлкните по любому выделенному проводнику правой кнопкой мышки и выберите **Shape Properties**. (Свойства формы). Откроется окно **Properties** (рис. 5.46).

3. В поле **EM Layer** введите **2**, в поле **Material** введите **1/2oz Cu**, щёлкая мышкой по кнопке в правом конце этих полей, отметьте **Conductor** и нажмите **OK**.

4. Повторите пункты 2 и 3 для всех резисторов топологии аттенюатора, но в поле **Material** введите **Res**.

Окончательный вид структуры аттенюатора показан на рис. 5.47.

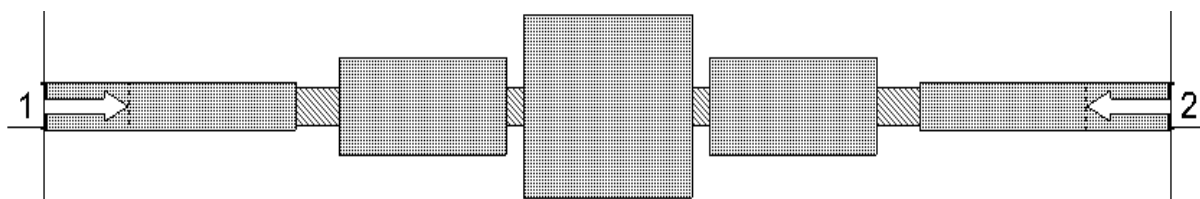


Рис. 5.47

## Создание выходных параметров и уравнений.

1. Дважды щёлкните левой кнопкой мышки по группе **Output Equations** (Выходные уравнения) в окне просмотра проекта. На рабочем поле откроется окно уравнений **Output Equations**.

2. Выберите в меню **Draw>Add Output Equation**. Откроется диалоговое окно **Measurements** (Измеряемые величины).

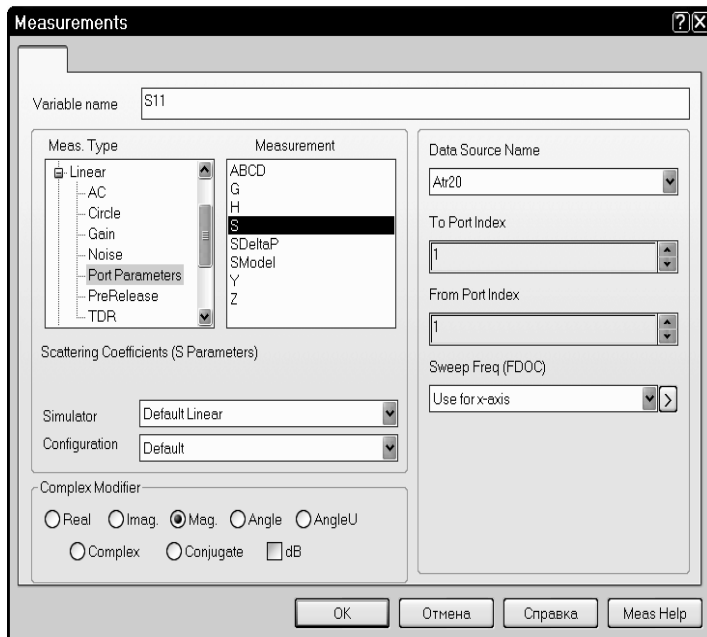


Рис. 5.48

В текстовом поле **Variable name** (Имя переменной) введите **S11**, в списке **Meas. Type** отметьте **Port Parameters**, в списке **Measurement** отметьте **S**, в поле **Data Source Name** введите **atr20**, щёлкая по кнопке справа от этого поля, введите **1** в оба поля **To Port Index** и **From Port Index**, щёлкая по кнопкам справа от этих полей, установите переключатель **Mag** в области **Complex Modifier**, снимите галочку в переключателях **Complex** и **dB**, если они установлены, нажмите **OK** (рис.5.48). В окне уравнений появится поле ввода с курсором в виде крестика. Двигая мышку, установите это поле в верхней части окна уравнений и щёлкните левой кнопкой мышки. Появится выражение

$$S11=atr20: |S(1,1)|$$

Щёлкните левой кнопкой мышки в любом месте окна уравнений за пределами выражения для **S11**.

3. Снова выберите в меню **Draw>Add Output Equation**. В открывшемся окне в текстовом поле **Variable name** введите **S21**, в списке **Meas. Type** отметьте **Port Parameters**, в списке **Measurement** отметьте **S**, в поле **Data Source Name** введите **atr20**, щёлкая по кнопке справа от этого поля, введите **2** в поля **To Port Index** и **1** в поле **From Port Index**, щёлкая по кнопкам справа от этих полей, установите переключатель **Mag** в области **Complex Modifier**, снимите галочку в переключателях **Complex** и **dB**, если они установлены, нажмите **OK**. В окне уравнений появится поле ввода с курсором в виде крестика. Двигая мышку, установите это поле ниже предыдущего уравнения и щёлкните левой кнопкой мышки. Появится выражение

$$S21=atr20: |S(2,1)|$$

Щёлкните левой кнопкой мышки в любом месте окна уравнений за пределами выражения для **S21**.

4. Выберите в меню **Draw>Add Equation** или щёлкните левой кнопкой мышки по значку **Equation** на панели инструментов.

5. Переместите курсор в окно уравнений. В этом окне появится поле ввода. Установите его, двигая мышкой, ниже предыдущего уравнения и щёлкните левой кнопкой мышки, чтобы зафиксировать.

6. Введите в поле ввода уравнение:

$$KstU=(1+S11)/(1-S11)$$

$$S11 = Atr20:|S(1,1)|$$

$$S21 = Atr20:|S(2,1)|$$

$$KstU=(1+S11)/(1-S11)$$

$$LdB=20*\log10(1/S21)$$

Рис. 5.49

и щёлкните левой кнопкой мышки вне этого поля или нажмите клавишу **Enter**.

7. Снова щёлкните левой кнопкой мышки по значку **Equation** на панели инструментов и поместите новое поле ниже предыдущих уравнений.

8. Введите в поле ввода уравнение:

$$Ldb=20*\log10(1/S21)$$

и щёлкните левой кнопкой мышки вне этого поля или нажмите клавишу **Enter**. Добавленные уравнения будут выглядеть, как показано на рис. 5.49.

## Определение частот для моделирования.

1. Правой кнопкой мышки щёлкните по подгруппе **atr20** в группе **EM Structures** и выберите **Options** во всплывающем меню. Откроется диалоговое окно **Options**.
2. Щёлкните панель **Frequencies** (Частоты) в верхней части окна.
3. Снимите галочку (если она стоит) на переключателе **Use Project Frequency** (Использовать частоты проекта), чтобы локальные частоты имели преимущество перед глобальными частотами проекта.
4. Установите **GHz** в поле **Data Entry Units**, щёлкая по стрелкам справа от этого поля.
5. Введите **4** в поле **Start** (Начало), введите **18** в поле **Stop** (Конец) и введите **1** в поле **Step** (Шаг).
6. Нажмите **Apply** (Применить). В окне списка **Current Range** (Текущий диапазон) отображается частотный диапазон и частотные точки с шагом, которые вы только что определили.
7. Нажмите **OK**.

## Создание графика, добавление измеряемых величин и анализ.

1. Щёлкните по значку **New Graph** на панели инструментов.
2. Введите имя графика, например, **Graph 1** в поле **Graph name** (Имя графика), выберите **Rectangular** (Прямоугольный) в области **Graph Type** (Тип графика) и нажмите **OK**.

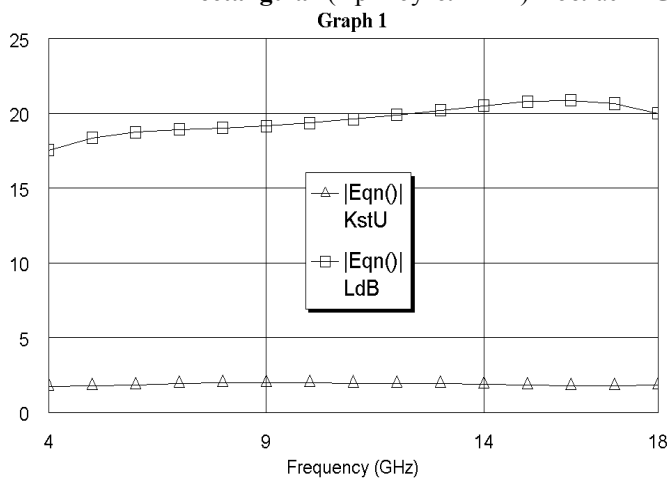


Рис. 5.50

3. Щёлкните правой кнопкой мышки по подгруппе **Graph 1** в окне просмотра проекта и выберите **Add Measurement**.
4. Выберите **Output Equations** в списке **Meas. Type**. В окне списка **Equation Name** выберите **KstU**, щёлкнув по кнопке справа. Отметьте переключатель **Mag** в области **Complex Modifier**. Уберите галочку в окне **dB**, если она установлена. Нажмите **Apply**.
5. В окне списка **Equation Name** выберите **Ldb** и нажмите **Apply**.
6. Нажмите **OK**.

7. Щёлкните левой кнопкой мышки по значку **Analyze** на панели инструментов. Результаты анализа отображаются на графике рис. 5.50.

## Вывод результатов в файл.

1. Щёлкните правой кнопкой мышки по группе **Output Files** (Выходные файлы).
2. Выберите **Add Port Parameter File** (Добавить файл параметра порта), откроется окно **Output Data File** (Выходной файл данных), показанное на рис. 5.51.
3. Выберите **S Parameter** в области **Data Type** (Тип данных). В области **Format** выберите формат данных, сохраняемых в файле, например, **Mag/Ang**.

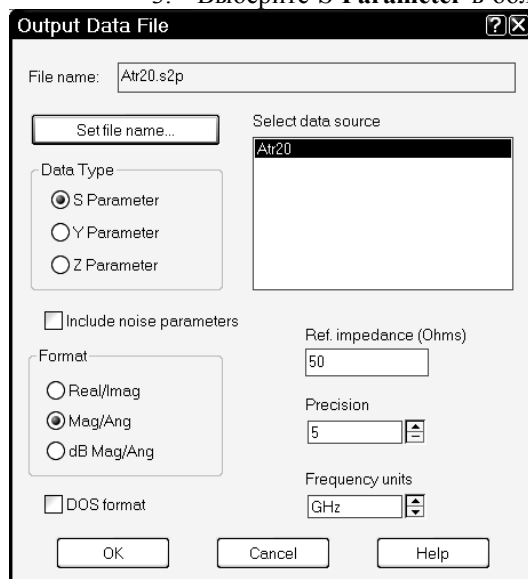


Рис. 5.51

4. В поле **File Name** отображается имя файла по умолчанию, причём файл будет сохранён в той же папке, где находится проект, если нажать кнопку **OK**. Если вы хотите изменить это имя или сохранить файл в другой папке, щёлкните по кнопке **Set file name**. В открывшемся окне укажите папку, где сохранить файл, и наберите имя файла или согласитесь с предлагаемым по умолчанию. Нажмите **Сохранить**. Обратите внимание, что расширение файла должно быть **s2p**, где **2** указывает на количество портов.
5. Нажмите **OK** в окне **Output Data File**. В группе **Output Files** появится имя сохраняемого файла, но на диске файл ещё не сохранён.
6. Щёлкните по значку **Analyze**, чтобы сохранить файл на диске.

## Экспорт топологии в DXF файл.

При создании топологии в электромагнитной структуре мы использовали материалы 1/2oz Cu и Res. Этим материалам не назначено слоёв для черчения и для них нет таблиц соответствия слоёв. В этом случае Microwave Office для таких материалов автоматически создаёт слои черчения. В нашем случае были созданы слои черчения с именами +LAY\_2\_1/2oz Cu\_COND (что можно расшифровать как слой черчения на 2-м слое диэлектрика, материал 1/2oz Cu, проводник), и +LAY\_2\_Res\_COND (см. рис. 5.46). Но lpf файл автоматически не редактируется и новый не создаётся. Таблицы соответствия для этих слоёв также не создаются. Поэтому, если просто экспортировать топологию в dxf файл, щёлкнув правой кнопкой мышки по имени электромагнитной структуры в окне просмотра проекта и выбрать Export EM Layout (как это делалось в прежних версиях), то dxf файл будет создан. Но AutoCAD прочесть его не сможет и выдаст сообщение, что в файле имеется строка с недопустимым именем слоя (однако прежние версии Microwave Office этот файл воспринимают). Тем не менее, экспорт топологии можно выполнить, не изменяя lpf файл и не создавая таблиц соответствия, действуя следующим образом.

Пользуясь тем, что dxf файл не содержит никакой информации о материале топологических элементов (по существу, это просто таблица координат), мы для экспорта топологии можем назначить всем топологическим элементам слой черчения, который уже имеется в lpf файле. В файле default.lpf таким слоем является слой с именем Copper и с назначенным материалом Perfect Conductor, для которого имеются все необходимые таблицы соответствия. Этот слой черчения и будем использовать. Однако если просто переназначить слой черчения в уже существующей электромагнитной структуре, то автоматически будет изменён материал слоя и будут потеряны результаты анализа. Чтобы этого не произошло, делаем копию электромагнитной структуры.

1. Установите курсор на имя электромагнитной структуры **Atr20** в левом окне просмотра проекта, нажмите левую кнопку мышки и, не отпуская кнопки, переместите курсор на группу **EM Structures**, опустите кнопку. На рабочем поле будет создана копия электромагнитной

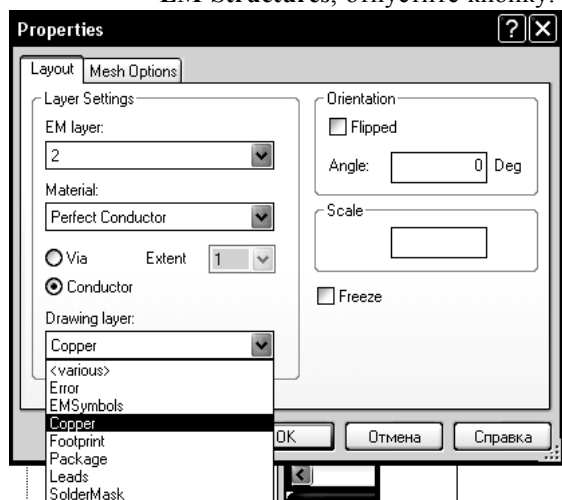


Рис. 5.52

- структуры с именем **Copy of At20**.
2. Установите курсор на это имя, щёлкните правой кнопкой мышки и выберите **Rename EM Structure** (Переименовать электромагнитную структуру). Переименуйте скопированную структуру в **At20\_EM**.
3. Снова щёлкните правой кнопкой мышки по имени скопированной структуры и выберите **Toggle Enable** (Переключатель блокировки), чтобы запретить выполнять анализ этой структуры.
4. В окне скопированной структуры установите курсор левее и выше топологии, нажмите левую кнопку мышки и переместите курсор правее и ниже топологии, чтобы выделить все элементы топологии.
5. Установите курсор мышки на любой выделенный элемент топологии, щёлкните правой кнопкой мышки и выберите **Shape Properties**. В поле **Drawing Layer** открывшегося окна введите **Copper**, щелкнув по кнопке в конце этого поля (рис. 5.52). Нажмите **OK**.

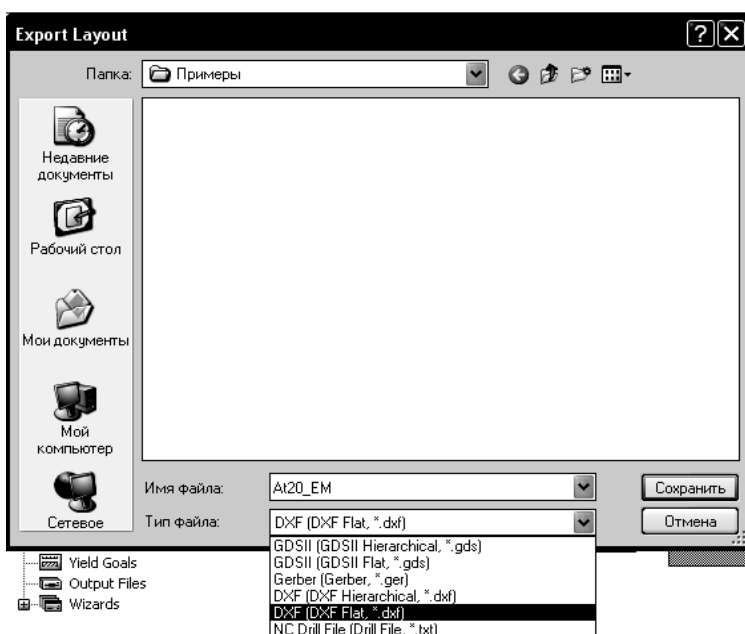


Рис. 5.53

ленный элемент топологии, щёлкните правой кнопкой мышки и выберите **Shape Properties**. В поле **Drawing Layer** открывшегося окна введите **Copper**, щелкнув по кнопке в конце этого поля (рис. 5.52). Нажмите **OK**.

6. Щёлкните правой кнопкой по имени скопированной электромагнитной структуры и выберите **Export EM Layout**. В открывшемся окне установите тип файла **DXF(DXF Flat, \*.dxf)** и нажмите **Сохранить** (рис. 5.53).

Топология, загруженная в AutoCAD из созданного dxf файла, будет выглядеть, как показано на рис. 5.54. Обратите внимание, что в экспортированной топологии отброшены отрезки входного и выходного проводников от края корпу-



са до положения референсных плоскостей. Это хорошо видно, если экспортировать не только одну топологию проводников, но и саму плату. Для этого на всю плату нужно также нанести слой черчения **Copper**.

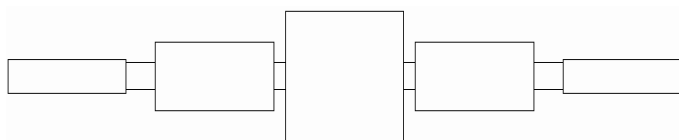


Рис. 5.54

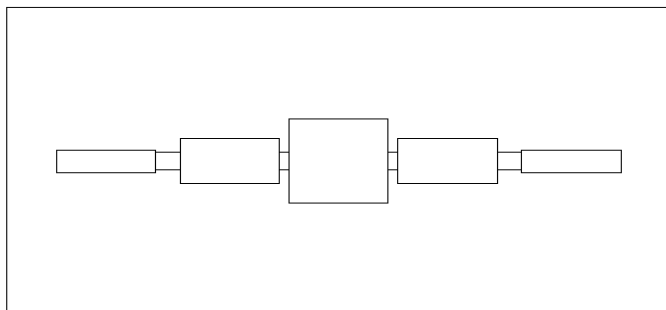


Рис. 5.55

При моделировании электромагнитной структуры рассчитываются характеристики между референсными плоскостями. Отрезки линий между краем корпуса и положением референсной плоскости решающим устройством исключаются из анализа (так называемая процедура *de-embedding* – исключение). Если на реальной плате подводящие отрезки линий согласованы с созданной топологией структуры, то длина подводящих отрезков особого значения не имеет. Но в некоторых случаях, например, если подводящие отрезки в моделируемой структуре являются частью трансформатора сопротивлений, их длина в реальной топологии должна быть равна расчётной длине, т.е. указанные выше отрезки до референсных плоскостей должны быть удалены. Как видно из приведённого примера, Microwave Office делает это автоматически при экспорте топологии электромагнитной структуры (в более ранних версиях этого не было).

Учитывая это, слой черчения для платы можно наносить только между референсными плоскостями. Если желательно, чтобы проводники начинались с некоторым отступом от края платы, этот слой должен несколько выступать за положение референсных плоскостей.

Дважды щёлкните мышкой по электромагнитной структуре вне топологических элементов аттенюатора. Установите курсор на ромб посередине левой стороны выделенного прямоугольника, нажмите левую кнопку мышки и сдвиньте эту сторону вправо, не доводя её до референсной плоскости, например, на 0.2 мм. Аналогично сдвиньте правую сторону прямоугольника на такое же расстояние влево. На созданном прямоугольнике можно нанести дополнительные топологические элементы, например, реперные знаки и строки текста.

Щёлкните мышкой по значку **Polygon** на панели инструментов. Установите курсор на левый верхний угол созданного прямоугольника и щёлкните левой кнопкой мышки. Затем передвигайте курсор, щёлкая мышкой после каждого перемещения на **0.6** вправо, на **0.2** вниз, на **0.4** влево, на **0.4** вниз, на **0.2** влево и здесь дважды щёлкните левой кнопкой мышки. Щёлкните по значку **Copy** на панели инструментов. Щёлкая мышкой по значку **Paste** на панели инструментов и затем, щёлкая правой кнопкой мышки, чтобы развернуть скопированный реперный знак соответствующим образом, установите реперные знаки на остальных углах созданного прямоугольника.

Выберите в меню **Options>Layout Options** и на вкладке **Layout Font** открывшегося окна в поле **Height** введите высоту шрифта **0.6** мм и нажмите **OK**. Выберите в меню **Draw>Text**, переместите курсор на то место в электромагнитной структуре, где должен быть текст, и щёлкните мышкой. В образовавшееся поле введите нужный текст, например, **Аттенюатор**, щёлкните мышкой вне поля текста.

По умолчанию вновь создаваемым топологическим элементам и для текста назначается слой черчения **Copper**. Проверьте это, щёлкнув по реперному знаку или тексту левой кнопкой мышки и затем правой кнопкой и выбрав **Shape Properties**. В противном случае назначьте этот слой вручную, предварительно нажав клавишу **Shift** и щёлкая мышкой по реперным знакам и тексту, чтобы выделить их. Электромагнитная структура будет выглядеть, как показано на рис. 5.56.

Выполните экспорт созданной электромагнитной структуры. В AutoCAD она будет выглядеть, как показано на рис. 5.57.

Щёлкните левой кнопкой мышки по значку **Rectangle** на панели инструментов. Установите курсор мышки на верхний левый угол корпуса электромагнитной структуры, нажмите левую кнопку мышки и переместите курсор на правый нижний угол корпуса, отпустите кнопку. Весь прямоугольник корпуса будет выделен. Щёлкните по выделенному прямоугольнику правой кнопкой мышки, выберите **Shape Properties** и в открывшемся окне установите **Copper** в поле **Drawing Layer**, нажмите **OK**. Выполните экспорт, как описано выше. Теперь топология, загруженная в AutoCAD, будет выглядеть, как показано на рис. 5.55. Здесь хорошо видно, что отрезки линий между краями корпуса и референсными плоскостями удалены при экспорте топологии.

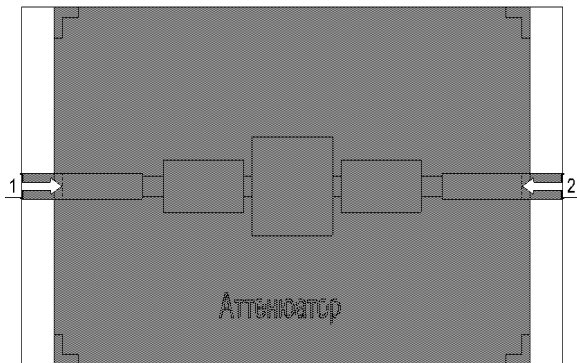


Рис. 5.56

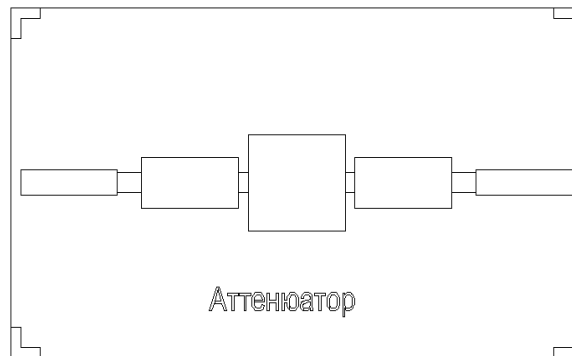


Рис. 5.57

Другой способ экспорта электромагнитных структур при установках по умолчанию будет рассмотрен в следующем примере.

### 5.3 Моделирование микрополоскового двухсекционного делителя мощности.

Создайте новый проект и сохраните его, присвоив имя **Divider**, как описано в примере 5.2.

Создайте электромагнитную структуру, как описано в примере 5.2, присвоив ей имя **Div**.

На вкладке **Enclosure** окна свойств электромагнитной структуры в поле **X\_Dim** введите **10**, в поле **Y\_Dim** введите **5.1**, в поле **Grid\_X** введите **0.1** и в поле **Grid\_Y** введите **0.05**.

На вкладке **Material Defs** для области **Conductor Definitions**, щёлкая мышкой по кнопке **Add**, добавьте материалы проводника **Aluminum** и **Resist**, как описано в примере 5.2.

На вкладке **Materials** щёлкните мышкой по кнопке **Insert**. В столбце **Name** замените появившееся имя **Trace1** на **Alum**, в столбце **Thickness** введите **0.02**, в столбце **Material Definition** введите **Aluminum**, щёлкнув мышкой по этому полю. Снова щёлкните мышкой по кнопке **Insert**. В столбце **Name** введите имя материала **Res**, в столбце **Thickness** введите **0.00025**, в столбце **Material Definition** введите **Resist**, щёлкнув мышкой по этому полю.

Все остальные параметры на всех вкладках окна свойств электромагнитной структуры введите такие же, как и в примере 5.2.

#### Создание топологии входного проводника.

1. Щёлкните левой кнопкой мышки по значку **Zoom Area** и выделите среднюю часть платы возле левого края так, чтобы хорошо была видна сетка. Это облегчит рисование.

2. Выберите в меню **Draw>Polygon** (Чертить>Многоугольник) или щёлкните левой кнопкой мышки по значку **Polygon** на панели инструментов.

3. Переместите курсор в окно электромагнитной структуры, поместите его на левый край корпуса примерно в центре по ширине корпуса и щёлкните левой кнопкой мышки, чтобы зафиксировать начало рисунка топологии.

4. Не нажимая кнопки мышки, двигайте курсор вправо так, чтобы было отображено **dx:2, dy:0**. Щёлкните левой кнопкой мышки, чтобы зафиксировать эту точку.

5. Нажмите клавишу **Tab**, в открывшемся окне в поле **dx** введите **0.3**, в поле **dy** введите **0.15**, нажмите **OK**.

6. Продолжайте аналогично:

- o двигайте курсор вправо, пока будет **dx:0.1 dy:0**;
- o двигайте курсор вниз, пока будет **dx:0 dy:-0.15**;
- o двигайте курсор влево, пока будет **dx:-0.1 dy:0**;
- o нажмите клавишу **Tab**, в открывшемся окне в поле **dx** введите **-0.4**, в поле **dy** введите **-0.25**, нажмите **OK**;
- o нажмите клавишу **Tab**, в открывшемся окне в поле **dx** введите **0.4**, в поле **dy** введите **-0.25**, нажмите **OK**;
- o двигайте курсор вправо, пока будет **dx:0.1 dy:0**;
- o двигайте курсор вниз, пока будет **dx:0 dy:-0.15**;
- o двигайте курсор влево, пока будет **dx:-0.1 dy:0**;
- o нажмите клавишу **Tab**, в открывшемся окне в поле **dx** введите **-0.3**, в поле **dy** введите **0.15**, нажмите **OK**;
- o двигайте курсор влево, пока будет **dx:-2 dy:0** и здесь дважды щёлкните левой кнопкой мышки, чтобы замкнуть контур.

7. Щёлкните левой кнопкой мышки по входному проводнику, чтобы его выделить, если он не выделен.

- Щёлкните по значку **Measure** на панели инструментов, измерьте расстояния от верхнего края проводника до верхнего края корпуса и от нижнего края проводника до нижнего края корпуса. Эти расстояния должны быть одинаковыми. В противном случае поместите курсор на созданный проводник, нажмите левую кнопку мышки и, двигая проводник, поместите его симметрично относительно стенок корпуса.

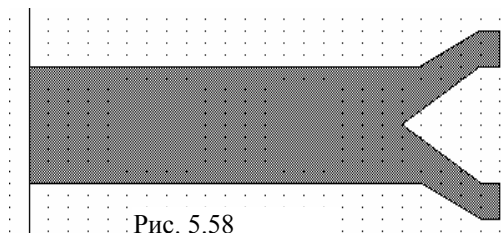


Рис. 5.58

Полученная топология входного проводника показана на рис. 5.58.

**Примечание.** Если дважды щёлкнуть левой кнопкой по проводнику, в серединах ограничивающих проводник линиях и в углах появятся тёмно-синие точки. Поместив курсор на такую точку так, чтобы он отображался в виде двойной стрелки, можно, нажав левую кнопку мышки, двигать линию или угол топологии и, таким образом, редактировать топологию.

### Создание топологии проводников плеч делителя.

- Щёлкните левой кнопкой мышки по значку **Rectangle** на панели инструментов.
- Поместите курсор в окно электромагнитной структуры и нажмите клавишу **Tab** на клавиатуре. Откроется диалоговое окно **Enter Coordinates**.
- Введите **2.4** в поле **x**, введите **2.95** в поле **y** и нажмите **OK**.
- Нажмите клавишу **Tab** снова, чтобы открыть диалоговое окно **Enter Coordinates**. Установите флажок в переключателе **Rel**, чтобы активизировать относительные координаты. Введите **2.2** в поле **dx**, и **-0.15** в поле **dy** и нажмите **OK**.
- Выделите созданный проводник, если он не выделен, щёлкните по значку **Copy** и затем по значку **Paste** на панели инструментов. Переместите курсор в поле электромагнитной структуры и подключите скопированный проводник к нижнему плечу делителя.

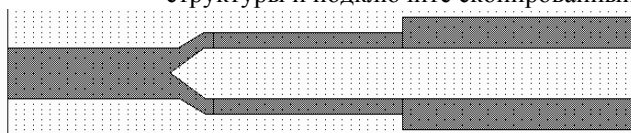


Рис. 5.59

- Повторите пункты с 1-го по 4-ый, но введите **4.6** в поле **x**, введите **2.8** в поле **y**, **2.7** в поле **dx**, **0.3** в поле **dy**.

- Выделите созданный проводник, если он не выделен, щёлкните по значку **Copy** и затем по значку **Paste** на панели инструментов. Переместите курсор в поле электромагнитной структуры и подключите скопированный проводник к нижнему плечу делителя. Должна получиться топология, показанная на рис. 5.59.

### Создание топологии выходных проводников.

- Щёлкните левой кнопкой мышки по значку **Auto View** на панели инструментов, чтобы отобразить всю плату.
- Щёлкните левой кнопкой мышки по значку **Zoom Area** на панели инструментов и выделите правую часть обоих последних проводников делителя так, чтобы была видна сетка.
- Щёлкните левой кнопкой мышки по значку **Rectangle** на панели инструментов.
- Поместите курсор в окно электромагнитной структуры и нажмите клавишу **Tab** на клавиатуре. Введите **7.3** в поле **x**, введите **3.1** в поле **y** и нажмите **OK**. Нажмите клавишу **Tab** снова. Установите флажок в переключателе **Rel**, чтобы активизировать относительные координаты. Введите **0.5** в поле **dx**, и **2** в поле **dy** и нажмите **OK**.

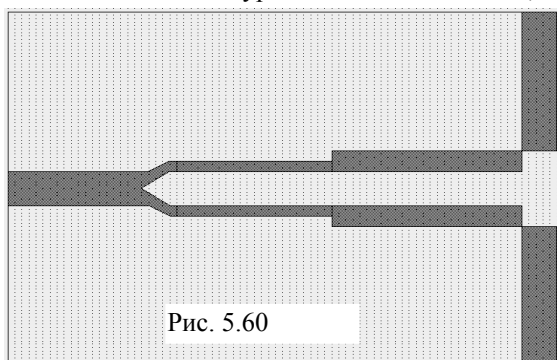


Рис. 5.60

- Выделите созданный проводник, если он не выделен, щёлкните по значку **Copy** и затем по значку **Paste** на панели инструментов. Переместите курсор в поле электромагнитной структуры и подключите скопированный проводник к правому нижнему углу нижнего проводника делителя. Должна получиться топология, показанная на рис. 5.60.

- Щёлкните левой кнопкой мышки по значку **Polygon** на панели инструментов.
- Поместите курсор на правый нижний угол верхнего выходного проводника, щёлкните левой кнопкой мышки, переместите курсор на **0.5** мм влево, щёлкните левой кнопкой мышки, переместите курсор на **0.3** мм вниз и дважды щёлкните левой кнопкой мышки.

- Выделите созданный треугольник, если он не выделен. Выберите в меню **Edit>Mirror**, поместите курсор на выделенный прямоугольник, нажмите левую кнопку мышки и вращайте мышкой созданную копию, пока не получите зеркальное отображение треугольника для соединения нижних проводников и щёлкните левой кнопкой мышки. Затем поместите созданный треугольник так, чтобы соединить нижние проводники, как показано на рис. 5.61.

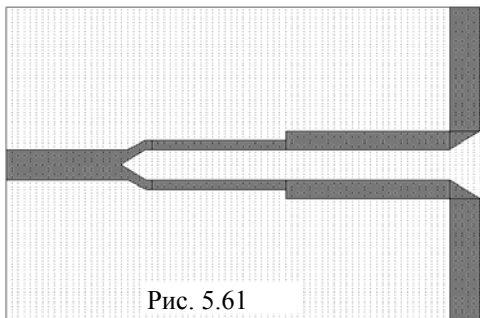


Рис. 5.61

- Выделите всю созданную топологию. Для этого установите курсор левее и выше созданной электромагнитной структуры, нажмите левую кнопку мышки и переместите курсор правее и ниже электромагнитной структуры так, чтобы вся топология попала в образовавшийся прямоугольник. Или выберите в меню **Edit>Select All**.

- Щёлкните правой кнопкой мышки по любому выделенному проводнику и выберите **Shape Properties**. В открывшемся окне в поле **Material** введите **1/2oz Cu** и нажмите **OK**.

### Создание топологии резисторов.

- Щёлкните левой кнопкой мышки по значку **Rectangle** на панели инструментов.
- Поместите курсор в окно электромагнитной структуры и нажмите клавишу **Tab** на клавиатуре. Откроется диалоговое окно **Enter Coordinates**.
- Введите **4.5** в поле **x**, введите **2.1** в поле **y** и нажмите **OK**.
- Нажмите клавишу **Tab** снова. Установите флажок в переключателе **Rel**, введите **0.3** в поле **dx**, **0.9** в поле **dy** и нажмите **OK**.
- Повторите пункты с 1-го по 4-ый, но введите **7.2** в поле **x**, введите **2.1** в поле **y**, **0.1** в поле **dx**, **0.9** в поле **dy**.
- Нажмите клавишу **Shift** и щёлкните левой кнопкой мышки поочередно по обоим резисторам, чтобы выделить их. Щёлкните правой кнопкой мышки по любому выделенному резистору и выберите **Shape Properties**. В открывшемся окне в поле **Material** введите **Res** и нажмите **OK**.

### Добавление портов и установка референсных плоскостей.

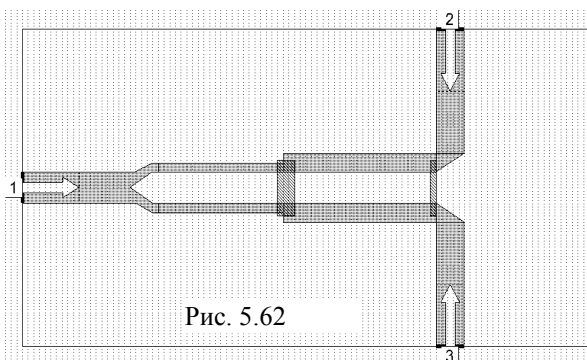


Рис. 5.62

Добавьте порты к входному проводнику, и затем к верхнему и нижнему выходным проводникам, как описано в примере 5.2 и сдвиньте их референсные плоскости на 1 мм внутрь электромагнитной структуры. Должна получиться топология, показанная на рис. 5.62.

### Определение частот для моделирования.

Определите частоты для моделирования, как описано в примере 5.2, но введите **4** в поле **Start**, **18** в поле **Stop** и **1** в поле **Step**.

### Создание графика и добавление измеряемых величин.

Создайте график **Graph 1** и добавьте к нему измеряемые величины, как описано в примере 5.2. В

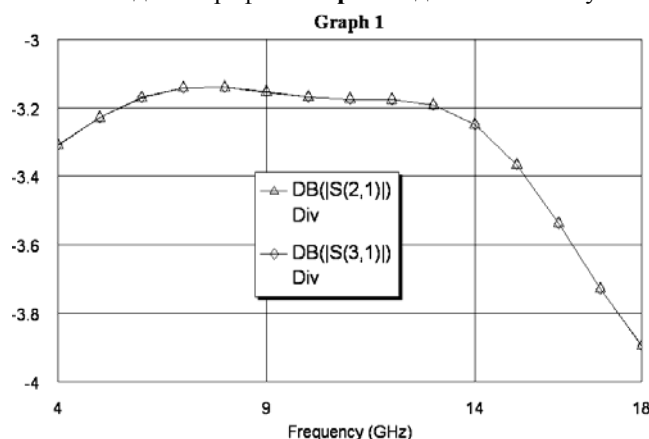


Рис. 5.63

окне **Add Measurement** выберите **Port Parameter** в списке **Meas. Type**, **S** в списке **Measurement**, **Div** в поле **Data Source Name**, **2** в поле **To Port Index**, **1** в поле **From Port Index**, отметьте **dB** и **Mag**, нажмите **Apply**. Затем выберите **3** в поле **To Port Index** и нажмите **Apply**. Нажмите **OK**.

### Анализ делителя.

- Щёлкните левой кнопкой мышки по значку **Analyze** на панели инструментов. Результаты анализа отображаются на графике рис. 5.63.

## Создание второго графика и добавление измеряемых величин.

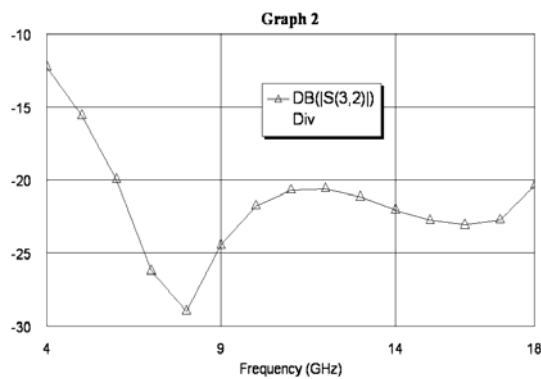


Рис. 5.64

Создайте график **Graph 2** и добавьте к нему следующую измеряемую величину. В окне **Add Measurement** выберите **Port Parameter** в списке **Meas. Type**, **S** в списке **Measurement**, **Del** в поле **Data Source Name**, **3** в поле **To Port Index**, **2** в поле **From Port Index**, отметьте **DB** и **Mag**, нажмите **Apply**. Нажмите **OK**.

## Анализ делителя.

1. Щёлкните левой кнопкой мышки по значку **Analyze** на панели инструментов. Результаты анализа отображаются на графике рис. 5.64.

## Создание выходных параметров и уравнений.

- Дважды щёлкните левой кнопкой мышки по группе **Output Equations** в окне просмотра проекта. Откроется окно **Output Equations**.
- Щёлкните левой кнопкой мышки по значку **Output Equation** на панели инструментов. Откроется диалоговое окно **Measurements (Измеряемые величины)**. В текстовом поле **Variable name** (Имя переменной) введите **S11**, в списке **Meas. Type** отметьте **Port Parameters**, в списке **Measurement** отметьте **S**, в поле **Data Source Name** введите **div**, щёлкая по кнопке справа от этого поля, введите **1** в оба поля **To Port Index** и **From Port Index**, щёлкая по кнопкам справа от этих полей, установите переключатель **Mag** в области **Complex Modifier**, снимите галочку в переключателях **Complex** и **dB**, если они установлены, щёлкните **OK**. В окне уравнений появится поле ввода с курсором в виде крестика. Двигая мышку, установите это поле в верхней части окна уравнений и щёлкните левой кнопкой мышки. Появится выражение  $S11=div: |S[1,1]|$
- Щёлкните левой кнопкой мышки в любом месте окна уравнений за пределами выражения для **S11**.
- Аналогично создайте переменные  $S22=div: |S[2,2]|$  и  $S33=div: |S[3,3]|$ .

$$S11 = Div:|S(1,1)|$$

$$S22 = Div:|S(2,2)|$$

$$S33 = Div:|S(3,3)|$$

$$KstU1=(1+S11)/(1-S11)$$

$$KstU2=(1+S22)/(1-S22)$$

$$KstU3=(1+S33)/(1-S33)$$

Рис. 5.65

- Выберите в меню **Draw>Add Equation** или щёлкните левой кнопкой мышки по значку **Equation** на панели инструментов.
- Переместите курсор в окно уравнений. В этом окне появится поле ввода. Установите его, двигая мышкой, ниже предыдущего уравнения и щёлкните левой кнопкой мышки, чтобы зафиксировать.
- Введите в поле ввода уравнение:  $KstU1=(1+S11)/(1-S11)$  и щёлкните левой кнопкой мышки вне этого поля или нажмите клавишу **Enter**.
- Аналогично добавьте уравнения  $KstU2=(1+S22)/(1-S22)$  и  $KstU3=(1+S33)/(1-S33)$ . Созданные уравнения будут выглядеть, как показано на рис. 5.65.

## Создание третьего графика, добавление измеряемых величин и анализ.

- Щёлкните по значку **New Graph** на панели инструментов.
- Введите имя графика, например, **Graph 3** в поле **Graph name**, выберите **Rectangular** в области **Graph Type** и нажмите **OK**.
- Щёлкните левой кнопкой мышки по значку **Add Measurement** на панели инструментов.

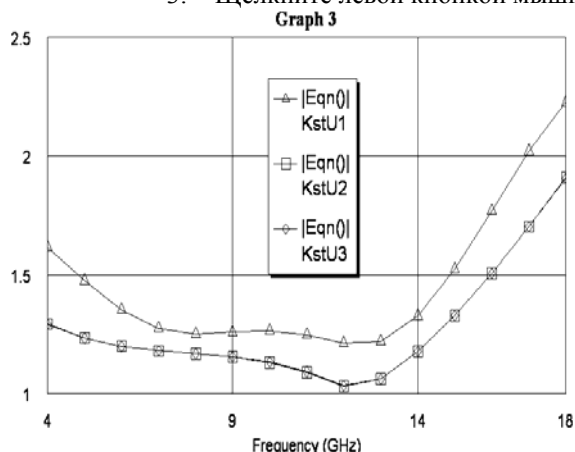


Рис. 5.66

4. Выберите **Output Equations** в списке **Meas. Type**. В окне списка **Equation Name** выберите **KstU1**, щёлкнув по кнопке справа. Отметьте переключатель **Mag** в области **Complex Modifier**. Уберите галочку в окне **dB**, если она установлена. Нажмите **Apply**.

5. В окне списка **Equation Name** выберите **KstU2**. Нажмите **Apply**.

6. В окне списка **Equation Name** выберите **KstU3**. Нажмите **Apply**.

7. Нажмите **OK**.

8. Щёлкните левой кнопкой мышки по значку **Analyze** на панели инструментов. Результаты анализа отображаются на графике рис. 5.66.

## Экспорт топологии в DXF файл.

В предыдущем примере экспорт топологии выполнялся после предварительного создания копии электромагнитной структуры. Другим вариантом экспорта топологии при установках по умолчанию может быть предварительное копирование не в другую электромагнитную структуру, а в окно топологии схемы.

1. Щёлкните мышкой по значку **New Schematic** и создайте схему с именем **Div\_Schematic**. Откроется пустое окно схемы.
2. Щёлкните мышкой по значку **New Schematic Layout View** на панели инструментов. Откроется пустое окно топологии схемы.
3. В поле **Grid Spacing** на панели инструментов введите множитель 0.5, чтобы размер ячеек сетки сделать равным 0.05 мм.
4. Создайте прямоугольник со сторонами, равными сторонам корпуса электромагнитной структуры. Для этого щёлкните мышкой по значку **Rectangle** на панели инструментов. Пометите курсор в окно топологии схемы и нажмите клавишу **Tab**. В открывшемся окне в поля **x** и **y** введите **0**, нажмите **OK** и затем клавишу **Tab**. В открывшемся окне в поле **dx** введите **10**, в поле **dy** введите **5.1**, нажмите **OK**.

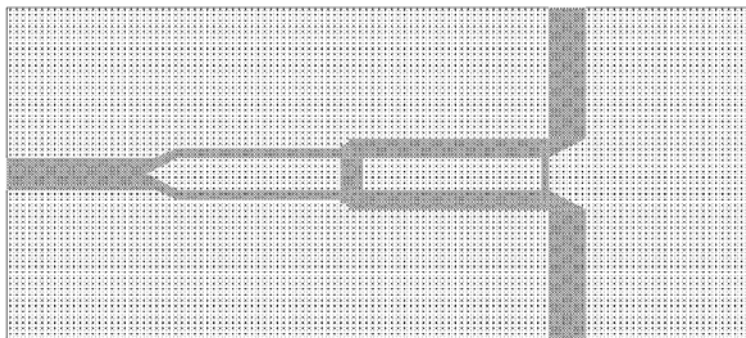


Рис. 5.67

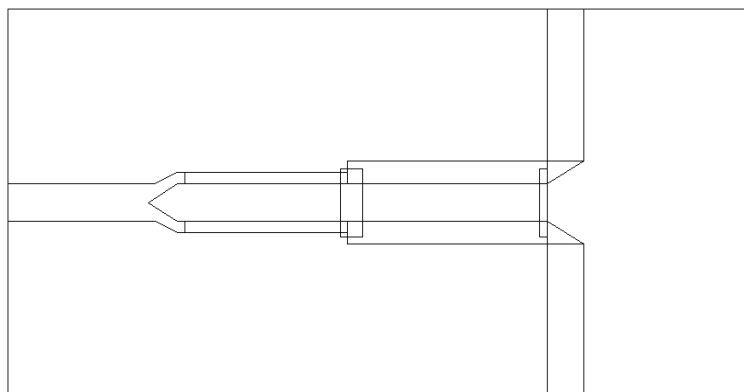



Рис. 5.68

кнопкой мышки и выберите **Shape Properties**. В открывшемся окне в поле **Draw Layers** введите **Copper** и нажмите **OK**.

7. Выберите в меню **Layout>Export**. В открывшемся окне установите тип файла **DXF(DXF Flat, \*.dxf)** и нажмите **Сохранить**.

В AutoCAD топология из созданного DXF файла будет выглядеть, как показано на рис. 5.68.

В этом примере в окне редактора топологии схемы вначале создавался прямоугольник, покрытый слоем черчения, чтобы записать в DXF файл размеры платы. На этом слое вы можете в редакторе топологии схемы добавить различные дополнительные топологические элементы, как описано в предыдущем примере. Если нужно записать в DXF файл только топологию делителя, заполненного прямоугольника создавать не нужно.

Заметим, что при экспорте топологии вместе с размерами платы подобным образом, нельзя включать опцию топологии **Union layout shapes** (Объединить формы топологии) на вкладке **Export/LPF** открывающегося окна при выборе в меню **Options>Layout Options**. Если эту опцию включить, при экспорте будут объединены проводники делителя со слоем, покрывающим плату, и в AutoCAD будет отображён только пустой прямоугольник. Эту опцию можно включить, если экспортируется только топология делителя. Если желательно объединить проводники делителя, лучше это сделать в редакторе топологии схемы до экспорта топологии. Нажмите клавишу **Shift** и, щёлкая мышкой по проводникам делителя (кроме резистора), выделите их. Выберите в меню **Draw>Modify Shapes>Union** или щёлкните по значку **Union**  на панели инструментов и затем выполните экспорт.

Обратите внимание, что при этом способе экспорта топологии удаление отрезков линии между краем корпуса и референсной плоскостью не делается.

5. Сделайте активным окно электромагнитной структуры, выделите всю топологию и щёлкните по значку **Copy** на панели инструментов. Сделайте активным окно топологии схемы и щёлкните по значку **Paste** на панели инструментов. Вставьте скопированную топологию в созданный прямоугольник. Должна получиться топология, показанная на рис. 5.67.

6. По умолчанию слой черчения для всех элементов топологии при копировании назначен с именем **Error**. Установите курсор левее и выше прямоугольника топологии, нажмите левую кнопку мышки и переместите курсор правее и ниже прямоугольника, чтобы выделить всю топологию. Щёлкните правой

## Импорт топологии из DXF файла.

В 7-ой версии Microwave Office нельзя импортировать топологию непосредственно в электромагнитную структуру. Сначала топологию нужно импортировать в редактор топологического чертежа Artwork Editor, затем копировать и вставлять в редактор электромагнитной структуры. Т.к. импортируемый файл не содержит информации, необходимой для моделирования электромагнитной структуры (номера слоя модели, материала и т.д.), программе нужно указать, как обрабатывать каждую топологическую форму. В этом примере рассмотрим метод импорта, который можно применить для простой структуры, имеющей только один или немного слоёв.

Т.к. в каталоге AWR нет DXF файлов, будем использовать файл, созданный в этом примере.

1. Создайте новый проект, выбрав в меню **File>New Project** и сохраните его под именем **Divider-Import**, выбрав в меню **File>Save Project As**.

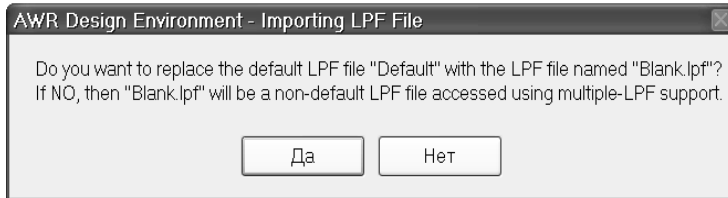


Рис. 5.69

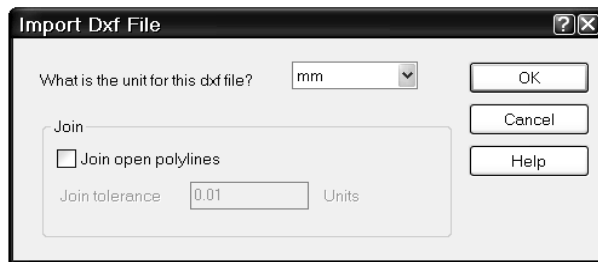


Рис. 5.70

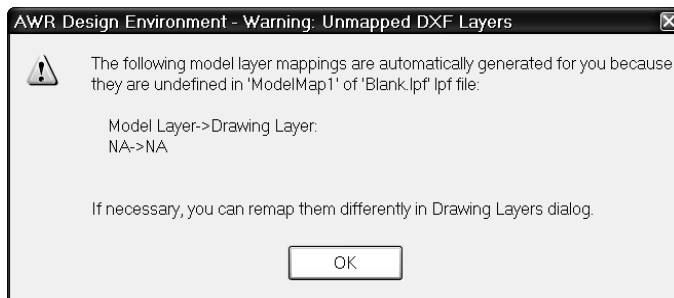


Рис. 5.71

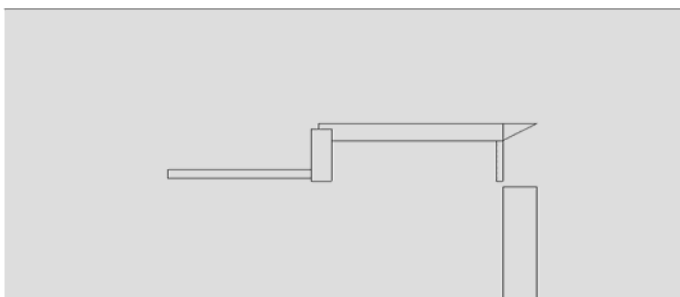


Рис. 5.72

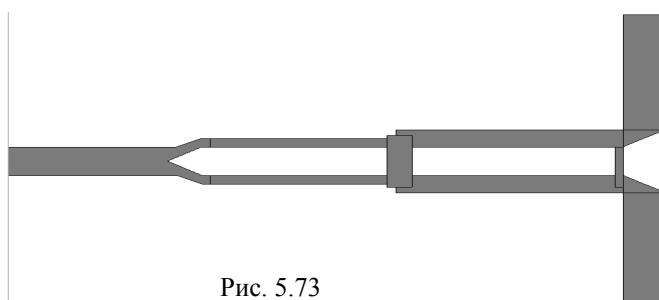


Рис. 5.73

чтобы удалить слой, покрывающий плату (рис. 5.73).

2. Откройте менеджер топологии, щёлкнув мышкой о панели **Layout** в левом нижнем углу окна проекта.
3. Щёлкните правой кнопкой мышки по **Layer Setup** и выберите **Import Process Definition** или выберите в меню **Project>Process Library>Import LPF**. В открывшемся окне импорта найдите файл **Blank.lpf** (находится в корневом каталоге программы) и откройте его. В открывшемся окне предупреждения (рис. 5.69) нажмите **Да**.
4. Щёлкните правой кнопкой мышки по **Cell Libraries** и выберите **Import DXF Library**.
5. В открывшемся окне импорта найдите файл, который нужно импортировать (в нашем случае это будет **Div\_Schematic**) и откройте его. Откроется окно с запросом, какие единицы измерения используются в файле (рис. 5.70). Введите **mm** и нажмите **OK**. Откроется следующее окно, в котором сообщается, какие слои будут созданы автоматически (рис. 5.71), нажмите **OK**. В окне менеджера топологии появится имя библиотеки элементов **Div\_Schematic** (с указанием пути к DXF файлу) и в этой библиотеке будет ячейка с таким же именем.
6. Щёлкните правой кнопкой мышки по имени ячейки в окне менеджера топологии и выберите **Flatten Layout Cell** (Сгладить ячейку топологии).
7. Дважды щёлкните мышкой по имени ячейки в появившейся библиотеке элементов. Т.к. наша плата покрыта слоем черчения, то проводники или какая-то их часть может быть скрыта этим слоем и не видна (рис. 5.72). Щёлкните по слою покрытия в месте, где нет проводников делителя, чтобы выделить этот слой, и нажмите клавишу **Delete**,

- Выберите в меню **Options>Project Options** или дважды щёлкните мышкой по **Project Options** в левом окне просмотра проекта. Откроется диалоговое окно **Project Options**.
- На вкладке **Global Units** этого окна в поле **Frequency** введите **GHz**, в поле **Length type** введите **mm** и нажмите **OK**.
- Выберите в меню **Edit>Select All**, чтобы выделить всю топологию и затем щёлкните по

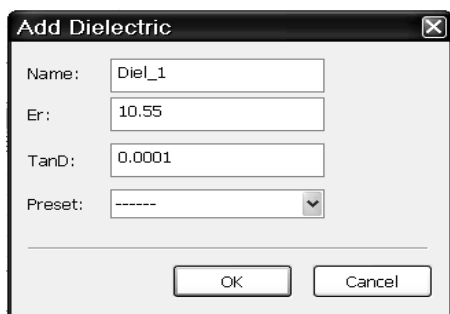


Рис. 5.74

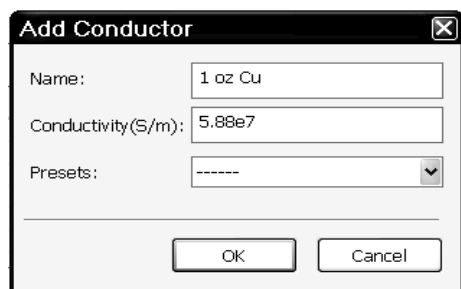


Рис. 5.75

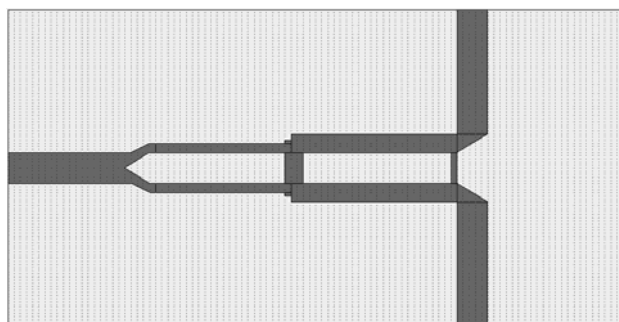


Рис. 5.76

выше в этом примере. Но это не обязательно, необходимо ввести только используемые материалы.

- Нажмите **OK**.
- Щёлкните по значку **Paste** на панели инструментов и вставьте скопированную структуру в корпус. Электромагнитная структура будет выглядеть, как показано на рис. 5.76.
- Выделите все проводники топологии, кроме резисторов, щёлкните по любому проводнику правой кнопкой мышки и, выбрав **Shape Properties**, установите слой **2** и назначьте материал **1/2 oz Cu**. Аналогично резисторам назначьте материал **Res**. Установите порты.

Откройте окно просмотра проекта, щёлкнув мышкой по панели **Project** в левой нижней части экрана. Теперь можно определить частоты, создать графики и выполнять моделирование.

## 5.4. Моделирование микрополоскового двухсекционного симметрированного направленного ответвителя.

В этом примере отредактируем LPF файл, введя новые слои для черчения электромагнитной структуры, и таблицы соответствия слоёв. Как видно из предыдущих примеров, это не обязательно делать для достаточно простых структур. Но для многослойных структур с большим количеством топологических элементов этот метод может быть более предпочтительным. Здесь мы рассмотрим только саму

- значку **Copy** на панели инструментов, чтобы скопировать топологию.
- Щёлкните по значку **New EM Structure** на панели инструментов и создайте электромагнитную структуру с именем **Div\_EM**.
- Щёлкните по значку **Substrate Information** на панели инструментов.
- В открывшемся окне свойств на вкладке **Enclosure** введите **X\_Dim=10**, **Y\_Dim=5.1**, **Grid\_X=0.1** и **Grid\_Y=0.05**.
- На вкладке **Material Defs** щёлкните по кнопке **Add** для диэлектрического слоя и в открывшемся окне (рис. 5.74) в поле **Name** введите **Del\_1**, в поле **Er** введите **10.55**, в поле **TanD** введите **0.0001** и нажмите **OK**. Щёлкните по кнопке **Add** для слоя проводника. В поле **Name** введите **1 oz Cu**, в поле **Conductivity(S/m)** введите **5.88e7** и нажмите **OK** (рис. 5.75). Аналогично добавьте материалы проводников с именем **Aluminum** и проводимостью **3.78e7**, с именем **Resist** и проводимостью **6.7e4**. Щёлкните по кнопке **Add** для импеданса. В поле **Name** введите **Omega Ply**, в поле **Low frequency resistance** введите **50** и нажмите **OK**.

- На вкладке **Dielectric Layers** для слоя **1** введите толщину **7**, материал диэлектрика **Air** и масштаб отображения **1**. Для слоя **2** введите толщину **0.5**, материал диэлектрика **Diel\_1** и масштаб отображения **4**.

- На вкладке **Materials** щёлкните по кнопке **Insert** и вставьте материал с именем **Omega Ply**

толщиной **1e-6** и с материалом **Omega Ply**. Аналогично вставьте материалы с именем **1 oz Cu** толщиной **0.03556** и с материалом **1 oz Cu**; с именем **1/2 oz Cu** толщиной **0.01778** с материалом **1 oz Cu**; с именем **Alum** толщиной **0.02** с материалом **Aluminum**; с именем **Res** толщиной **0.00025** с материалом **Resist**. Т.е. мы добавили все параметры для электромагнитной структуры, которые были определены в оригинальной структуре **Div**, описанной



идею на простом примере структуры с двумя слоями диэлектрика (т.е. всего будет три слоя вместе со слоем воздуха).

### Создание нового проекта.

6. Выберите **File>New Project** (Файл>Новый проект) в выпадающем меню.
7. Выберите **File>Save Project As** (Файл>Сохранить проект как) в выпадающем меню. Откроется диалоговое окно **Save As**.
8. Наберите **NO** и нажмите **Сохранить**.
9. Выберите в меню **Options>Project Options** или дважды щёлкните мышкой по **Project Options** в левом окне просмотра проекта. Откроется диалоговое окно **Project Options**.
10. На вкладке **Global Units** этого окна в поле **Frequency** введите **GHz**, в поле **Length type** введите **mm** и нажмите **OK**.

### Редактирование файла LPF и установка таблиц соответствия слоёв.

Ввести все необходимые слои для черчения на соответствующих слоях диэлектрика лучше до создания электромагнитных структур, чтобы не возникло проблем с их установкой в уже созданных структурах.

Щёлкните мышкой по панели **Layout** в левом нижнем углу окна проекта, чтобы открыть окно менеджера топологии. В верхней части окна менеджера топологии в группе **Layer Setup** (Установка слоёв) отображается загруженный LPF файл. По умолчанию это default.lpf. Дважды щёлкните мышкой по имени **Default** этого файла. Откроется окно (рис. 5.77) с перечнем слоёв черчения, имеющихся в LPF файле. Альтернативно это окно можно вызвать, выбрав в меню **Options>Drawing Layers**.

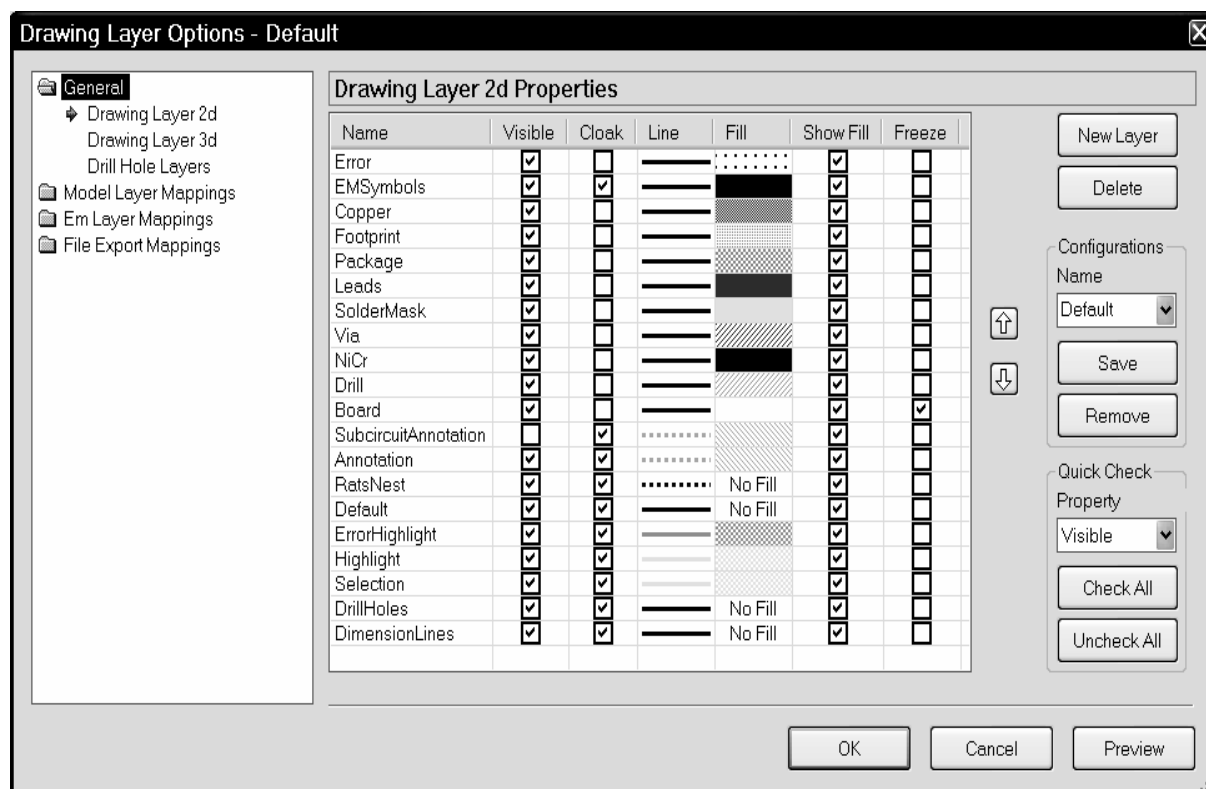


Рис. 5.77

При открытии окна обычно сразу открыта папка **General** (Общие) в левой части окна. Если она не открыта, щёлкните по ней мышкой, чтобы открыть. Эта папка содержит три типа слоёв:

- **Drawing Layer 2d** – слои черчения для двухмерного представления структуры;
- **Drawing Layer 3d** – слои для трёхмерного отображения топологии схемы;
- **Drill Hole Layers** – слои для черчения отверстий.

В правой части окна на странице **Drawing Layer 2d Properties** (Свойства слоёв черчения в двухмерном представлении) имеются следующие столбцы:

- **Name** – имя слоя;
- **Visible** (Видимость) – если отмечено, слой будет отображаться в структуре;
- **Cloak** (Скрыть) – если отмечено, слой не будет отображаться для черчения в нижней части окна менеджера топологии при черчении топологических элементов в окне топологии схемы (не путайте с окном черчения электромагнитной структуры);
- **Line** – дважды щёлкнув мышкой в этом столбце, можно выбрать тип линии и её цвет для черчения топологических элементов;

- **Fill** (Заполнение) – дважды щёлкнув мышкой в этом столбце, можно выбрать тип и цвет заполнения (штриховки) вычерчиваемых топологических форм.
- **Show Fill** (Показать заполнение) – если отмечено, топологическая форма в окне топологии схемы будет отображаться заполненной, в противном случае будет отображаться только её контур.
- **Freeze** (Закрепить) – если отмечено, слой будет закреплён.

Чтобы добавить новый слой черчения, щёлкните мышкой по кнопке **New Layer** в правой части окна. Появится новая строка с именем **Layer1** (новый слой устанавливается после того слоя, который отмечен в окне). Переименуйте этот слой, введя новое имя в столбце **Name**, и установите необходимые свойства нового слоя в остальных столбцах. Добавьте следующие слои черчения:

1. С именем **Copper1**. Отметьте **Visible**, выберите тип и цвет для линии и заполнения, отметьте **Show Fill**. На этом слое будем вычерчивать медные проводники на 3-м слое, т.е.

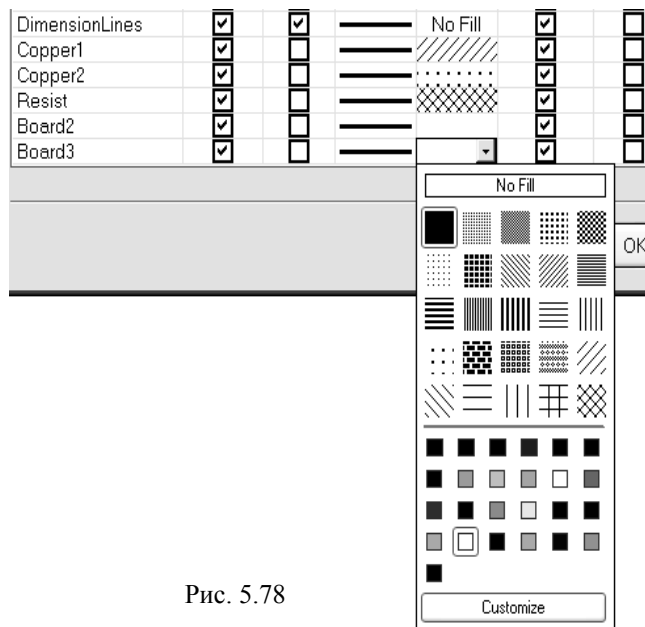


Рис. 5.78

на нижнем слое диэлектрика. Не путайте слой черчения с физическим слоем материала меди, общее у них может быть только имя, но и это не обязательно.

2. С именем **Copper2**. Отметьте **Visible**, выберите тип и цвет для линии и заполнения, отметьте **Show Fill**. Этот слой будем использовать для межслойной перемычки. В структуре будет только одна перемычка с третьего слоя диэлектрика на нижнюю крышку корпуса. Если нужны другие перемычки с разных слоёв диэлектрика, для них нужно создать свои слои черчения.
3. С именем **Resist**. Отметьте **Visible**, выберите тип и цвет для линии и заполнения, отметьте **Show Fill**. На этом слое будем вычерчивать резисторы.
4. Два слоя с именами **Board2** и **Board3**. Для этих слоёв отметьте **Visible**, и **Show Fill**. Дважды щёлкните мышкой в столбце **Fill** и выберите сплошное заполнение (чёрный квадратик в левом верхнем углу выпадающего окошка на рис. 5.78) и белый цвет. Эти слои будем использовать только для наглядного отображения структуры при её трёхмерном представлении из окна топологии схемы. Для создания электромагнитной структуры и анализа они не требуются. Имейте в виду, что слои **Board2** и **Board3** являются только слоями черчения для отображения реальной платы.
5. Щёлкните мышкой по **EM Layer Mappings**. Откроется окно для установки соответствия слоёв черчения (Drawing Layer) и слоёв электромагнитной структуры (EM Layer). Эта таблица соответствия устанавливает, какие слои черчения можно использовать для заданного слоя диэлектрика.
6. По умолчанию для слоя черчения **Copper** установлен второй слой диэлектрика. Оставьте эту установку без изменения. Для вновь установленных слоёв черчения слои диэлектрика не определены. Для слоёв **Copper1**, **Copper2** и **Resist** определите третий слой, введя **3** в столбце **EM Layer**, для слоёв **Board2** и **Board3** в этом столбце введите **0** (рис. 5.79). Для слоя **Copper2** отметьте столбец **Via** (Межслойный переход).
7. Щёлкните мышкой по **File Export Mappings** и затем щёлкните по **DXF(DXF)**. В этой таблице определяется, какие слои должны быть записаны в DXF файл при экспорте структуры в этом формате. В столбце **Write Layer** (Записать слой) отметьте слои **Copper1**, **Copper2**, **Resist** и **Board3**, снимите отметки у остальных слоёв. Отмеченные слои будут записаны в DXF файл с одинаковым именем слоёв в файле по умолчанию **Layer1** при экспорте топологии с третьего слоя диэлектрика. Если нужно выполнить экспорт топологии со всех слоёв диэлектрика или нескольких, то нужно создать таблицы для каждого экспортируемого слоя. Щёлкните правой кнопкой мышки по **File Export Mappings** и выберите **New DXF File Export Mapping**. В левой части окна появится имя новой таблицы соответствия **File Map1(DXF)**. В правой части окна щёлкните по кнопке **Uncheck All**, чтобы снять отметку у всех слоёв и затем отметьте слои **Copper** и **Board2** (рис. 5.80). Эту таблицу соответствия будем использовать при экспорте топологии со второго слоя диэлектрика.
8. Нажмите **OK**.

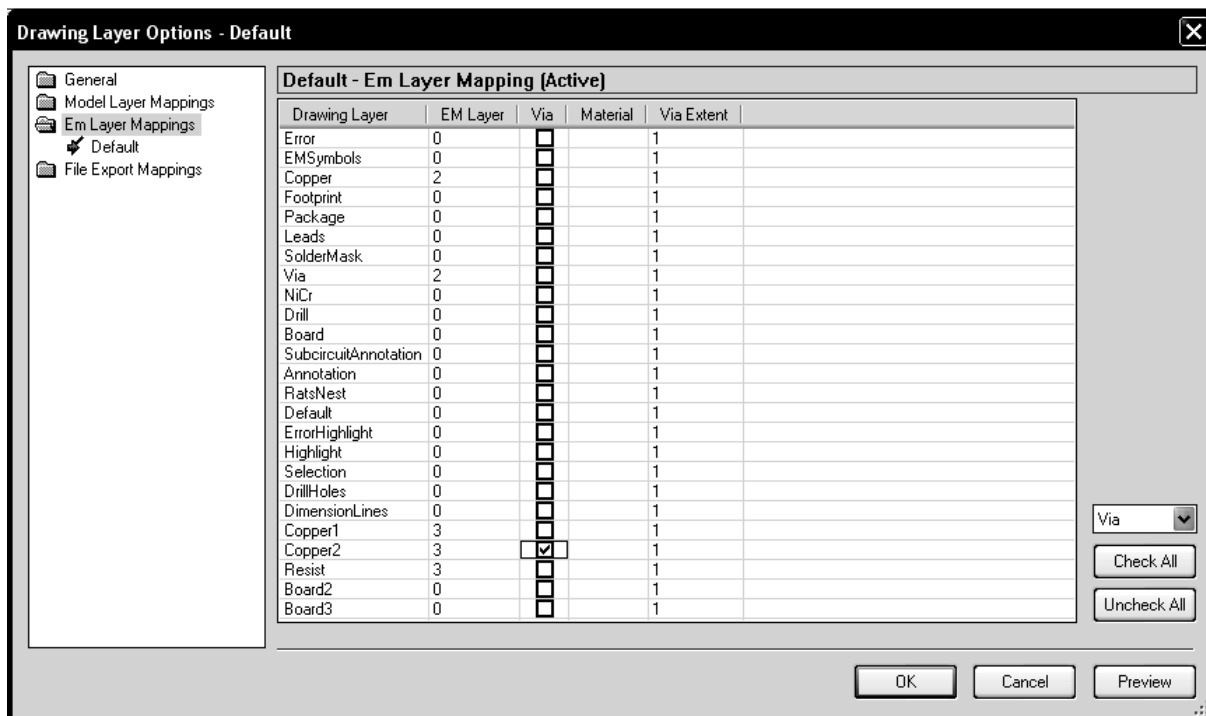


Рис. 5.79

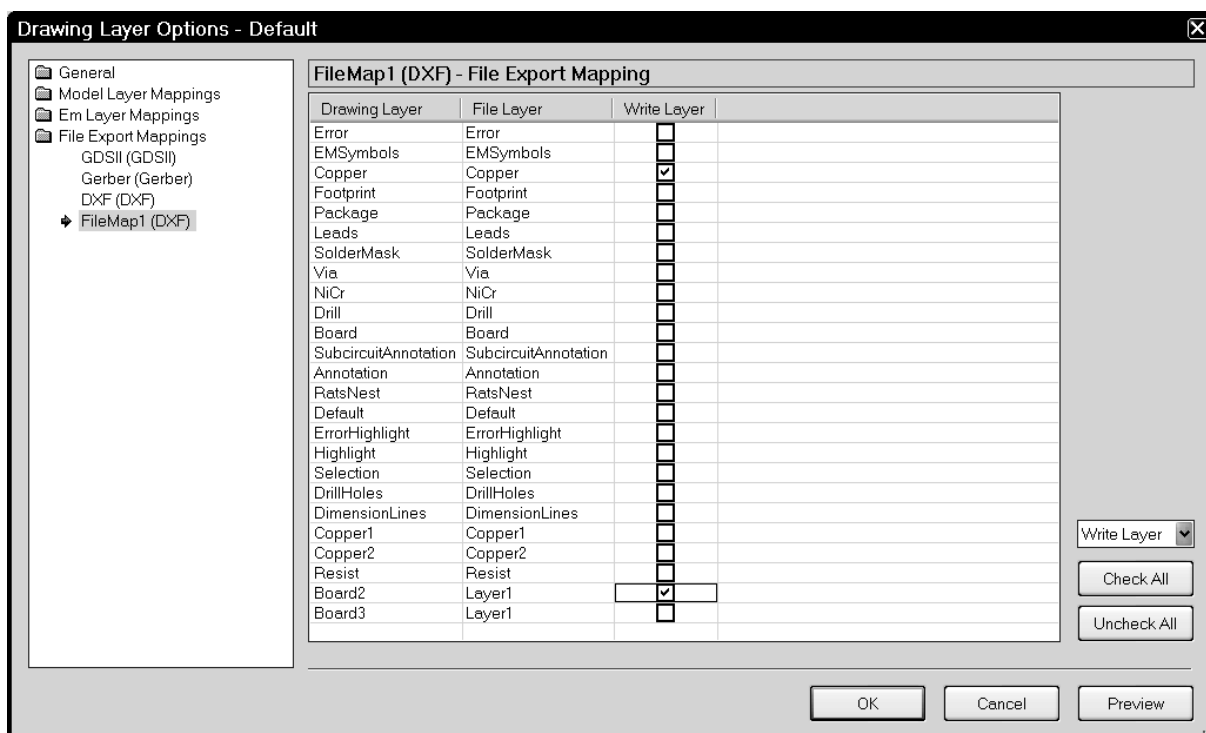



Рис. 5.80

Теперь создадим электромагнитную структуру.

### Создание электромагнитной структуры.

- Щёлкните левой кнопкой мышки по значку **New EM Structure**  на панели инструментов.
- Наберите **no** в поле **Enter a name for the EM Structure**, отметьте **AWR EMSight Simulator** и нажмите **Create**. На рабочем поле откроется окно электромагнитной структуры.
- Щёлкните мышкой по значку **Substrate Information** на панели инструментов. На вкладке **Enclosure** открывшегося окна в поле **X\_Dim** введите **10**, в поле **Y\_Dim** введите **5**, в поле **Grid\_X** и в поле **Grid\_Y** введите **0.05**.
- На вкладке **Material Defs** в области **Dielectric Definitions** для диэлектрического слоя **Diel\_1** введите **Er=10.5**, **TanD=0.0001**. Для области **Conductor Definitions** щёлкните мышкой по кнопке **Add**, чтобы добавить материал проводника. Откроется дополнительное диалоговое

окно **Add Conductor** (рис. 5.81). В поле **Name** введите **Copper1**, в поле **Conductivity(S/m)** введите **5.88e7** и нажмите **OK**. Снова щёлкните мышкой по кнопке **Add**. В поле **Name** введите **Resist**, в поле **Conductivity(S/m)** введите **6.7e4** и нажмите **OK**.

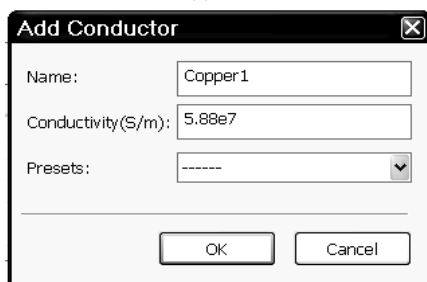


Рис. 5.81

5. На вкладке **Dielectric Layers** для слоя **1** в колонке **Thickness** введите **6**, в колонке **Material Definition** введите **Air**, щёлкнув левой кнопкой мышки по этому полю, в колонке **Draw Scale** введите **1**. Для слоя **2** в колонке **Thickness** введите **0.5**, в колонке **Material Definition** введите **Diel\_1**, щёлкнув левой кнопкой мышки по этому полю, в колонке **Draw Scale** введите **4**, чтобы удобнее было просматривать трёхмерное отображение электромагнитной структуры. Щёлкните по кнопке **Insert** (Вставить) и для нового слоя **3** введите такие же параметры, как и для слоя **2**.

6. На вкладке **Materials** щёлкните мышкой по кнопке **Insert**. В столбце **Name** замените появившееся имя **Tracel** на **Copper1**, в столбце **Thickness** введите **0.005**, в столбце **Material Definition** введите **Copper1**, щёлкнув мышкой по этому полю. Снова щёлкните мышкой по кнопке **Insert**. В столбце **Name** замените появившееся имя **Tracel** на **Resist**, в столбце **Thickness** введите **0.00025**, в столбце **Material Definition** введите **Resist**, щёлкнув мышкой по этому полю. Окно будет выглядеть, как показано на рис. 5.82.

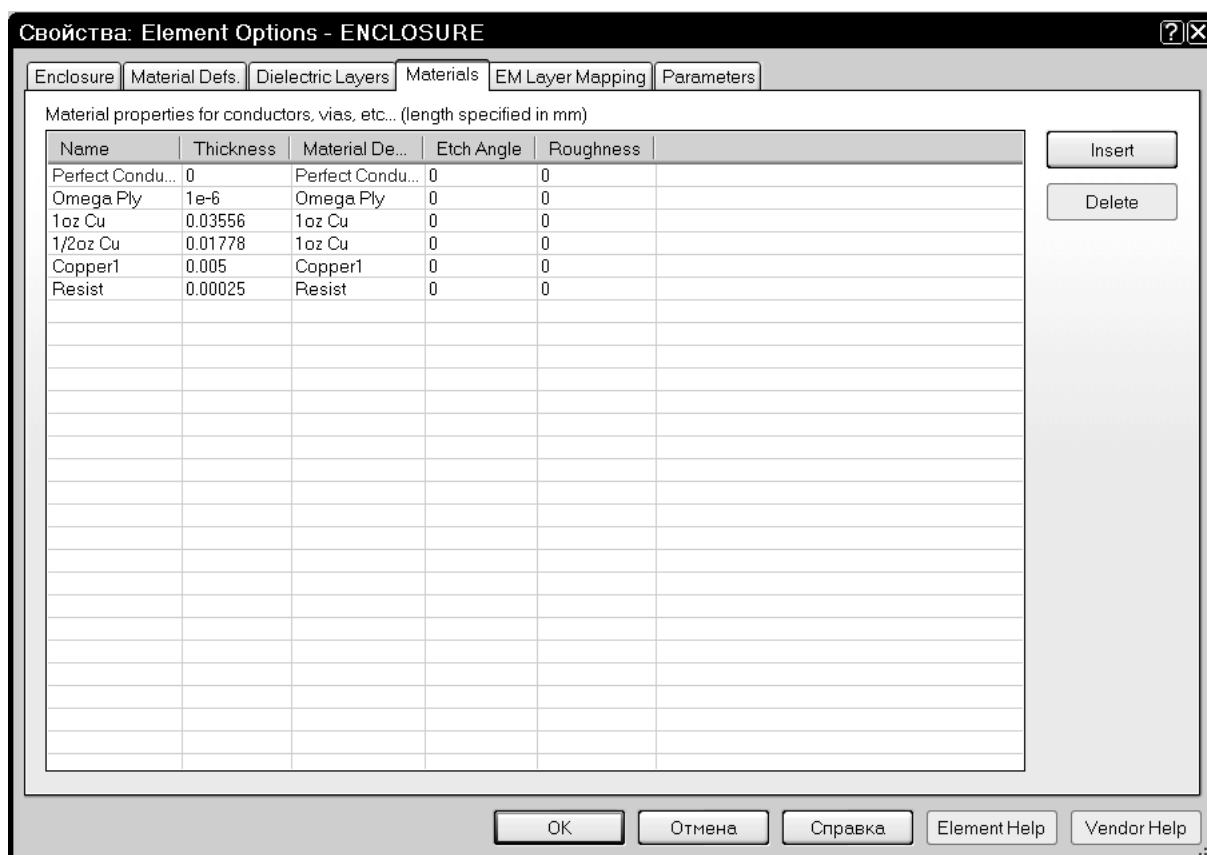


Рис. 5.82

7. На вкладке **EM Layer Mapping** устанавливается соответствие слоёв черчения и слоёв диэлектрика. Это соответствие мы уже установили выше (рис. 5.79), однако здесь дополнительно устанавливается соответствие между слоями и материалами. В столбце **Material** для слоя **Copper** введите материал **Copper1**, щёлкнув мышкой по этому столбцу в строке **Copper**. Для слоёв **Copper1** и **Resist** введите соответственно материалы **Copper1** и **Resist**. Для слоя **Copper2** выделите материал **Copper1** и отметьте **Via** (рис. 5.83).

8. Нажмите **OK**.

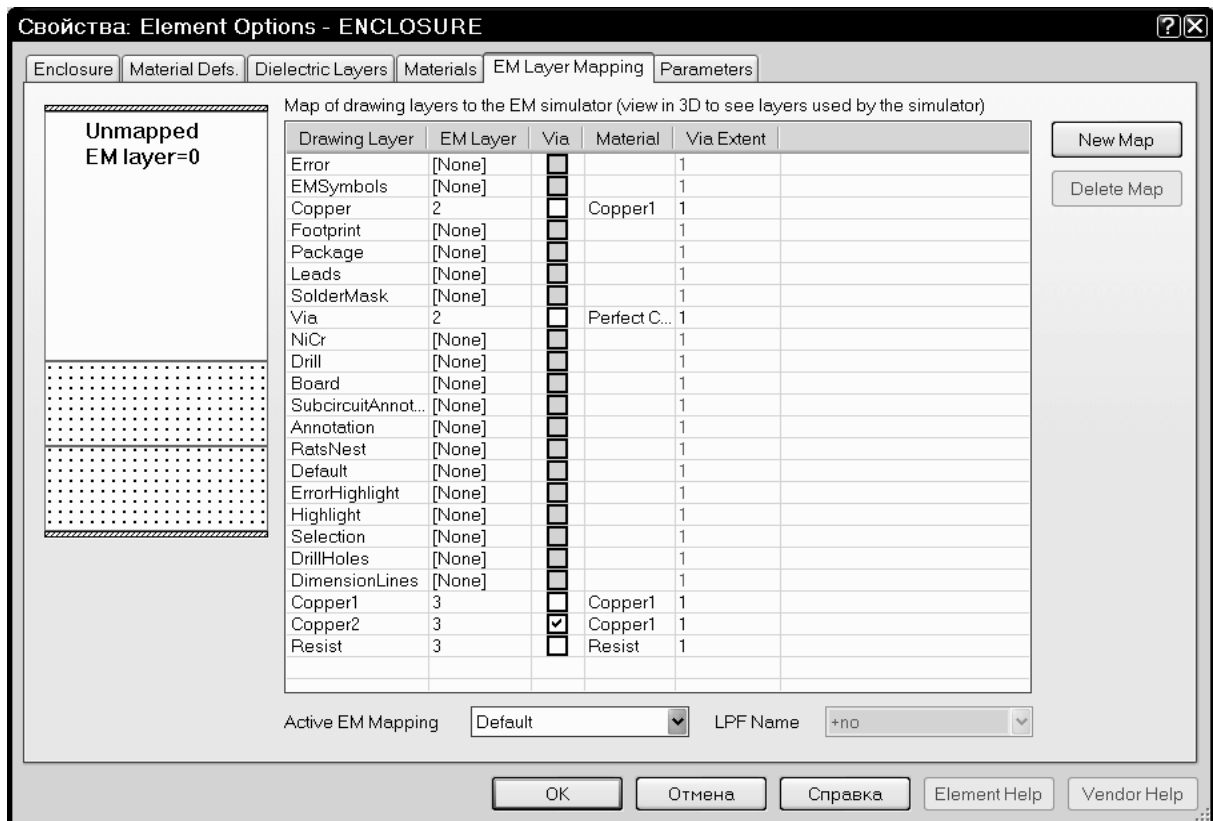


Рис. 5.83

### Создание топологии.

1. В поле **EM Layer** (Слой электромагнитной структуры) менеджера топологии введите **3**. В поле **Material** введите **Copper1**. Отметьте **Conductor**. Электромагнитная структура будет выглядеть, как показано на рис. 5.84. В нижней части окна менеджера топологии отображается структура слоёв и слой, на котором будет выполняться черчение.

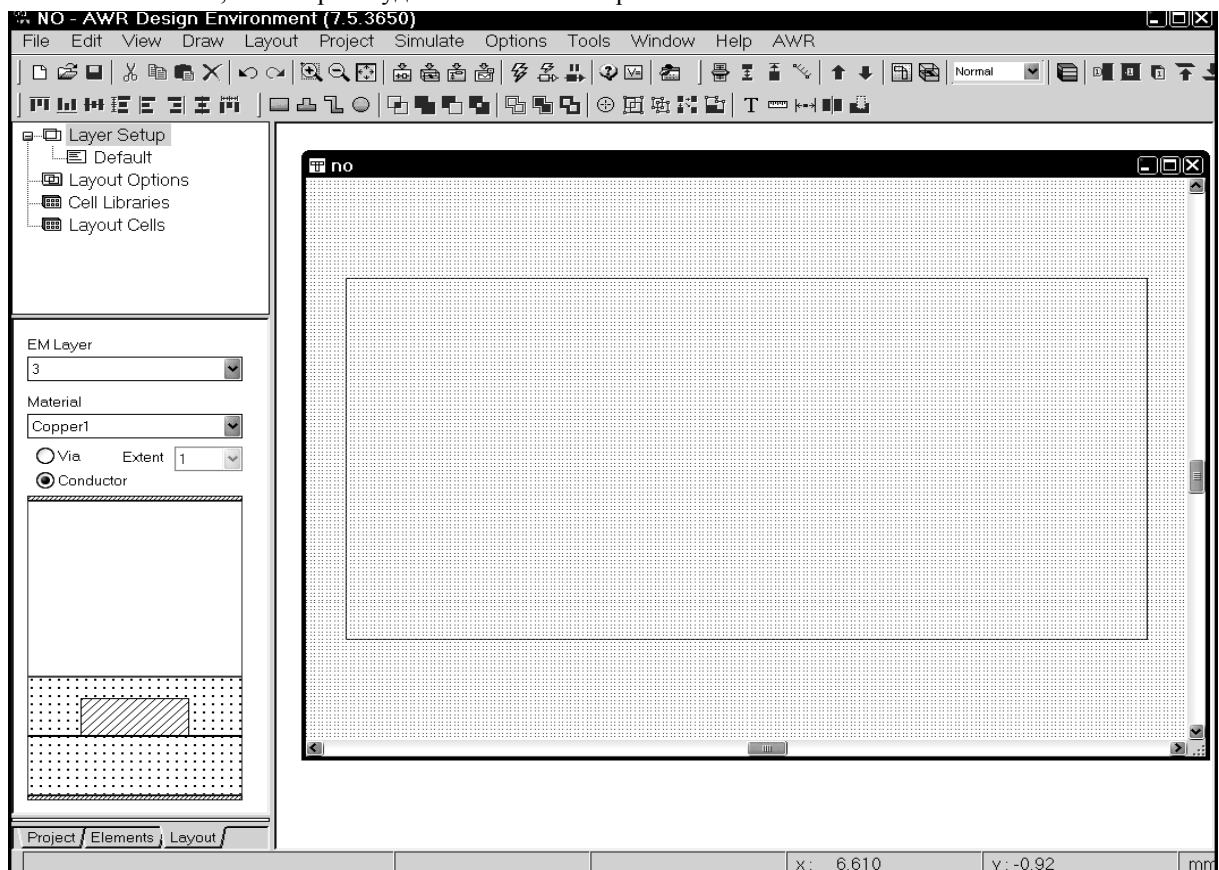



Рис. 5.84

- Щёлкните левой кнопкой мышки по значку **Rectangle**  на панели инструментов или выберите в меню **Draw>Rectangle**.
- Поместите курсор в окно электромагнитной структуры и нажмите клавишу **Tab** на клавиатуре. Откроется диалоговое окно **Enter Coordinates**.
- Введите **0** в поле **x**, введите **1.65** в поле **y** и нажмите **OK**. Нажмите клавишу **Tab** снова, чтобы открыть диалоговое окно **Enter Coordinates**. Установите флажок в переключателе **Rel**, чтобы активизировать относительные координаты. Введите **3.2** в поле **dx**, введите **0.45** в поле **dy** и нажмите **OK**. Проводник прямоугольного сечения отображается в окне электромагнитной структуры.

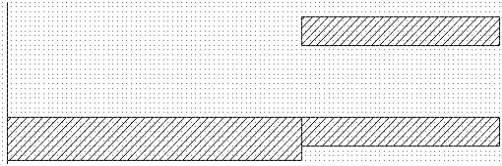


Рис. 5.85

- Повторите пункты с 2-го по 4-ый, но введите **3,2** в поле **x**, **2,85** в поле **y**, **2,15** в поле **dx** и **0.3** в поле **dy**.
- Щёлкните левой кнопкой мышки по значку **Copy** и затем по значку **Paste** на панели инструментов. Скопированный проводник подключите к нижнему входному проводнику так, чтобы верхние границы совпадали, как показано на рис. 5.85.

- Повторите пункты с 2-го по 4-ый, но введите **5.65** в поле **x**, **2,55** в поле **y**, **2,15** в поле **dx** и **0.25** в поле **dy**.
- Щёлкните по значку **Polygon** на панели инструментов. Поместите курсор на левый верхний угол второго верхнего проводника и щёлкните левой кнопкой мышки, чтобы зафиксировать эту точку. Нажмите клавишу **Tab**, введите **-0.3** в поле **dx**, введите **0.35** в поле **dy** и нажмите **OK**. Переместите курсор на правый нижний угол первого верхнего проводника и щёлкните мышкой. Переместите курсор на левый нижний угол второго верхнего проводника и здесь дважды щёлкните мышкой. Должна получиться топология, показанная на рис. 5.86.

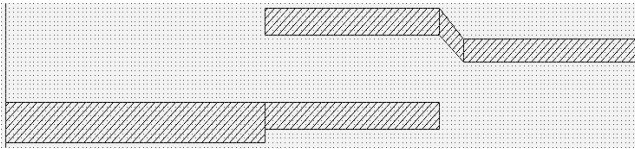


Рис. 5.86

- Нажмите клавишу **Shift** и щёлкните левой кнопкой мышки по изгибу и второму верхнему проводнику, чтобы выделить их. Выберите в меню **Edit>Mirror**, поместите курсор на выделенные проводники, нажмите левую кнопку мышки и, вращая проводники мышкой, создайте их зеркальное отображение так, чтобы можно было подключить их к нижнему проводнику (рис. 5.87).

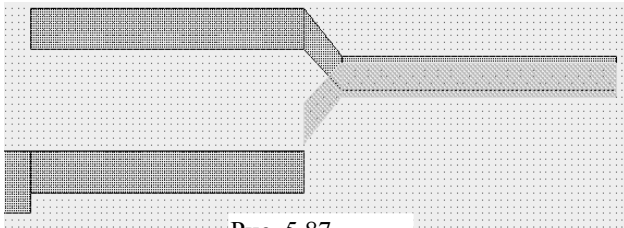


Рис. 5.87

- Установите курсор на скопированные проводники, нажмите левую кнопку мышки и подключите их нижнему проводнику (рис. 5.88).

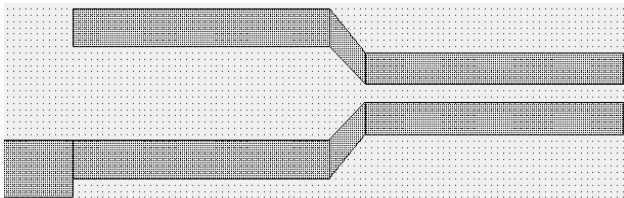


Рис. 5.88

- Повторите пункты с 2-го по 4-ый, но введите **2.75** в поле **x**, **3.15** в поле **y**, **0.45** в поле **dx** и **1.85** в поле **dy**.

- Щёлкните по значку **Polygon** на панели инструментов. Поместите курсор на левый нижний угол вновь созданного проводника и щёлкните левой кнопкой мышки, переместите курсор на правый нижний угол вновь созданного проводника и щёлкните левой кнопкой мышки, переместите курсор на левый нижний угол верхнего горизонтального проводника и дважды щёлкните левой кнопкой мышки (рис. 5.89).

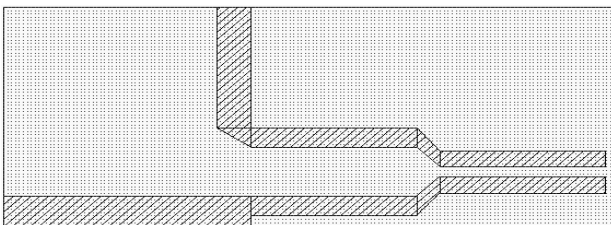


Рис. 5.89

- Повторите пункты с 3-го по 4-ый, но введите **7.8** в поле **x**, **0** в поле **y**, **0.45** в поле **dx** и **2.15** в поле **dy**.

- Щёлкните по значку **Polygon** на панели инструментов. Поместите курсор на правый верхний угол вновь созданного проводника и щёлкните левой кнопкой мышки, переместите курсор на левый верхний угол вновь созданного проводника и щёлкните левой кнопкой мышки, переместите курсор на верхний угол горизонтального проводника и дважды щёлкните левой кнопкой мышки (рис. 5.90).

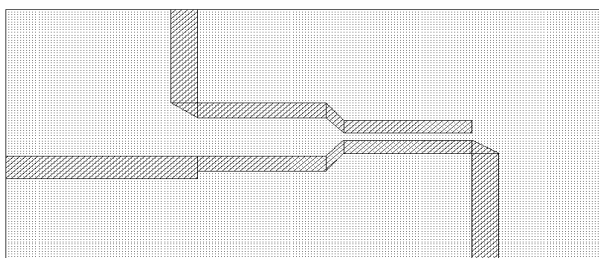


Рис. 5.90

- Повторите пункты с 2-го по 4-ый, но введите **7.8** в поле **x**, **2.8** в поле **y**, **0.45** в поле **dx** и

0.5 в поле **dy**.

16. Щёлкните по значку **Polygon** на панели инструментов. Поместите курсор на правый нижний угол вновь созданного проводника и щёлкните левой кнопкой мышки, переместите курсор на левый нижний угол вновь созданного проводника и щёлкните левой кнопкой мышки, переместите курсор на нижний угол горизонтального проводника и дважды щёлкните левой кнопкой мышки (рис. 5.91).

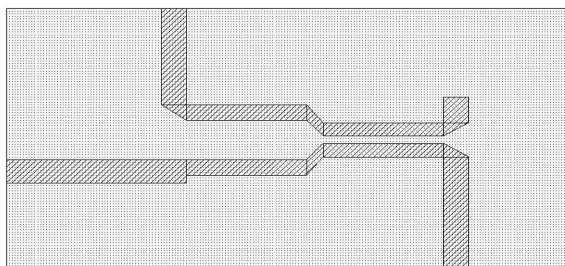


Рис. 5.91

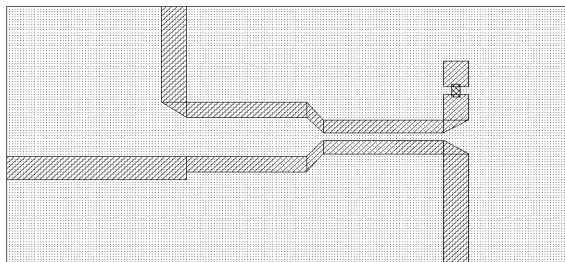


Рис. 5.92

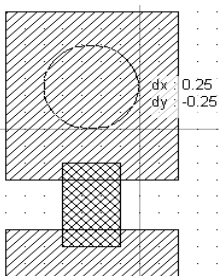


Рис. 5.93

17. Создайте контактную площадку для заземления резистора. Повторите пункты с 2-го по 4-ый, но введите **7.8** в поле **x**, **3.45** в поле **y**, **0.45** в поле **dx** и **0.5** в поле **dy**.

18. Создайте резистор. В окне менеджера топологии в поле **Material** введите **Resist**. Повторите пункты с 2-го по 4-ый, но введите **7.95** в поле **x**, **3.25** в поле **y**, **0.15** в поле **dx** и **0.25** в поле **dy** (рис. 5.92).

19. Создайте межслойную перемычку для заземления резистора. В окне менеджера топологии в поле **Material** введите **Copper1** и отметьте **Via**. Щёлкните по значку **Ellipse** на панели инструментов. Переместите курсор в окно электромагнитной структуры на 0.1 мм

правее и ниже верхнего левого угла, нажмите левую кнопку мышки и двигайте мышку по диагонали вправо и вниз пока смещения координат будут равны **dx:0.25** и **dy:-0.25**, как показано на рис. 5.93. Установив курсор на созданную перемычку и, двигая мышкой с нажатой левой кнопкой, можно поправить положение перемычки.

20. Щёлкните мышкой по входному горизонтальному проводнику, чтобы выделить его. Щёлкните мышкой по значку **Edge Port** на панели инструментов, установите порт на входе ответвителя и сдвиньте его референсную плоскость на **1** мм вглубь структуры. Аналогично установите порты на выходные проводники, как показано на рис. 5.94.

Щёлкните правой кнопкой мышки по значку **New Schematic 3D View**, чтобы просмотреть 3-х мерное изображение и убедиться, что топология создана правильно (рис. 5.95). Если некоторые проводники окажутся не на третьем слое, выделите их в электромагнитной структуре рис. 5.94, щёлкните правой кнопкой мышки, выберите **Shape Properties** и в поле **EM Layer** введите **3**.

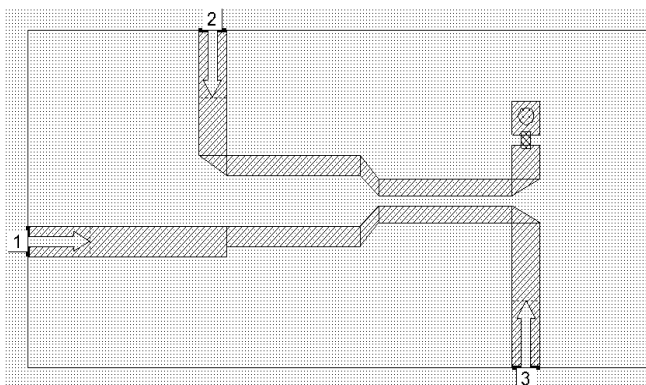


Рис. 5.94

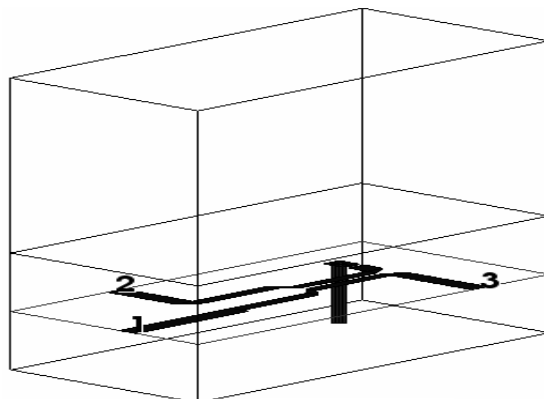


Рис. 5.95

### Создание графика и добавление измеряемых величин.

1. Щёлкните по кнопке **Project**, чтобы в левом окне открыть окно просмотра проекта.
2. Щёлкните по значку **Add Graph** на панели инструментов.
3. Введите имя графика, например, **Graph 1** в поле **Graph name** (Имя графика), выберите **Tabular** (Таблица) в области **Graph Type** (Тип графика) и нажмите **OK**.
4. Щёлкните левой кнопкой мышки по значку **Add Measurement** на панели инструментов.
5. Выберите **Port Parameter** в списке **Meas. Type**, **S** в списке **Measurement**, **All Sources** в поле **Data Source Name**, введите **2** в поле **To Port Index**, **1** в поле **From Port Index**, нажимая на стрелки, справа от этих полей, отметьте **dB** и **Mag** в области **Complex Modifier**, нажмите **Apply**.
6. Введите **3** в поле **To Port Index** и нажмите **Apply**.
7. Нажмите **OK**.

## Определение частот для моделирования и анализ.

Frequency (MHz)	DB(S(2,1)) по	DB(S(3,1)) по
4000	-11.792	-0.36518
5000	-11.263	-0.46359
6000	-11.333	-0.60598
7000	-11.747	-0.7765
8000	-12.086	-0.89304
9000	-11.95	-0.87409
10000	-11.311	-0.74136
11000	-10.52	-0.63313
12000	-9.957	-0.67046
13000	-9.7849	-0.81469
14000	-10.022	-0.92446
15000	-10.725	-0.91505
16000	-12.049	-0.8046

Рис. 5.96

1. Дважды щёлкните левой кнопкой мышки по **Project Options** в окне просмотра проекта. На вкладке **Frequencies** в поле **Start** введите **4**, в поле **Stop** введите **16**, в поле **Step** введите **1**. Нажмите **Apply** и **OK**.
2. Щёлкните левой кнопкой мышки по значку **Analyze** на панели инструментов. Результаты анализа отображаются в таблице рис. 5.96.

**Примечание.** Щёлкнув левой кнопкой мышки по значку **Print** на панели инструментов при активном окне графика (таблицы), можно распечатать график. Содержание любого активного окна можно распечатать, выбрав в меню **File>Print View**.

## Экспорт топологии в DXF файл из окна электромагнитной структуры.

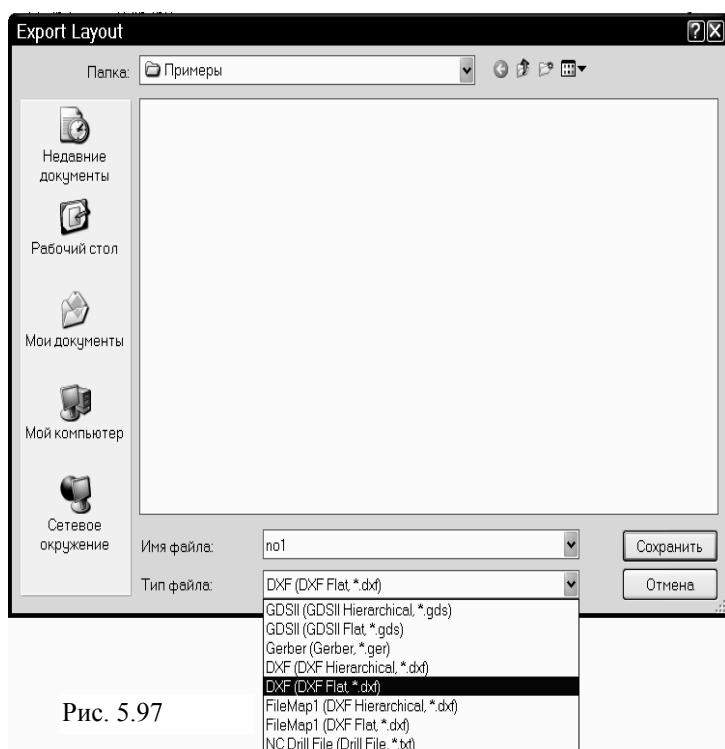


Рис. 5.97

Щёлкните правой кнопкой мышки по имени электромагнитной структуры **no** в окне просмотра проекта и выберите **Export EM Layout**. В открывшемся окне (рис. 5.97) выберите папку для размещения файла. В поле **Имя файла** введите **no1**. В поле **Тип файла**, щёлкнув по кнопке в правом конце этого поля, выберите таблицу соответствия для экспорта **DXF (DXF Flat, \*.dxf)**, которую мы ранее определили для третьего слоя. Нажмите **Сохранить**. В AutoCAD сохранённая топология будет выглядеть, как показано на рис. 5.98.

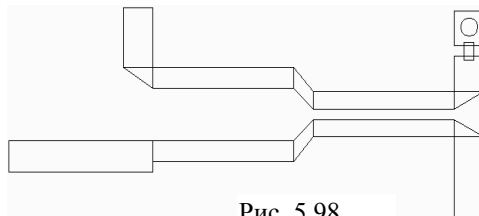


Рис. 5.98

Если нужно в **dxf** файл записать контур платы, придётся временно покрыть слоем проводника всю плату.

1. Сделайте активным окно электромагнитной структуры и щёлкните мышкой по кнопке **Layout** в нижнем левом углу окна, чтобы открыть менеджер топологии.
2. В окне менеджера топологии в поле **EM Layer** введите **3**, в поле **Material** введите **Copper1**, отметьте **Conductor**.
3. Щёлкните мышкой по значку **Rectangle** на панели инструментов. Установите курсор на левый верхний угол структуры, нажмите левую кнопку мышки и переместите курсор на правый нижний угол структуры. Вся структура будет покрыта слоем материала **Copper1**. Выполнить анализ такой структуры нельзя, она может использоваться только для экспорта топологии.
4. При экспорте топологии из окна электромагнитной структуры входные отрезки линий от края корпуса до референсных плоскостей удаляются. Это необходимо учитывать. Дважды щёлкните по слою покрытия левой кнопкой мышки (вне топологических элементов ответвителя). Установите курсор на ромбик посередине левой стороны покрывающего слоя, нажмите левую кнопку мышки и сдвиньте эту сторону, например на 0.8 мм вправо, чтобы проводники не начинались от края платы. Аналогично сдвиньте верхнюю сторону покрывающего слоя вниз и нижнюю сторону – вверх.
5. Можно добавить в структуру вспомогательные топологические элементы, например, реперные знаки. Щёлкните мышкой по значку **Rectangle** на панели инструментов. Установите



курсор на левый верхний угол слоя покрытия, нажмите левую кнопку мышки и переместите курсор вправо и вниз так, чтобы было  $dx:0.5$  и  $dy:-0.5$ , отпустите кнопку. В левом верхнем углу покрывающего слоя появится реперный знак в виде прямоугольника, который будет выделен. Щёлкните по значку **Copy** на панели инструментов. Щёлкая по значку **Paste** на панели инструментов, установите реперные знаки на остальные углы покрывающего слоя. Структура будет выглядеть, как показано на рис. 5.99. Откройте окно просмотра проекта и импортируйте структуру в DXF файл, как описано выше. В AutoCAD топология будет выглядеть, как показано на рис. 5.100.

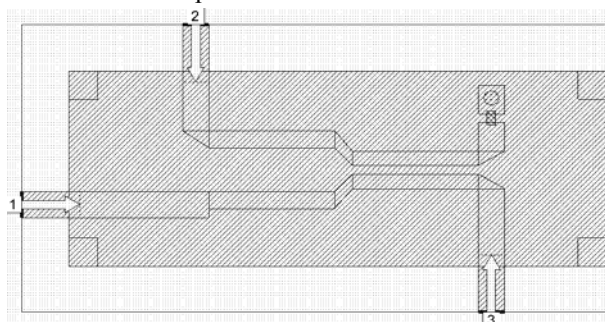


Рис. 5.99

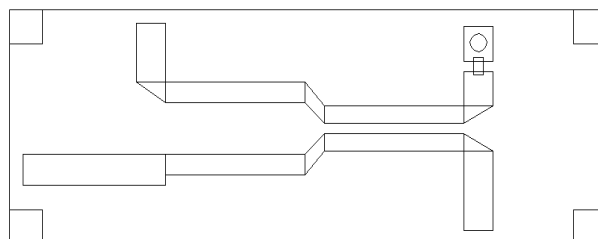


Рис. 5.100

Щёлкните мышкой по покрывающему слою, чтобы выделить его, и удалите этот слой, нажав клавишу **Delete**. Реперные знаки удалять не обязательно. Щёлкните по значку **Analyze** на панели инструментов, чтобы восстановить результаты анализа.

Теперь нанесём топологические формы на второй слой диэлектрика. На этот слой мы нанесём только вспомогательные топологические элементы (реперные знаки и текст).

1. Сделайте активным окно электромагнитной структуры и откройте окно менеджера топологии. В поле **EM Layer** введите **2**, в поле **Material** введите **Copper1**. Определённый для второго слоя диэлектрика слой черчения **Copper** будет использоваться автоматически.
2. Щёлкните по значку **Polygon** на панели инструментов. Установите курсор на верхний левый угол прямоугольного реперного знака на третьем слое диэлектрика и щёлкните левой кнопкой мышки. Затем перемещайте курсор, щёлкая мышкой после каждого перемещения, следующим образом: на **0.5** вправо, на **0.2** вниз, на **0.3** влево, на **0.3** вниз, на **0.2** влево и здесь дважды щёлкните мышкой, чтобы замкнуть полигон. Щёлкните по значку **Copy** на панели инструментов. Щёлкая по значку **Paste** на панели инструментов и щёлкая правой кнопкой, чтобы развернуть скопированные формы, установите остальные реперные знаки, как показано на рис.5.101.
3. Выберите в меню **Options>Layout Options** и на вкладке **Layout Font** открывшегося окна опций топологии установите высоту шрифта **Height** равной **0.3**. Нажмите **OK**.
4. Выберите в меню **Draw>Text**, поместите курсор в удобное место на структуре и щёлкните левой кнопкой мышки. В появившемся поле ввода наберите **Ответвитель**.

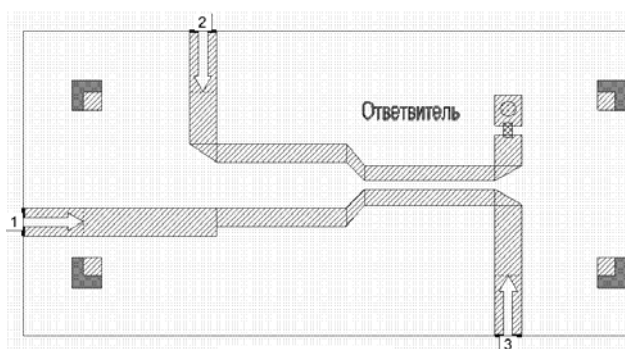


Рис. 5.101

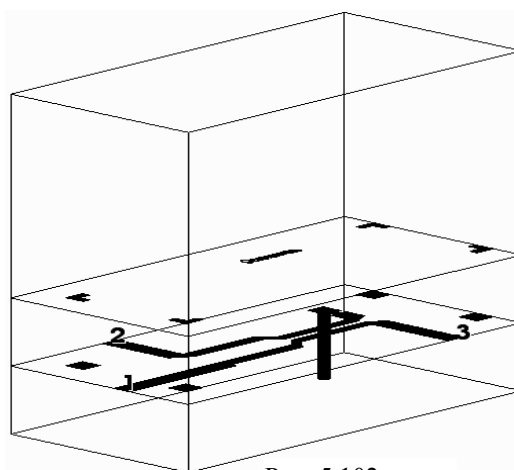


Рис. 5.102

Полученная структура показана на рис. 5.101, на рис. 5.102 – её трёхмерное отображение.

Откройте слева окно просмотра проекта. Щёлкните по имени электромагнитной структуры и выберите **Export EM Layout**. В открывшемся окне введите имя файла **no2**, в поле **Тип файла** введите имя таблицы соответствия для второго слоя **FileMap1(DXF Flat, \*.dxf)** и нажмите **Сохранить**. В AutoCAD экспортированная топология второго слоя диэлектрика будет выглядеть, как показано на рис. 5.103.

Если на втором слое диэлектрика покрыть область, ограниченную реперными знаками (как описано выше для третьего слоя) тем же слоем, который использовался для создания реперных знаков, и выполнить экспорт топологии со второго диэлектрического слоя, то в AutoCAD экспортированная топология будет выглядеть, как показано на рис. 5.104.

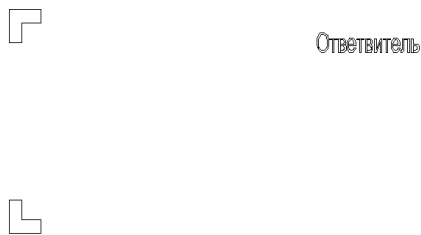


Рис. 5.103

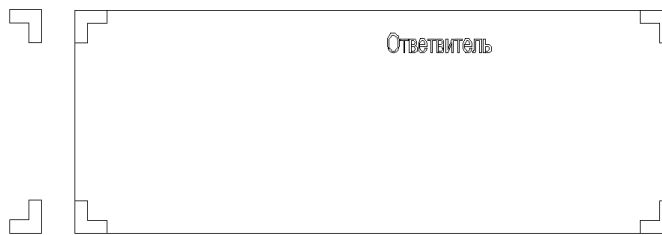


Рис. 5.104

### Экспорт топологии в DXF файл из окна топологии схемы.

В этом варианте экспорта сначала нужно скопировать созданную топологию в окно топологии схемы и затем выполнить экспорт из этого окна. Такой метод может быть предпочтительным, если, например, электромагнитная структура вставлена в схему в качестве подсхемы и делается экспорт топологии всей схемы. Для удобства работы с несколькими окнами можно выбрать в меню **Window** затем **Tile Vertical** или **Tile Horizontal**.

1. Щёлкните по значку **New Schematic** на панели инструментов и создайте схему с любым именем, например по умолчанию, **Schematic1**. Откроется пустое окно схемы.
2. Щёлкните по значку **New Schematic Layout View** на панели инструментов. Откроется пустое окно топологии схемы.

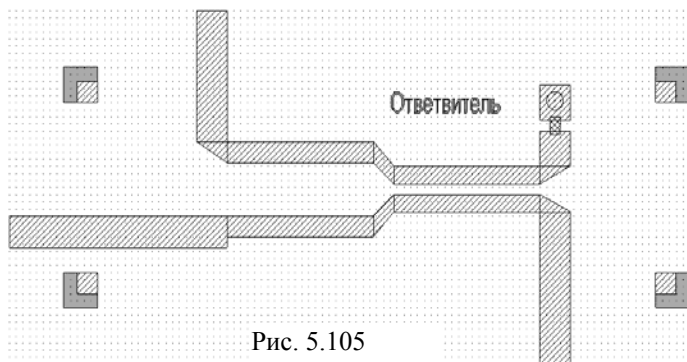


Рис. 5.105

3. Сделайте активным окно электромагнитной структуры и выберите в меню **Edit>Select All**, чтобы выделить всю топологию. Щёлкните по значку **Copy** на панели инструментов.
4. Сделайте активным окно топологии схемы и щёлкните по значку **Paste** на панели инструментов. Вставьте скопированную топологию в окно топологии схемы (рис. 5.105).

Если сейчас попытаться просмотреть трёхмерное представление скопированной топологии, щёлкнув по значку **New Schematic 3D View**, то увидим только элементы топологии, расположенные на третьем слое. Это объясняется тем, что не определены установки для трёхмерного представления структур, в частности все новые слои имеют нулевую толщину. Чтобы определить необходимые установки, сделайте следующее.

1. Выберите в меню **Options>Drawing Layers** и в левой части открывшегося окна (рис. 5.106) щёлкните мышкой **Drawing Layer 3d**.
2. В столбце **Opaque** (Непрозрачный) снимите отметки у используемых слоёв **Copper**, **Copper1**, **Copper2**, **Resist**, **Board2** и **Board3**, чтобы сквозь верхние слои можно было видеть нижние.

В столбце **Thickness** устанавливается толщина слоёв. Эта толщина никакого отношения к реальным толщинам материалов и диэлектриков не имеет и на анализ не влияет. Она устанавливается только для удобства объёмного просмотра структуры. В столбце **Z-Position** устанавливается значение координаты Z, от которой отсчитывается толщина. Если толщина положительная, она отсчитывается вверх от указанной координаты. Если толщина отрицательная, она отсчитывается вниз от указанной координаты.

3. Для слоя **Copper1** установите толщину **0.005** и координату **0** (т.е. начало координат поместим на верхнюю плоскость 3-го слоя диэлектрика, хотя его можно поместить в любое удобное место).
4. Для слоя **Copper2** установите толщину **-0.5** и координату **0**. Этот слой является перемычкой через третий слой диэлектрика. Поэтому его толщина должна быть равна толщине третьего (нижнего) слоя диэлектрика и направлена вниз.
5. Для слоя **Resist** установите толщину **0.00025** и координату **0**.
6. Для слоя **Board2** установите толщину **0.5** и координату **0.005**. Этот слой используется для отображения второго (верхнего) слоя диэлектрика и его координата определяется толщиной слоя **Copper1**, который нанесён на третий слой диэлектрика. Хотя, как уже указывалось, это не обязательно и можно установить координату 0.
7. Для слоя **Board3** установите толщину **-0.5** и координату **0**. Этот слой используется для отображения третьего слоя диэлектрика.

- На втором слое диэлектрика мы используем слой черчения **Copper**, который имеется в LPF файле по умолчанию. Его толщину по умолчанию можно оставить, а значение координаты нужно изменить, чтобы она соответствовала верхней поверхности слоя **Board2**. Поэтому измените координату слоя **Copper** на **0.505** (с учётом толщины слоя **Copper1**). Нажмите **OK**.

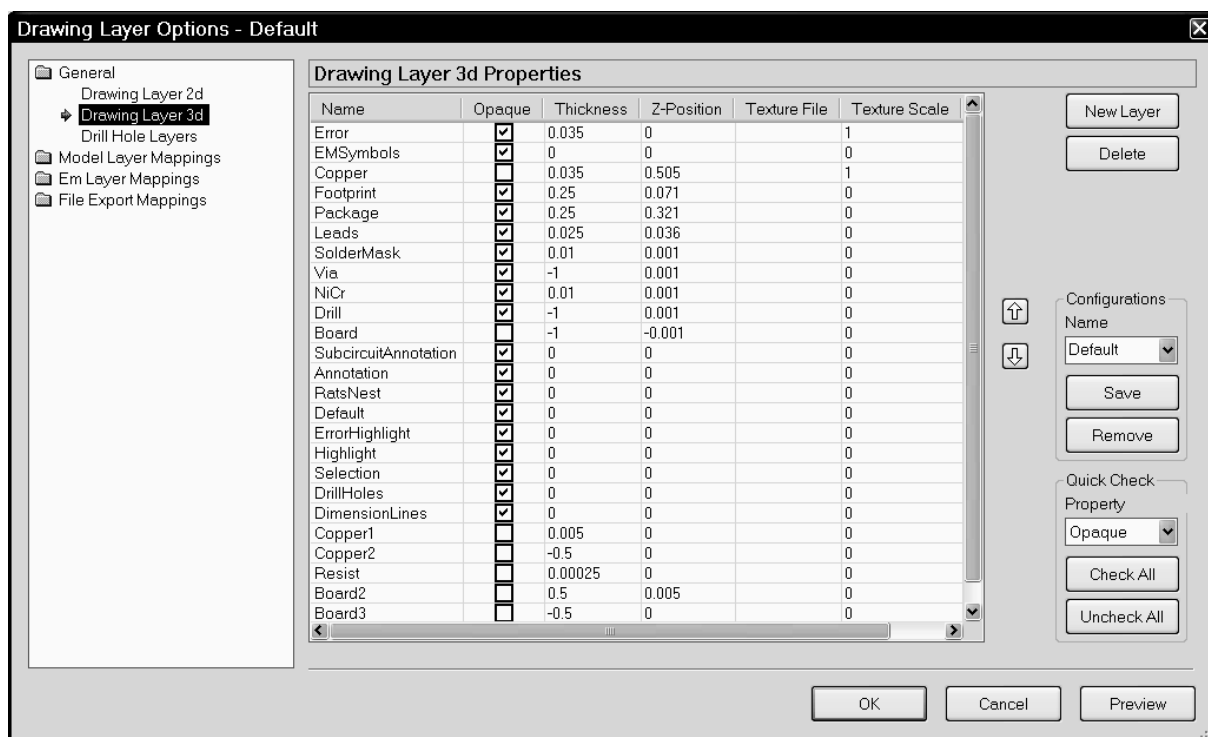


Рис. 5.106

Все выполненные установки для используемых слоёв показаны на рис. 5.106. Если теперь сделать активным окно топологии схемы и щёлкнуть мышкой по значку **New Schematic 3d View**, то получим трёхмерное отображение структуры (рис. 5.107), которое будет объёмным, но топологические элементы в структуре “висят в воздухе”. Поэтому добавим слои плат.

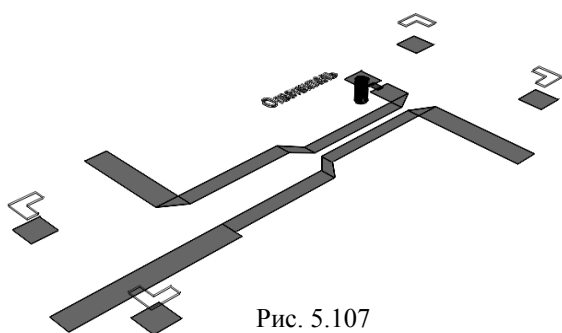


Рис. 5.107

- Сделайте активным окно топологии схемы и откройте окно менеджера топологии. В нижней части окна менеджера топологии щёлкните мышкой по прямоугольнику слоя **Board3** (но не по лампочке, иначе слой станет невидимым), чтобы назначить его для черчения. Обратите внимание, что при копировании в окно топологии схемы и при экспорте из этого окна отрезки от края электромагнитной структуры до референсных плоскостей автоматически не удаляются. Если это необходимо сделать, топологию в этом окне нужно отредактировать, укоротив соответственно входные проводники. Мы оставим размеры структуры без изменения (10x5 мм), но плату создадим несколько больше, чтобы проводники имели отступ от краёв платы 0.2 мм.

- Щёлкните по значку **Rectangle** на панели инструментов. Переместите курсор в окно топологии схемы и нажмите клавишу **Tab**. В поля **x** и **y** введите **0**, нажмите **OK** и затем клавишу **Tab**. В поле **dx** введите **10.4**, в поле **dy** введите **5.4**, нажмите **OK**. Щёлкните мышкой по значку **View All**, чтобы отобразить все элементы топологии и слой платы. Выделите все элементы топологии на втором и третьем слоях диэлектрика, кроме слоя платы. Установите

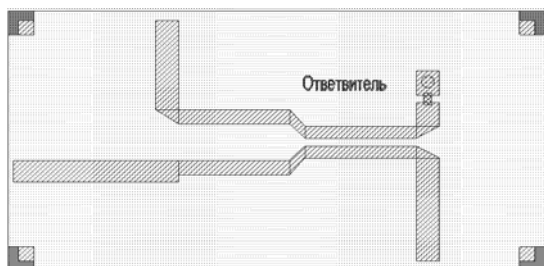


Рис. 5.108

курсор на любой выделенный элемент и поместите топологию на слой платы так, чтобы края входных проводников отстояли от края платы на 0.2 мм. Поочерёдно выделите реперные знаки на обоих слоях и поместите их по углам платы. Топология должна выглядеть, как показано на рис. 5.108.

- В нижней части окна менеджера топологии щёлкните мышкой по прямоугольнику слоя **Board2**, чтобы назначить его для черчения. Щёлкните по значку **Rectangle** на панели

инструментов. Установите курсор на верхний левый угол созданной ранее платы, нажмите кнопку мышки и переместите курсор на нижний правый угол платы и отпустите кнопку.

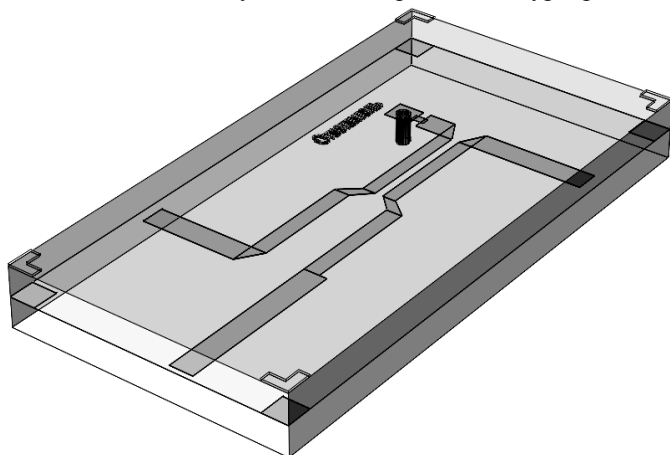


Рис. 5.109

12. Щёлкните по значку **New Schematic 3d View** на панели инструментов. Трёхмерное представление структуры будет иметь вид, показанный на рис. 5.109.

Все описанные выше установки нужны только для просмотра трёхмерного представления структуры. Если такой просмотр не планируется, то этих установок можно и не делать.

Чтобы выполнить экспорт топологии с третьего слоя, сделайте активным окно топологии схемы и выберите в меню **Layout>Export**. В открывшемся окне введите имя файла **no1-schematic**, в поле **Тип файла** введите имя таблицы соответствия для третьего слоя диэлектрика **DXF(DXF Flat, \*.dxf)** и нажмите **Сохранить**.

В AutoCAD топология будет выглядеть, как показано на рис. 5.110.

Если в dxf файл нужно записать контур платы, щёлкните мышкой по значку **Options>Drawing Layers** на панели инструментов. В открывшемся окне щёлкните по **File Export Mappings** и затем по **DXF(DXF)**. Отметьте столбец **Write Layer** для слоя **Board3**. Повторите экспорт топологии с третьего слоя. В AutoCAD топология будет выглядеть, как показано на рис. 5.111.

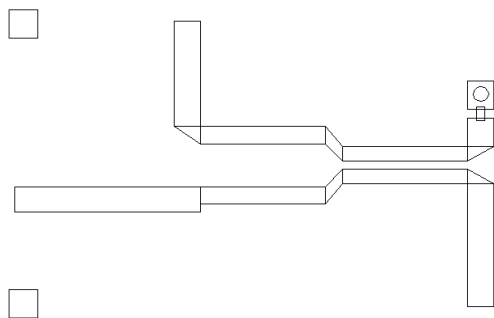


Рис. 5.110

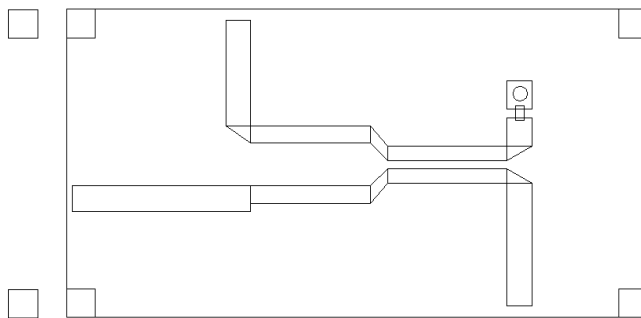


Рис. 5.111

Чтобы выполнить экспорт топологии со второго слоя диэлектрика, выберите в меню **Layout>Export**. В открывшемся окне введите имя файла **no2-schematic**, в поле **Тип файла** введите имя таблицы соответствия для второго слоя диэлектрика **FileMap1(DXF Flat, \*.dxf)** и нажмите **Сохранить**. В AutoCAD топология будет выглядеть, как показано на рис. 5.112.

Чтобы в dxf файл записать контур платы, щёлкните мышкой по значку **Options>Drawing Layers** на панели инструментов. В открывшемся окне щёлкните по **File Export Mappings** и затем по **FileMap1(DXF)**. Отметьте столбец **Write Layer** для слоя **Board2**. Повторите экспорт топологии со второго слоя. В AutoCAD топология будет выглядеть, как показано на рис. 5.113.

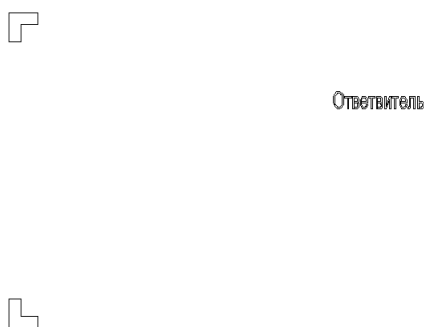


Рис. 5.112

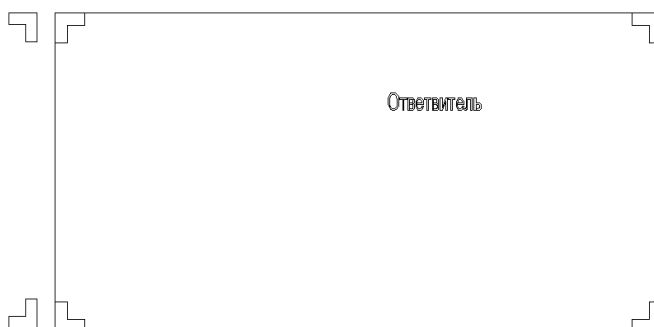


Рис. 5.113

### Импорт топологии из DXF файла.

Здесь рассмотрим метод импорта DXF файла несколько отличный от метода импорта, описанного в предыдущем примере, где использовался LPF файл **blank.lpf**, имеющий минимальное количество слоёв. Этот метод может быть более предпочтительным при сложной топологии и большим количеством слоёв. Или если предполагается после моделирования и редактирования импортированной электромагнитной структуры снова её экспортировать в DXF файл.

Для импорта будем использовать файлы no1.dxf и no2.dxf., полученные при экспорте топологии в этом примере.

1. Сохраните текущий проект, затем создайте новый проект и сохраните его с именем **NO-DXF**.
2. Выберите в меню **Options>Project Options** и на вкладке **Global Units** введите **GHz** для частоты и **mm** для длины.

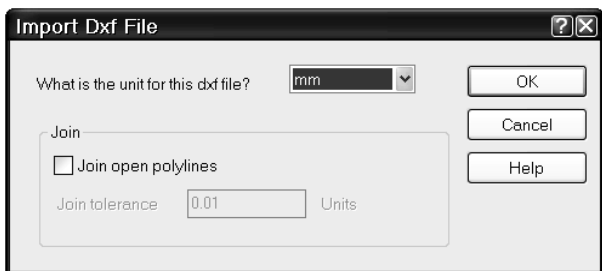


Рис. 5.114

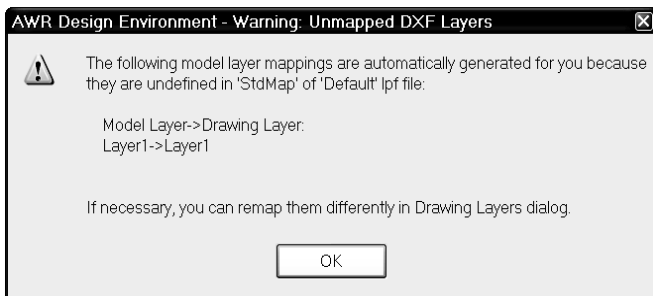


Рис. 5.115

создании таблицы соответствия **File Export Mappings** слоёв черчения и слоёв, записываемых в dxf файл, записываемые в файл имена для всех экспортируемых слоёв черчения были оставлены одинаковыми **Layer1**, установленными по умолчанию. При необходимости в этой таблице можно было задать для каждого записываемого в файл слоя индивидуальные имена.

5. В окне менеджера топологии появится библиотека топологических ячеек с именем **no1**, которая содержит топологическую ячейку с таким же именем **no1**. Дважды щёлкните левой кнопкой мышки по имени топологической ячейки. На рабочем поле откроется окно редактора топологического чертежа с импортированной структурой, а в нижней части окна менеджера топологии появится список слоёв черчения, имеющихся в LPF файле (рис. 5.116).

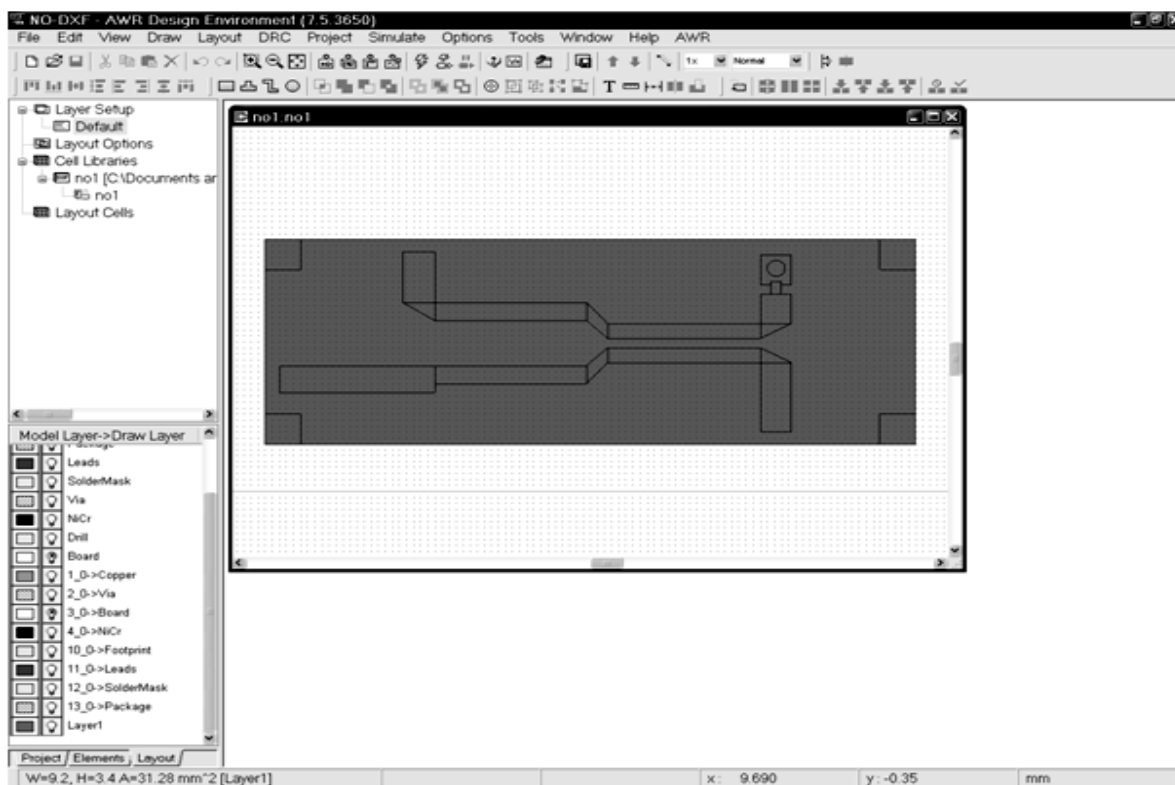


Рис. 5.116

3. Щёлкните по панели **Layout** в левом нижнем углу окна проекта, чтобы открыть окно менеджера топологии. LPF файл будем использовать загруженный по умолчанию default.lpf.
4. Щёлкните правой кнопкой мышки по **Cell Libraries** и выберите **Import DXF Library**. В открывшемся окне отметьте файл **no1** и нажмите кнопку **Открыть**.

Откроется окно с запросом, какие единицы измерения используются в dxf файле (рис. 5.114). Введите **mm** и нажмите **OK**. Откроется окно с сообщением, какие слои будут созданы автоматически при импорте файла. Имена этим слоям присваиваются те же, которые записаны в dxf файле. Нажмите **OK**. Обратите внимание, что будет создан только один слой с именем **Layer1**. Дело в том, что ранее при

- Поскольку при экспорте топологии вся плата покрывалась слоем проводника, то этот слой также импортирован и его нужно удалить, чтобы иметь возможность выполнять анализ топологии. Щёлкните по этому слою мышкой вне проводников и нажмите клавишу **Delete**. Аналогично можно удалить реперные знаки. Импортированная топология будет выглядеть, как показано на рис. 5.117.

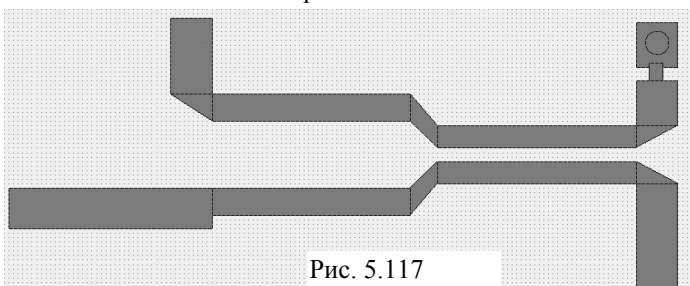


Рис. 5.117

- В поле ввода **Grid Spacing** на панели инструментов введите множитель **0.5x**, чтобы размер ячеек сетки был равен 0.05 мм.

- Дважды щёлкните левой кнопкой мышки по имени LPF файла **Default** в окне менеджера программы. В открывшемся окне с переч-

нем имеющихся слоёв черчения измените имя слоя **Lauer1** на **Copper1**. Щёлкните мышкой по кнопке **New Layer** и добавьте слой **Copper2**. Затем добавьте слой **Resist**. В добавленных слоях можете изменить текстуру и цвет заполнения.

- Щёлкните левой кнопкой мышки по **EM Layer Mappings**. Для трёх добавленных слоёв в столбце **EM Layer** введите **3**. Для слоя **Copper2** отметьте столбец **Via**. Нажмите **OK**.
- Щёлкните мышкой по значку **New EM Structure** на панели инструментов и создайте электромагнитную структуру с именем **NO\_DXF** и решающим устройством **AWR EMSight Simulator**.
- Щёлкните мышкой по значку **Substrate Information** на панели инструментов. В открывшемся окне свойств электромагнитной структуры на вкладке **Enclosure** введите размер **10** по оси **X**, **5** по оси **Y**, размер ячеек сетки **0.05** по обеим осям.
- На вкладке **Material Defs** для диэлектрического слоя введите **Er=10.5**, **TanD=0.0001**. Для проводников добавьте материалы **Copper1** с проводимостью **5.88e7** и **Resist** с проводимостью **6.7e4**, нажимая соответствующую кнопку **Add**.
- На вкладке **Dielectric Layers** для слоя **1** введите толщину **6**, для слоя **2** введите толщину **0.5** и масштаб черчения **4**. Добавьте третий слой с такими же параметрами, как и у второго, нажав кнопку **Insert**.
- На вкладке **Materials** добавьте материалы с именами **Copper1** и **Resist** соответственно с толщиной **0.005** и **0.00025** и материалами **Copper1** и **Resist**.
- На вкладке **EM Layer Mapping** для слоёв **Copper1** и **Copper2** назначьте материал **Copper1**, для слоя **Resist** назначьте материал **Resist**. Нажмите **OK**.
- Сделайте активным окно редактора топологического чертежа. Нажмите клавишу **Shift** и, щёлкая мышкой по проводникам, выделите их, кроме резистора и межслойной перемычки. Щёлкните правой кнопкой мышки по любому выделенному проводнику и выберите **Shape Properties**. В открывшемся окне в поле **Model Layers** введите **Copper1** и нажмите **OK**. Щёлкните по значку **Copy** на панели инструментов.
- Сделайте активным окно электромагнитной структуры. Щёлкните по значку **Paste** на панели инструментов и вставьте скопированную топологию в корпус симметрично относительно боковых стенок корпуса так, чтобы расстояние от входного проводника до левого края корпуса и расстояния от выходных проводников до боковых стенок корпуса были равны 1 мм. Дважды щёлкните по входному проводнику, установите курсор на ромбик посередине его левой стороны, нажмите левую кнопку мышки и сдвиньте эту сторону до левого края корпуса. Аналогично

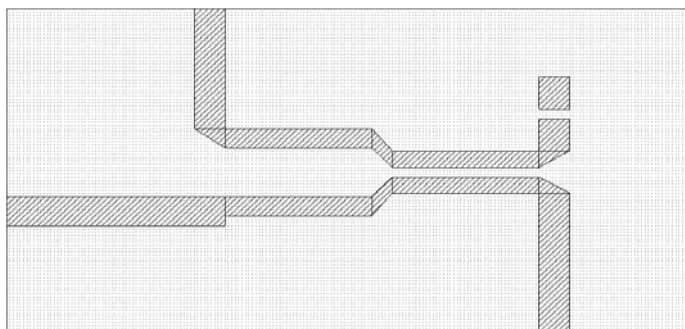


Рис. 5.118

удлините вертикальные выходные проводники. Топология в окне электромагнитной структуры должна выглядеть, как показано на рис. 5.118.

- Сделайте активным окно редактора топологического чертежа. Щёлкните по резистору левой кнопкой мышки, затем щёлкните правой кнопкой и выберите **Shape Properties**. В открывшемся окне в поле **Model Layers** введите **Resist** и нажмите **OK**. Щёлкните по значку **Copy** на панели инструментов.
- Сделайте активным окно электромагнитной структуры. Щёлкните по значку **Paste** на панели инструментов и вставьте скопированный резистор в электромагнитную структуру.

20. Сделайте активным окно редактора топологического чертежа. Щёлкните по межслойной перемычке левой кнопкой мыши, затем щёлкните правой кнопкой и выберите **Shape Properties**. В открывшемся окне в поле **Model Layers** введите **Copper1** и нажмите **OK**. Щёлкните по значку **Copy** на панели инструментов.

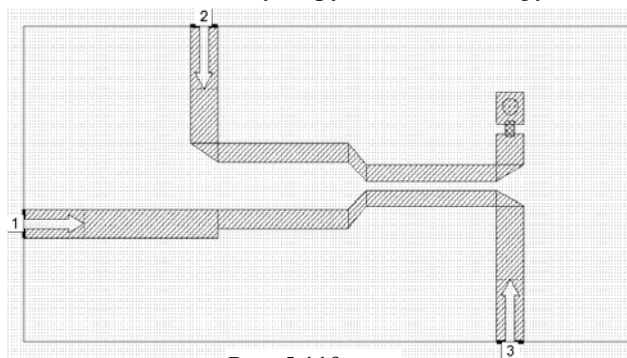


Рис. 5.119

водники и щёлкая мышкой по значку **Edge Port** на панели инструментов.

Созданная электромагнитная структура должна выглядеть, как показано на рис. 5.119. Просмотрите трёхмерное представление электромагнитной структуры, чтобы убедиться, что она создана правильно.

**Замечание.** Альтернативно, можно из окна редактора топологического чертежа скопировать сразу всю топологию в окно электромагнитной структуры и отредактировать её в этом окне.

Откройте окно просмотра проекта, щёлкнув мышкой по кнопке **Project** в левом нижнем углу окна проекта. Теперь можно установить частоты для анализа, создать график и выполнить анализ.

Топологические элементы на других слоях диэлектрика при необходимости копируются в электромагнитную структуру аналогично.

### Создание схемы с электромагнитной структурой.

Создадим простую схему с электромагнитной структурой в качестве подсхемы. Просто добавим элемент **MTRACE2** (элемент трассировки) на входе электромагнитной структуры.

1. Выберите в меню **File>Open Project** и откройте сохранённый ранее проект **NO**.
2. Щёлкните мышкой по значку **New Schematic** на панели инструментов и создайте схему **Schematic 2**.
3. Щёлкнув мышкой по панели **Elements** в левом нижнем углу проекта, откройте окно просмотра элементов.
4. Щёлкните мышкой по группе **Subcircuits** и перетащите в окно схемы подсхему **no**.

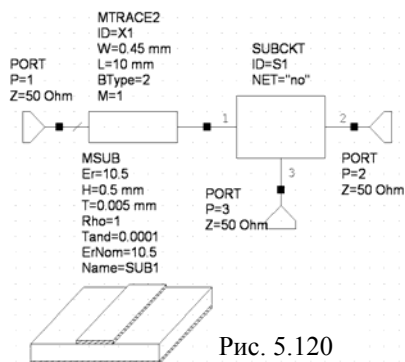


Рис. 5.120

5. Раскройте группу **Microstrip**, щёлкните мышкой по подгруппе **Lines**, перетащите элемент **MTRACE2** в окно схемы и подключите его к узлу **1** подсхемы **no**. Дважды щёлкните мышкой по элементу **MTRACE2**, в открывшемся окне свойств элемента введите **W=0.45** и нажмите **OK**.

6. В окне просмотра элементов щёлкните мышкой по группе **Substrates** и перетащите в окно схемы элемент подложки **MSUB**. Дважды щёлкните мышкой по этому элементу, в открывшемся окне свойств введите **Er=10.5**, **H=0.5**, **T=0.005**, **Tand=0.0001**, **ErNom=10.5** и нажмите **OK**.

7. Щёлкните мышкой по значку **Port** на панели инструментов и подключите порт ко входу

схемы. Аналогично подключите порты к узлам **2** и **3** подсхемы **no**, щёлкая правой кнопкой мыши, чтобы развернуть порты соответствующим образом. Должна получиться схема, показанная на рис. 5.120.

8. Щёлкните мышкой по значку **Analyze** на панели инструментов. Результаты анализа показаны на рис. 5.121.

Graph 1				
Frequency (GHz)	DB(S(2,1)) Schematic 2	DB(S(2,1)) no	DB(S(3,1)) Schematic 2	DB(S(3,1)) no
4	-11.835	-11.793	-0.40772	-0.36545
5	-11.314	-11.266	-0.51382	-0.46581
6	-11.393	-11.339	-0.66507	-0.61114
7	-11.815	-11.754	-0.84397	-0.78343
8	-12.155	-12.09	-0.96198	-0.89688
9	-12.014	-11.947	-0.93831	-0.87125
10	-11.371	-11.303	-0.80144	-0.73406
11	-10.588	-10.515	-0.70208	-0.62922
12	-10.033	-9.9589	-0.74939	-0.67499
13	-9.8749	-9.7897	-0.90831	-0.82312
14	-10.128	-10.021	-1.0355	-0.92808
15	-10.807	-10.713	-1.0036	-0.90945
16	-12.108	-12.027	-0.87316	-0.79244

Рис. 5.121

Как видно из результатов анализа, соединения в схеме выполнены правильно для решающего устройства. Однако при создании топологии схемы, просмотре трёхмерного изображения и экспорте топологии в DXF файл могут возникнуть проблемы.

Щёлкните мышкой по окну схемы **Schematic 2**, чтобы сделать его активным и затем щёлкните по значку **New Schematic Layout View** на панели инструментов (чтобы было удобнее оперировать с различными окнами проекта, выберите в меню **Window>Tile Horizontal**). Выберите в меню **Edit>Select All** и щёлкните по значку **Snap Together** на панели инструментов, чтобы упорядочить созданную топологию (рис. 5.122). В поле ввода **Grid Spacing** на панели инструментов введите коэффициент **0.5x**, чтобы сделать размер сетки 0.05 мм.

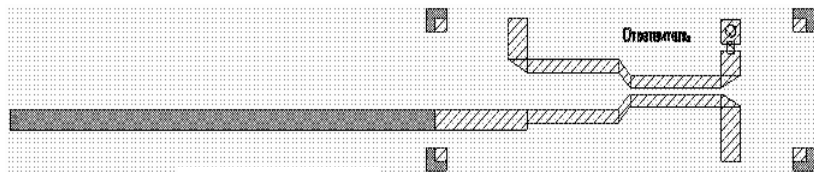


Рис. 5.122

Создайте в элементе трассировки **MTRACE2** два изгиба на 90 градусов на расстоянии примерно 2 мм по оси X. Расстояния между полосками при трассировке измеряются между осевыми линиями поло-

сок. Поэтому, чтобы изгибы совпадали с сеткой, по оси X нужно будет при трассировке откладывать расстояния 2.225 мм. Сделать это мышкой при размерах сетки 0.05 мм не получится, поэтому будем пользоваться координатным вводом.

Дважды щёлкните мышкой по элементу топологии **MTRACE2**. Элемент будет выделен и в центре и по краям появятся синие ромбики. Установите курсор мышки на ромбик в правом конце элемента в месте соединения элемента трассировки со входом ответвителя так, чтобы курсор отображался в виде двойной стрелки, и дважды щёлкните левой кнопкой мышки, чтобы активизировать режим трассировки. Нажмите клавишу **Tab**, в открывшемся окне введите **dx=-2.225** и нажмите **OK**. Переместите курсор мышки вверх на **0.5** мм, щёлкните мышкой и нажмите клавишу **Tab**. В открывшемся окне введите **dx=-2.225**, нажмите **OK** и дважды щёлкните мышкой. Выберите в меню **Edit>Select All** и затем щёлкните мышкой по значку **Snap Together** на панели инструментов, чтобы упорядочить топологию. Должна получиться топология, показанная на рис. 5.123.

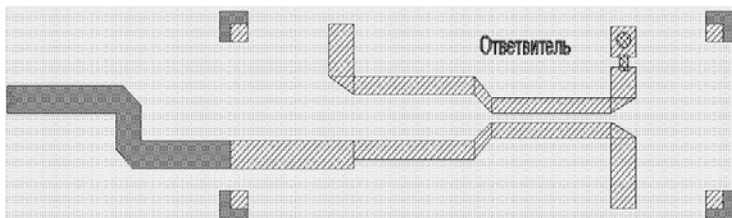


Рис. 5.123

Сделайте активным окно схемы **Schematic 2** и обратите внимание,

что параметр **L** элемента **MTRACE2** изменился в соответствии с выполненным изменением топологии.

Сделайте активным окно графика и щёлкните по значку **Analyze** на панели инструментов, убедитесь, что анализ схемы выполняется нормально.

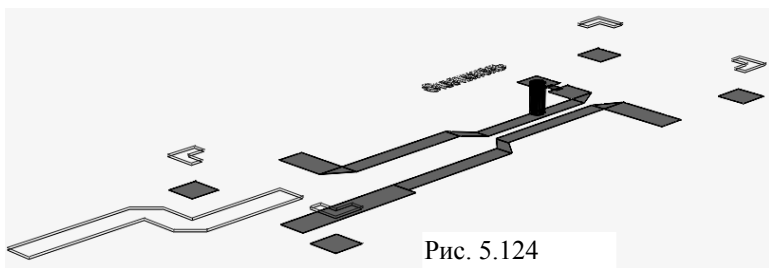


Рис. 5.124

Сделайте активным окно топологии схемы **Schematic 2** и щёлкните мышкой по значку **New Schematic 3D View** на панели инструментов, чтобы просмотреть трёхмерное изображение созданной топологии (рис. 5.124). В трёхмерном изображении видно, что Microwave

Office при создании топологии схемы поместил элемент трассировки на верхний (второй) слой диэлектрика. Соответственно и экспорт в DXF файл будет выполняться не правильно. Поэтому созданную топологию нужно отредактировать. Для наглядности так же добавим отображение плат. Сделать это можно следующим образом.

1. Закройте окно трёхмерного отображения топологии и сделайте активным окно топологии схемы **Schematic 2**.
2. Щёлкните мышкой по панели **Layout** в левом нижнем углу проекта, чтобы открыть окно менеджера топологии. В нижней части окна менеджера топологии отметьте слой **Copper1**.
3. Щёлкните мышкой по значку **Polygon** на панели инструментов.
4. Установите курсор на правый верхний угол элемента трассировки в месте соединения этого элемента с ответвителем и щёлкните левой кнопкой мышки. Двигая курсор по контуру элемента трассировки, щёлкая мышкой в точках изгиба, начертите точно такой же элемент.
5. Теперь нужно удалить элемент топологии, созданный Microwave Office для элемента схемы **MTRACE2**. Для этого сделайте активным окно схемы **Schematic 2** и дважды щёлкните мышкой по элементу **MTRACE2**. В открывшемся окне свойств элемента откройте вкладку **Layout**, в списке возможных вариантов топологий отметьте **[None]** и нажмите **OK**. В этом случае для элемента автоматически никакой топологии создаваться не будет.
6. Сделайте активным окно топологии схемы **Schematic 2**.



7. Переместите квадратные реперные знаки на третьем слое на левый край будущей нижней платы. Для этого дважды щёлкните мышкой по топологии ответвителя. Откроется окно электромагнитной структуры. Щёлкните левой кнопкой мышки по верхнему левому квадратному реперному знаку на третьем слое (по его видимой части), щёлкните по значку **Copy** на панели инструментов, чтобы скопировать его. Нажмите клавишу **Delete**, чтобы удалить реперный знак. Затем удалите левый нижний квадратный реперный знак. Закройте окно электромагнитной структуры.
8. В окне топологии схемы **Schematic 2** щёлкните мышкой по значку **Paste** на панели инструментов и поместите скопированный реперный знак на одном уровне с уже имеющимися верхними реперными знаками и левее границы элемента трассировки, например, на 0.2 мм. Снова щёлкните мышкой по значку **Paste** на панели инструментов и поместите скопированный реперный знак на одном уровне с уже имеющимися нижними реперными знаками и левее границы элемента трассировки на 0.2 мм.
9. В нижней части окна менеджера топологии отметьте слой **Board3**. Щёлкните по значку **Rectangle** на панели инструментов, установите курсор на левый верхний угол левого верхнего квадратного реперного знака, нажмите левую кнопку мышки и переместите курсор по диагонали на нижний правый угол нижнего правого квадратного реперного знака.

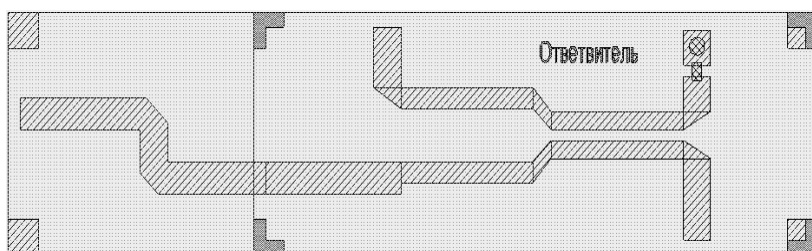


Рис. 5.125

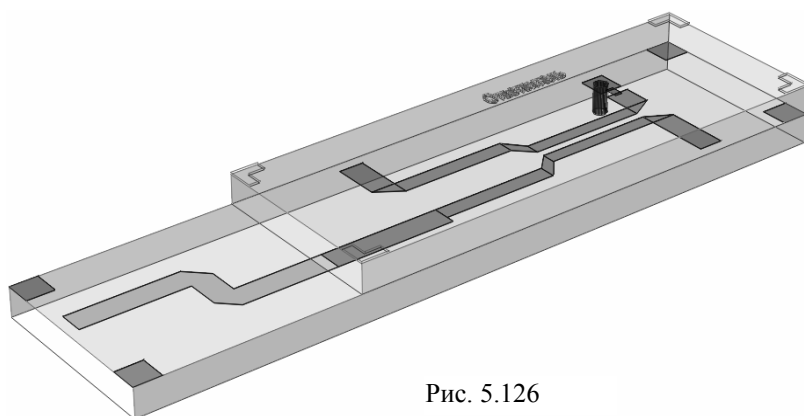


Рис. 5.126

10. В нижней части окна менеджера топологии отметьте слой **Board2**. Щёлкните по значку **Rectangle** на панели инструментов и аналогично создайте слой платы между реперными знаками второго слоя.

Отредактированная топология схемы **Schematic 2** показана на рис. 5.125.

Щёлкните мышкой по значку **New Schematic 3D View** на панели инструментов. Трёхмерное отображение созданной топологии показано на рис. 5.126. Теперь отредактированную топологию схемы можно экспортировать в DXF файл, выбрав в меню **Layout>Export**, как описано ранее.