

ОСНОВЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ В Microwave Office 2009



2011 г.

Оглавление

Введение.....	1
1 Среда проектирования Microwave Office.....	3
1.1 Запуск Microwave Office.....	3
1.2 Компоненты среды проектирования	3
1.3 Интерфейс пользователя	5
1.4 Работа с проектами	8
1.5. Работа со схемами.....	10
1.6 Создание топологии схем.....	16
1.7. Создание электромагнитных структур (ЕМ).....	18
1.8. Создание выходных графиков и добавление единиц измерения.....	20
1.9. Установка частот для анализа и выполнение моделирования.....	21
1.10. Установка единиц измерения, используемых по умолчанию.....	21
1.11. Сценарии и мастера	22
1.12. Помощь	23
2 Импорт файлов данных	24
2.1 Создание нового проекта.....	24
2.2 Импортирование файла данных.....	24
2.3 Отображение S-параметров файла данных.....	24
2.4. Добавление файла данных в схему.....	25
2.5. Определение частот и выполнение анализа схемы.....	26
3. Линейное моделирование.....	28
3.1. Моделирование ФНЧ на сосредоточенных элементах	28
3.2. Моделирование микрополоскового заграждающего фильтра	36
3.3. Моделирование микрополоскового аттенюатора на резисторах	42
3.4. Моделирование микрополоскового 2-х диодного аттенюатора	46
4. Нелинейное моделирование	55
4.1. Моделирование усилителя мощности.....	55
4.2. Моделирование балансного смесителя на диодах.....	66
5. Создание топологии схемы	74
5.1. Определение глобальных единиц измерения в проекте.....	74
5.2. Импортирование файла слоя.....	74
5.3. Редактирование базовой единицы измерения и размера сетки по умолчанию.....	74
5.4. Импортирование библиотеки элементов GDSII.....	75
5.5. Импортирование файла данных.....	75
5.6. Создание схемы.....	76
5.7. Размещение файла данных в схеме и добавление точки заземления.....	76
5.8. Замена символа элемента.....	76
5.9. Размещение микрополосковых элементов в схеме для топологии.....	77
5.10. Назначение топологического чертежа ячейки элементу схемы.....	78
5.11. Просмотр топологии.....	78
5.12. Закрепление элемента топологии.....	78
5.13. Черчение топологического чертежа элемента топологии.....	79
5.14. Добавление портов к созданному элементу топологии.....	80
5.15. Добавление в схему конденсатора и назначение ему элемента топологии chip cap.....	80
5.16. Трассировка элемента MTRACE2 в окне топологии.....	81
5.17. Опции привязки элементов топологии.....	82
5.18. Экспорт топологии.....	83
6. Электромагнитное моделирование (EMSight).....	84
6.1. Моделирование встречноштыревого микрополоскового фильтра.....	87
6.2. Моделирование микрополоскового аттенюатора	99
6.3 Моделирование микрополоскового двухсекционного делителя мощности.....	106
6.4. Моделирование микрополоскового двухсекционного симметризованного направленного ответвителя.....	112
6.5. Моделирование межслойного перехода.....	125
7. Электромагнитное моделирование (AXIEM).....	136
7.1. Основные особенности AXIEM.....	136
7.2. Моделирование направленного ответвителя.....	143
7.3. Моделирование широкополосного фильтра-лесенки	149
7.4. Пример “неудачного” моделирования.....	156
8. Использование экстракции.....	160
8.1. Общие положения.....	160
8.2. Настройка, оптимизация и статистический анализ.....	166

Настоящее пособие не раскрывает всех возможностей программы Microwave Office 2009. Его цель – помочь быстрее освоить основы работы в среде моделирования этой программы на конкретных примерах. Пособие составлено с использованием Getting Started, входящего в состав документации Microwave Office 2009 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, используемых для проектирования радиочастотных устройств и устройств СВЧ, является AWR DESIGN ENVIRONMENT (AWRDE) компании Applied Wave Research. Он включает в себя три 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 этой среды. Это пособие включает информацию только о Microwave Office.

Среда проектирования AWR использует единую объектно-ориентированную модель данных, синхронизирующую работу над проектом без использования промежуточных трансляторов. Это обеспечивает доступ ко всем необходимым данным независимо от того, чертите вы схему, выполняете её анализ или формируете топологию.

Microwave Office позволяет создавать схемы, состоящие из элементов схем (сосредоточенных и распределённых) и электромагнитных структур. Схемы могут иметь сложную иерархическую структуру, включающую множество подсхем на различных уровнях иерархии. В качестве подсхем могут использоваться ранее созданные схемы или электромагнитные структуры, а также списки цепей, файлы данных или элементы из библиотек сторонних пользователей. Для создания схем имеется обширная библиотека встроенных схемных элементов.

Для моделирования можно использовать один из методов: линейное моделирование, одночастотный и многочастотный гармонический баланс, ряды Вольтера, электромагнитное моделирование и др. Результаты могут выводиться в различных графических формах или в таблице в зависимости от цели проводимого анализа. Имеется множество измеряемых величин, которые можно отобразить на графиках. Если же нужной величины в этом множестве всё-таки нет, можно составить уравнение для её вычисления, и она будет выведена на график.

Можно настраивать или оптимизировать электрические схемы, созданные в проектах, и все изменения немедленно и автоматически отражаются на графиках и в топологии. Теперь появилась возможность настраивать и оптимизировать и электромагнитные структуры, используя экстракцию, т.е. извлечение электромагнитных структур из элементов схемы или из топологии схемы.

В AWR имеется возможность интеграции программ сторонних производителей. Интерфейс EM Socket (двусторонний канал связи) даёт возможность непосредственно из проекта AWR использовать вычислительные модули различных производителей программного обеспечения для электромагнитного моделирования, поддерживающих этот интерфейс. Анализ топологии устройства, созданной в Microwave Office, может быть выполнен с помощью вычисляющих блоков программ CST, Sonnet, Zeland и др.

Справочная система Microwave Office обеспечивает информацию обо всех окнах, пунктах меню, и концепциях. К справочной системе можно обратиться через **Пуск>Программы>AWR 2009>MWO_Help.exe**, или выбрав **Help** из выпадающего меню, или нажав клавишу **F1**.

Если вы обновляете версию Microwave Office, то сохраните старую версию до тех пор, пока не проверите, работают ли ваши проекты в новой версии. Файл лицензии для версии v9.0 пригоден также и для версий v8.X и v7.X.

При переносе проектов в версию v9.0 из более старых версий, могут возникнуть проблемы. Некоторые из них устраняются просто. Например, если вы в версии v8.X создали какие-то сценарии, вы можете перенести их в версию v9.0 просто скопировав все ваши файлы *.bas из папки Appdata80/scripts в папку Appdata90/scripts.

Если вы настраивали AWRDE v8.X в окне **Customize (Tools>Customize или Tools>Hot Keys Tools)** и хотите сохранить эти настройки в v9.0, скопируйте из папки Appdata80 в папку Appdata90 следующие файлы:

- o **Customizations.xml** – содержит установки горячих клавиш,
- o **UCustomizatin.xml** – содержит установки меню. Однако при копировании этих файлов новые или изменённые меню могут быть потеряны в новой версии. Но вы всегда можете перейти к меню по умолчанию в v9.0.
- o **UDockingLayout.xml** – содержит установки для закреплённых окон в среде проектирования.

- о **UToolBarLayout.xml** – содержит установки панели инструментов. Здесь также есть риск потерять панели инструментов, но всегда можно перейти к панелям по умолчанию.

Если в версии v8.X вы заполнили X-модели и хотите их использовать в v9.0, скопируйте все файлы с расширением *.emx из папки **Appdata80/em_models** в папку **Appdata90/em_models**.

Более подробную информацию о переносе проектов из более старых версий можно найти в руководстве пользователя.

1 Среда проектирования Microwave Office

1.1 Запуск Microwave Office

Чтобы запустить Microwave Office нажмите кнопку Пуск в Windows и выберите Программы>AWR2009>AWR Design Environment. Откроется главное окно Microwave Office, показанное на рис. 1.1.

Альтернативно можно запустить файл MWOOffice.exe, который по умолчанию находится в папке C:\Program Files\AWR\AWR2009. Для удобства значок этого файла можно вывести на рабочий стол.

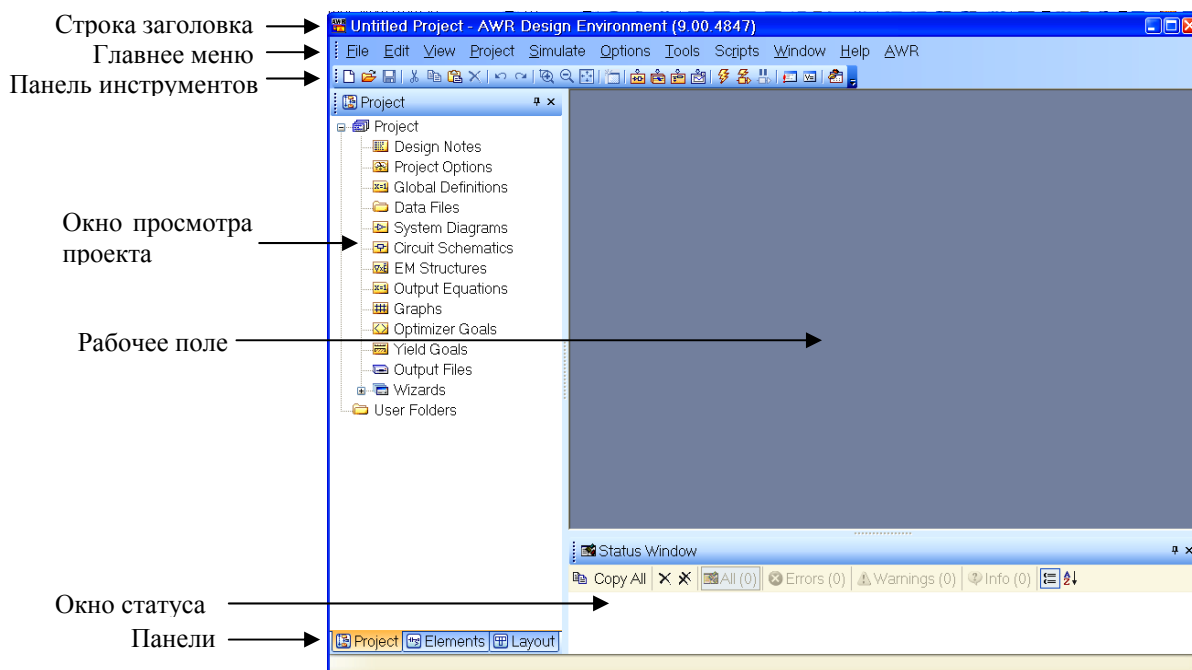


Рис. 1.1

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 (ЕМ), 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. В выпадающих меню слева от команды отображается соответствующий этой команде значок на панели инструментов, а справа – горячая клавиша.
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 (ЕМ), частоты моделирования и выходные графики. Это окно активно при загрузке программы или после щелчка по панели Project в нижней части левого окна.
Рабочее поле	Зона, в которой проектируются схемы, электромагнитные структуры (ЕМ), отображаются и редактируются топологии, и выводятся графики. Размер рабочего поля можно изменять, если установить курсор мышки на левую или нижнюю границу поля, и перемещать мышку с нажатой левой кнопкой.
Панели	Строка панелей, расположенная в нижней части левого окна, которая позволяет переключать содержимое этого окна. Project – включает окно просмотра проекта. Elements – включает окно просмотра элементов для формирования схем. Layout – включает окно менеджера топологии, которое позволяет определить параметры для черчения и просмотра топологии.
Окно статуса	В этом окне отображается ход выполнения моделирования и возникающие ошибки.

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. Чтобы узнать команду, с которой связан значок на панели инструментов, установите курсор мышки на этот значок и подержите несколько секунд.

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 скроллинга и изменять размеры внутри окна, используя значки на панели инструментов. Вы можете щёлкать по элементам 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 копирования и вставки на 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 уравнений (**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**);
- группа папок, которые может создавать пользователь (**User Folders**) для группирования и хранения отдельных частей проекта (схемы, графики и т.д.) в сложных проектах.

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** открывает диалоговое окно для определения опций проекта. 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 контекстные меню, предлагающие на выбор список возможных дальнейших действий.

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, если только

электромагнитная структура создана вручную, а не получена с помощью экстракции (т.е. извлечения) из имеющейся в проекте схемы.

Электромагнитная структура представляет собой набор проводящих и резистивных полигонов, а также межслойных соединений произвольной геометрической формы. Она может анализироваться в решающих устройствах (симуляторах) EMSight, AXIEM или в решающих устройствах сторонних производителей. Если используется EMSight, структура 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. В AXIEM боковые стенки отсутствуют.

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.

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 отображается 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.

1.3 Интерфейс пользователя

Начиная с 7-ой версии, интерфейс пользователя сделан более гибким, и пользователь может изменять отображение элементов главного окна. Часть этих нововведений некоторые пользователи считают "архитектурными излишествами", однако иметь представления о них нужно, например, если требуется максимально увеличить площадь рабочего поля. Или, если случайным щелчком мышки будет

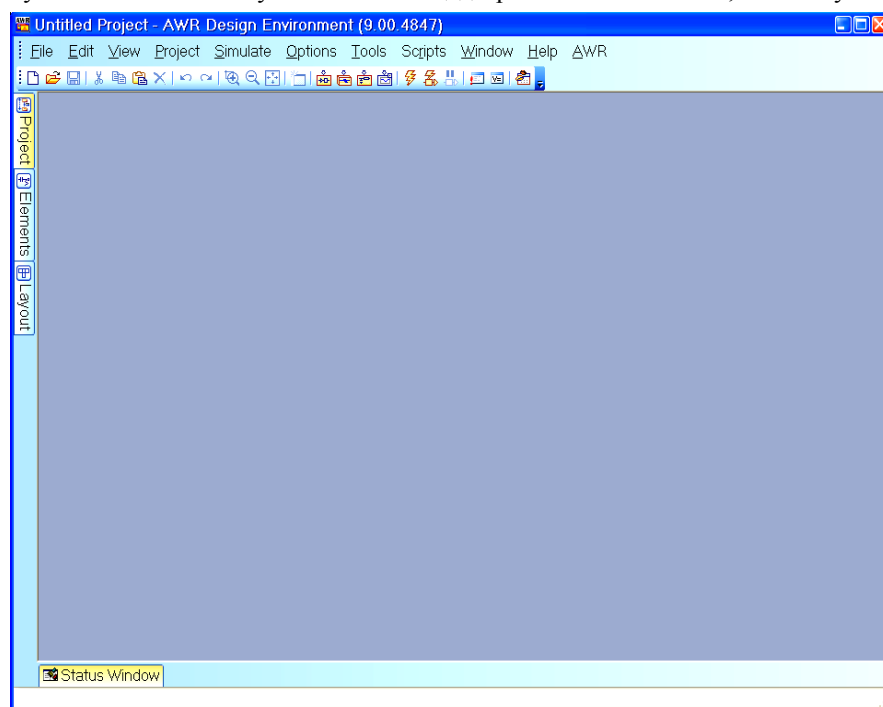


Рис. 1.2

изменён интерфейс и возникнет вопрос, как вернуться обратно.

Вкладки **Project**, **Elements**, **Layout** и окно статуса теперь могут автоматически скрываться, освобождая при необходимости больше места для рабочего поля. Если вы хотите скрыть какое-либо из этих окон, щёлкните по значку **Auto Hide** в правом верхнем углу соответствующего окна. Когда окна скрыты, имена вкладок **Project**, **Elements** и **Layout** отображаются в левой части основного окна, а имя окна статуса – в левой нижней части (рис. 1.2).

Чтобы открыть скрытое окно, достаточно подвести на его имя курсор мышки.

Открытое таким образом окно можно временно закрепить, щёлкнув в нём мышкой. Или воспользоваться командами меню **View**. После временного закрепления окно автоматически скрывается при щелчке мышкой в любом месте вне окна.

Вновь открыть и постоянно закрепить скрытое окно можно, если открыть его и щёлкнуть мышкой по значку **Auto Hide** или дважды щёлкнуть по заголовку открытого окна.

Если дважды щёлкнуть мышкой по строке заголовка окна или по имени окна на панели в нижней части окна, оно приобретает вторую форму, меняет цвет и теряет возможность автоматически скрываться. Размеры таких окон можно изменять в любом направлении. Для этого нужно установить курсор на соответствующую границу окна так, чтобы курсор отображался в виде двойной стрелки. Затем нажать левую кнопку мышки и перемещать границу. Если установить курсор на заголовок окна и нажать левую кнопку мышки, окно можно переместить в другое место. При этом на экране отображаются маркеры,

указывающие направления, в которых можно двигать окно. Если при перемещении нажать клавишу **Ctrl**, то маркеры исчезают.

Таким же образом можно перемещать и основной вид окон. Однако при этом окно автоматически приобретает вторую форму.

Заметим, что при втором виде окон, часть рабочего поля скрывается под таким окном, что обычно неудобно, т.к. скрывается часть окна, расположенного на рабочем поле (схемы, графика и т.д.).

Чтобы вернуть первоначальный вид окон, нужно снова дважды щёлкнуть мышкой по заголовку окна или по имени окна в нижней части.

Все эти окна можно вообще удалить, щёлкнув мышкой по значку  в правой верхней части ок-



Рис. 1.3

на. Вновь открыть окно можно, воспользовавшись командами меню **View**.

Панели инструментов можно перемещать на другое место обычным, принятым в Windows способом, установив курсор на нача-

ло панели так, чтобы курсор отображался в виде скрещенных стрелок (рис. 1.3), и нажав левую кнопку мышки. Если щёлкнуть по значку **Toolbar Options**  в конце панели инструментов, то можно добавить



Рис. 1.4

новые или удалить имеющиеся значки.

Если дважды щёлкнуть по началу панели инструментов, то вид панели изменяется, у неё появляется заголовок (рис. 1.4). Изменить набор значков в такой панели можно аналогично, щёлкнув по значку **Toolbar Options**. Щёлкнув по значку

Close, можно удалить панель. Чтобы её восстановить снова, нужно выбрать в меню **Tools>Customize**. Переместить панель можно, установив курсор на заголовок панели и нажав левую кнопку мышки. Вернуть панели прежний вид можно, щёлкнув по её заголовку.

Настройку меню и панелей инструментов можно выполнить в диалоговом окне **Customize**. Чтобы открыть это окно, щёлкните правой кнопкой мышки по строке меню или по любой панели инструментов и выберите **Customize**. Или выберите в меню команду **Tools>Customize**. Диалоговое окно **Customize** поддерживает настройку только меню и панелей инструментов. Для настройки горячих клавиш выберите **Tools>Hotkeys**.

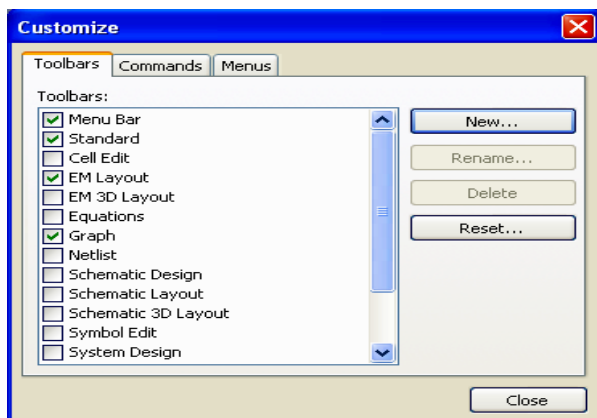


Рис. 1.5

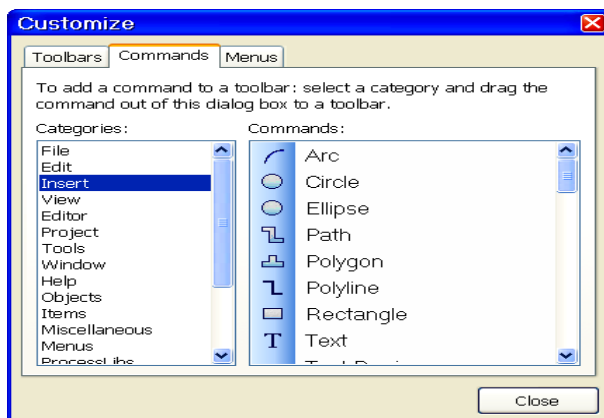


Рис. 1.6

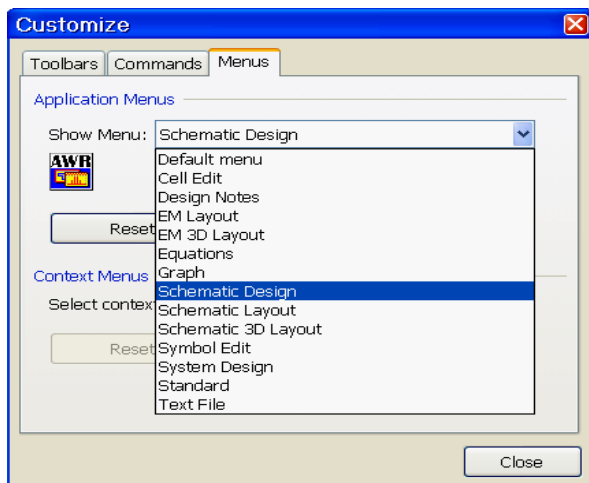


Рис. 1.7

По умолчанию тип открытых панелей инструментов и их содержимое зависит от имеющихся в проекте рабочих окон. Обычно это бывает достаточным для моделирования. Но при необходимости можно добавить или убрать какие-то панели, используя вкладку **Toolbars** окна **Customize** (рис. 1.5). Щёлкнув по кнопке **New**, вы можете создать собственную панель инструментов.

Используя вкладку **Commands** (рис. 1.6), можно изменить содержимое панели инструментов. Чтобы добавить команду на панель инструментов, выберите категорию команды, затем перетащите нужную команду на панель инструментов. Чтобы удалить команду с панели инструментов, просто стащите её с панели. Или при открытом окне **Customize** щёлкните по значку команды на панели инструментов правой кнопкой мышки и выберите **Delete**.

Строка меню автоматически изменяется в зависимости от открытого активного окна на рабочем поле. Но вы можете изменить строку меню при желании, воспользовавшись вкладкой **Menus** окна **Customize** (рис. 1.7). Щёлкните по кнопке в конце поля **Show Menu** и выберите нужную строку меню.

Когда диалоговое окно **Customize** открыто, команды меню и значки на панели инструментов приобретают новые функциональные возможности. Щёлкнув правой кнопкой мышки по команде меню или по значку на панели инструментов, вы можете изменить его отображение (например, отображать только значок или значок с текстом). Можете вообще выбрать другой значок или отредактировать имеющийся и изменить цвет.

Например, щёлкните правой кнопкой мышки по команде меню **View>View All**. Откроется список операций, которые вы можете выполнить. Если выбрать **Text Only** (или нажать клавишу **T**), то в меню исчезнет значок команды. Если выбрать **Image and Text**, то ничего не изменится, т.к. значок и текст отображаются в меню по умолчанию (**Default Style**). Если выбрать **Change Button Image**, откроется набор значков, которыми можно заменить значок, установленный по умолчанию. Новый значок будет только в команде меню, на панели инструментов он останется прежним. Вернуть прежний значок можно, выбрав **Reset Button Image**. Если выбрать **Edit Button Image**, откроется окно редактора кнопки, в котором вы можете отредактировать изображение значка и его цвет.

Все эти операции можно выполнить и над значком панели инструментов, если щёлкнуть по нему правой кнопкой мышки. В этом случае при выборе **Image and Text** значок на панели будет отображаться вместе с текстом, поясняющим назначение соответствующей команды (рис. 1.8). Вернуться к отображению только значка можно, выбрав **Default Style**.



Рис.1.8

Вы можете изменить порядок расположения пунктов в строке меню и команд во всплывающем меню, нажав клавишу **Alt** и перетаскивая их на новое место мышкой. Точно также вы можете изменить порядок расположения значков на панели инструментов. Эту операцию можно выполнить и при закрытом окне **Customize**, но только в строке меню и на панели инструментов, изменить порядок команд в меню не получится.

Если щёлкнуть правой кнопкой мышки по строке меню или по панели инструментов и выбрать

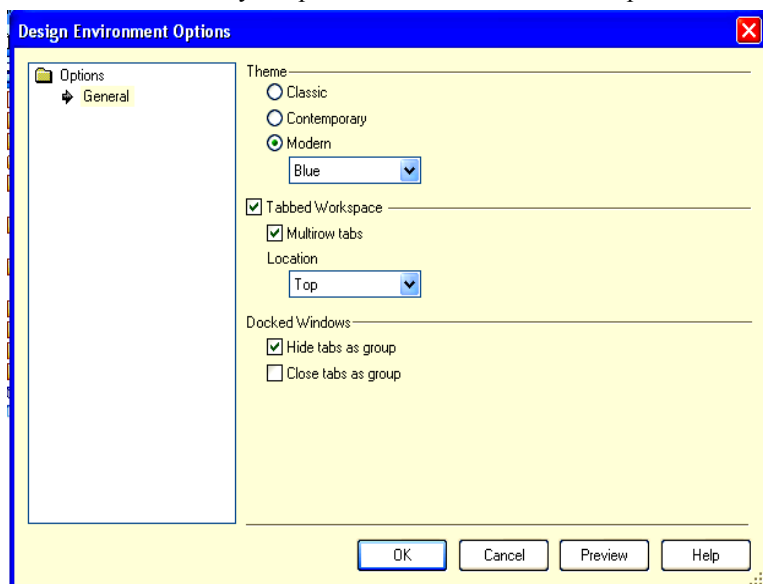


Рис. 1.9

Options, или выбрать в меню **Tools>Options** откроется окно **Design Environment Options** (рис. 1.9). В области **Theme** вы можете изменить вид (тему) окна проекта:

Classic – подобно Microsoft Office 2000;

Contemporary – подобно Microsoft Visual Studio 2005;

Modern – подобно Microsoft Office 2003 с опциями для нескольких различных цветов.

Если отмечено **Tabbed Workspace**, появляется панель с именем для каждого создаваемого в проекте рабочего окна. Обычно это делается по умолчанию, что облегчает работу с окнами. Если отмечено **Multirow tabs**, то при большом количестве окон их имена располагаются на нескольких строках. В противном случае они располагаются в одной строке с возможностью их скроллинга. В поле ввода **Location** можно выбрать, где будет располагаться панель с именами окон (вверху рабочего поля, внизу, слева или справа).

Если отмечено **Hide tabs as group**, то при щелчке по значку **Auto Hide** в одном из окон (окна просмотра проекта, просмотра элементов или менеджера топологии) автоматически скрывается вся эта группа окон. Если отмечено **Close tabs as group**, то при закрытии одного из указанных окон закрывается вся группа этих окон.

Если отмечено **Hide tabs as group**, то при щелчке по значку **Auto Hide** в одном из окон (окна просмотра проекта, просмотра элементов или менеджера топологии) автоматически скрывается вся эта группа окон. Если отмечено **Close tabs as group**, то при закрытии одного из указанных окон закрывается вся группа этих окон.

В Microwave Office можно создавать копии схемы, электромагнитной структуры или графика. Для этого нужно просто перетащить мышкой имя соответствующего окна на имя соответствующей группы в окне просмотра проекта. Например, чтобы создать копию схемы, нужно перетащить её имя на имя группы **Circuit Schematics**. По умолчанию копии присваивается то же самое имя с добавлением номера копии. Например, копия схемы с именем **Schematic 1** получит имя **Schematic 1_1**. Созданная копия является новым самостоятельным документом проекта. Она появляется в окне просмотра проекта, её можно редактировать независимо от первоисточника, её можно анализировать и её характеристика отображается на графике. В **Window** имеется команда **New Window** и соответствующий этой команде значок  на стандартной панели инструментов. Выбор этой команды или щелчок по значку на панели инструментов открывает новое окно, полностью идентичное активному окну, для всех рабочих окон про-

екта, кроме текстовых окон. Однако это окно не является копией активного окна, оно скорее является

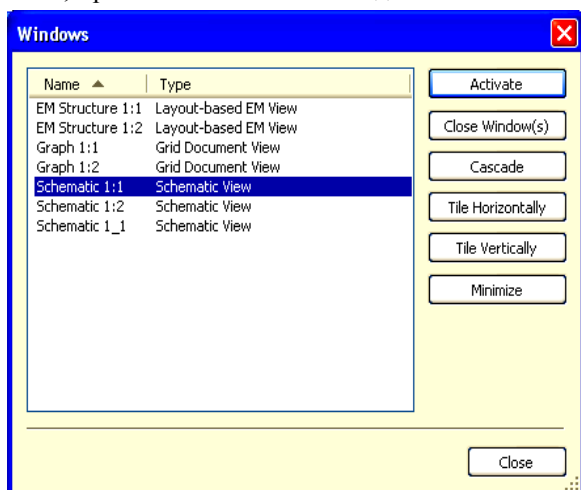


Рис. 1.10

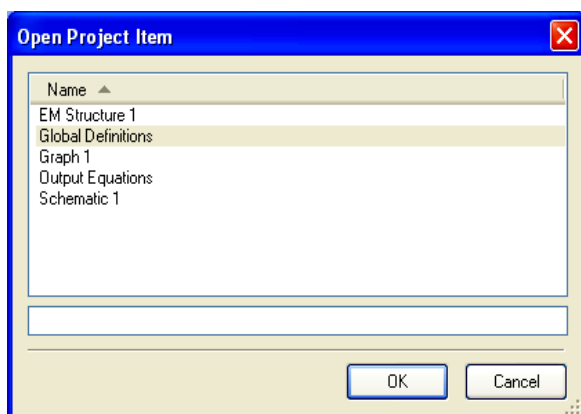


Рис. 1.11

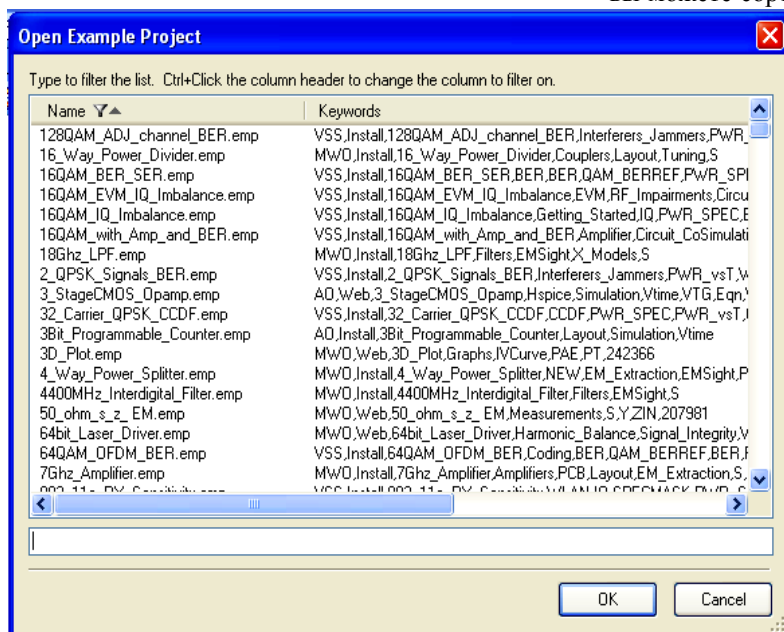


Рис. 1.12

меню **File>More Projects**. Откроется окно со списком предыдущих проектов. Выберите нужный проект и нажмите **OK**.

1.4 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

дубликатом. В отличие от копии оно получает то же имя, но с номером через двоеточие. Например, для схемы **Schematic 1** второму окну будет присвоено имя **Schematic 1:2**. Это окно не появляется в окне просмотра проекта, ему нельзя изменить имя, для него не проводится анализ и для него не отображается отдельная характеристика на графике. Но содержимое этого окна можно редактировать и все изменения отображаются в первом окне (и наоборот).

В меню также имеется команда **Window>Windows**. Выбор этой команды открывает окно со списком всех имеющихся в проекте окон (рис. 1.10). Выбрав имя окна в списке, можно выполнить над ним некоторые операции, щёлкнув по одной из кнопок в правой части окна. Например, можно сделать окно активным, щёлкнув по кнопке **Activate**. Это может быть удобным, если в проекте много окон.

Открыть любой документ проекта (схему, график, электромагнитную структуру, глобальные определения и т.д.) можно, щёлкнув правой кнопкой мышки в любом месте окна просмотра проекта и выбрав **Open Project Item**. Откроется диалоговое окно (рис. 1.11) со списком всех имеющихся в проекте документов. Выберите документ, который нужно открыть, и нажмите **OK**.

В некоторые диалоговые окна введена фильтрация текста для облегчения поиска. Например, если вы хотите просмотреть какой-то пример, выберите в меню **File>Open Example**. Откроется диалоговое окно со всеми имеющимися примерами (рис. 1.12). Щёлкая мышкой по заголовку столбца **Name**, вы можете сортировать в этом столбце имена приме-

ров в алфавитном или обратном алфавитном порядке. То же самое можно сделать и в столбце ключевых слов **Keyword**. В поле ввода в нижней части окна вы можете ввести текст для фильтрации, например **filter**, если хотите найти пример моделирования фильтров. В списке останутся только примеры фильтров. Или можете ввести ключевое слово, например **MWO**, чтобы оставить в списке только примеры MWO, или ключевое слово **new**, чтобы оставить в списке только новые примеры.

В нижней части выпадающего меню **File** имеется перечень ранее открытых проектов, откуда их можно загрузить. Но количество таких проектов ограничено. Можно открыть один из предыдущих проектов и другим способом, выбрав в

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 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.

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.

1.4.1 Создание, открытие и запись проектов.

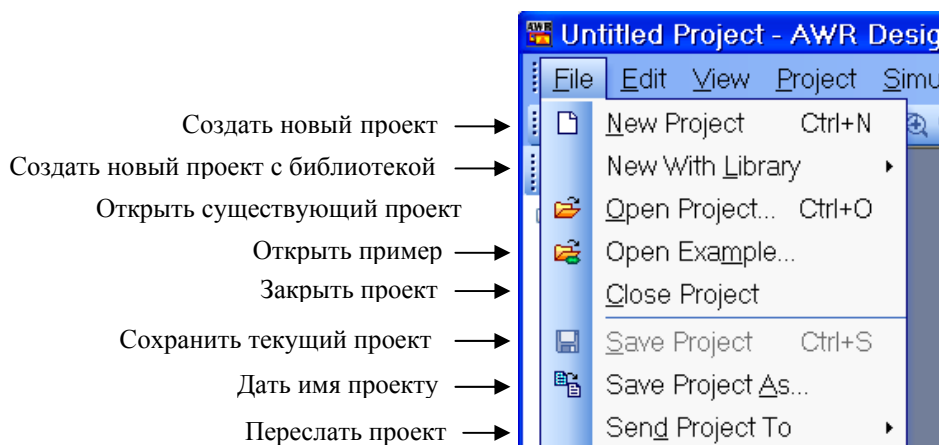


Рис. 1.13

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**. После запуска Microwave Office по умолчанию загруженным или активным является проект без названия (**Untitled Project**).

Имя активного проекта отображается в заголовке основного окна (рис. 1.13).

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**.

1.4.2 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** (рис. 1.14). Альтернативно, можно в меню выбрать **Project>Add Schematic>New Schematic** или **Project>Add Netlist>New Netlist**, или щёлкнуть по значку **Add New Schematic** на панели инструментов. В открывшемся поле ввода, ввести имя схемы или списка цепей (рис. 1.15). 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 переносить в другую директорию, чтобы эта связь не оборвалась. Аналогичные операции можно выполнять и для списков цепей.

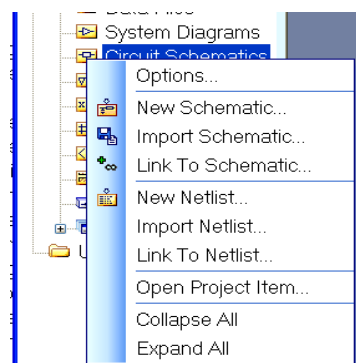


Рис. 1.14

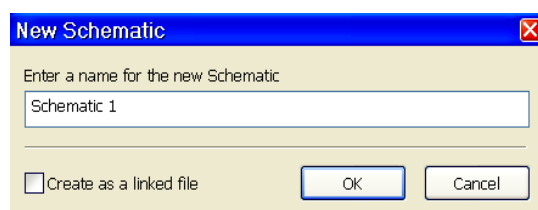


Рис. 1.15

Если в проекте создано много схем и/или списков цепей, их можно сгруппировать в папки. Вы можете создать дерево своих папок, щёлкая правой кнопкой мышки по группе **User Folder** в окне просмотра проекта или по уже созданной папке и выбирая **Add New>Folder**. Чтобы поместить схему (график, электромагнитную структуру и т.д.), установите курсор на имя схемы в окне просмотра проекта, нажмите левую или правую кнопку мышки и перетащите схему в нужную папку.

Выбрав в меню **Options>Environment Options**, в открывшемся окне вы можете отредактировать опции среды. Если в этом окне на вкладке **Project** отметить **Show options as sub-nodes**, эти опции будут включены в группу **Circuit Schematics** как подгруппа с именем **Default Ckt Options**. Дважды щёлкнув по этой подгруппе левой кнопкой мышки, или щёлкнув правой кнопкой и выбрав **Edit**, можно редактировать эти опции из окна просмотра проекта.

После того, как определено имя схемы или списка цепей, на рабочем поле открывается пустое окно схемы 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.

1.5. Работа со схемами.

1.5.1. 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.

Нажимая значки + или – возле группы, можно развернуть или свернуть группу, а при нажатии на значок желательной подгруппы, например, **Capacitor** (Конденсатор) или **Inductor** (Индуктивность), в нижней части окна просмотра элементов отображаются доступные элементы из этой подгруппы (рис.1.16).

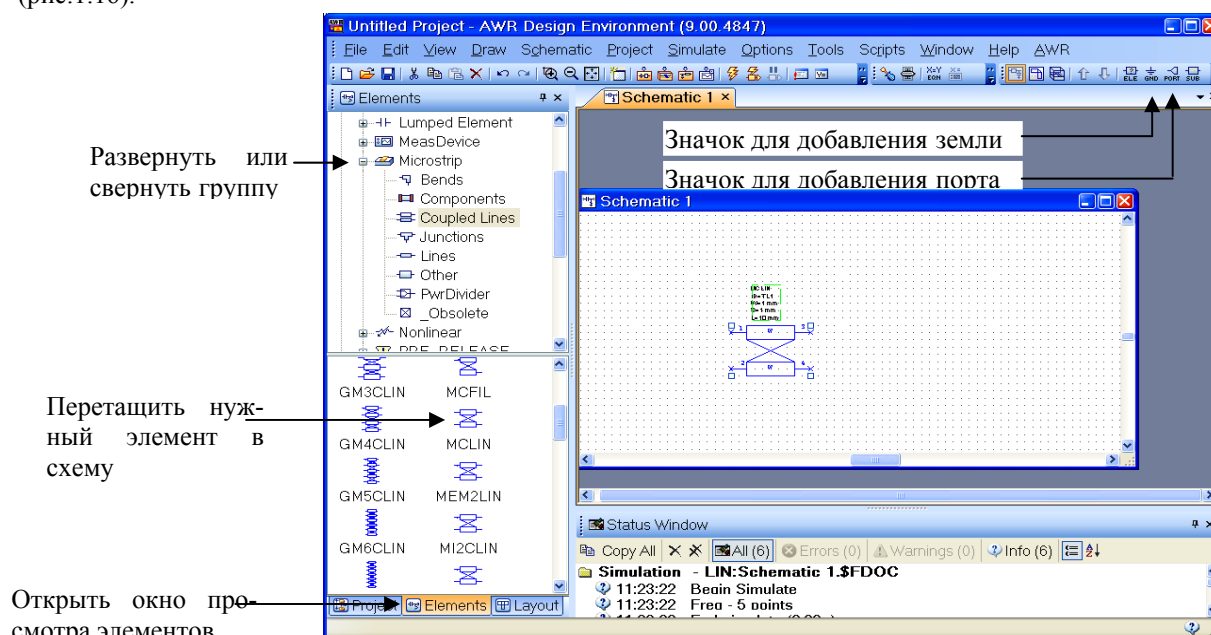


Рис. 1.16

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 кнопок 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,

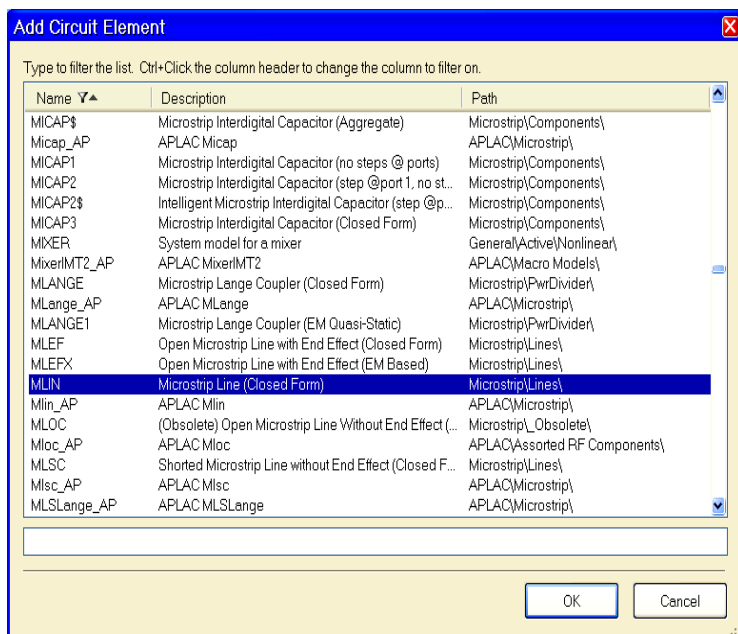


Рис. 1.17

возможно с небольшой потерей в точности. Например, если в параметрах элемента подложки ввести $\epsilon_r=10$ и $\epsilon_{rNom}=10$, и в схеме имеется X-модель, например модель скачка ширины проводника **MSTEPX**, то анализ выполняться не будет. В окне статуса появится сообщение, что X-модель не заполнена. Но если изменить значение ϵ_{rNom} и в параметрах подложки ввести $\epsilon_r=10$ и $\epsilon_{rNom}=10.2$, то анализ будет выполнен. Заметим, что значение ϵ_{rNom} используется только для X-моделей. Если в схеме X-моделей нет, то значение ϵ_{rNom} может быть любым.

Добавить элемент в схему можно и другим способом. Выберите в меню **Draw>More Elements** или щёлкните по значку **Element** на панели инструментов. Откроется окно **Add Circuit Element** со списком имеющихся моделей элементов (рис. 1.17). Выберите

нужный элемент и нажмите **OK**.

1.5.2. Добавление подсхем в схему

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** 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>Import Data File** в окне просмотра проекта. Или щёлкните правой кнопкой мышки по группе **Data Files** в окне просмотра проекта и выберите **Import Data File**. Любые импортированные файлы данных автоматически отображаются в перечне доступных подсхем в окне просмотра элементов.

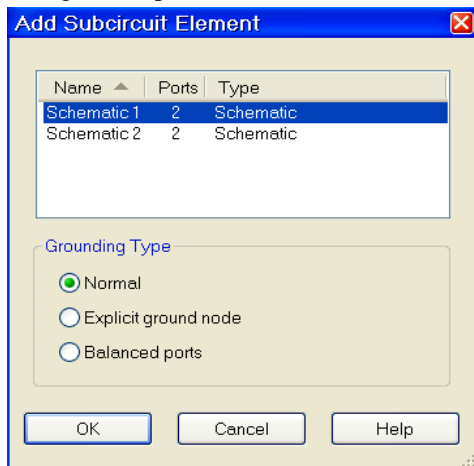


Рис. 1.18

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

Добавить подсхему можно и иначе. Выберите в меню **Draw>Add Subcircuit** или щёлкните по значку **Subcircuit** на панели инструментов. Откроется окно со списком имеющихся в проекте подсхем (рис. 1.18). Выберите нужную подсхему и нажмите **OK**.

Иногда возникает необходимость отредактировать параметры элементов подсхемы. Очевидный способ для этого – открыть окно схемы (списка цепей, электромагнитной структуры и пр.), которая используется в качестве подсхемы, и выполнить редактирование. Однако редактировать подсхему можно и, не выходя из окна схемы, включающей подсхему.

Для редактирования параметров подсхемы нужно щёлкнуть по подсхеме правой кнопкой и выбрать **Edit Subcircuit** во всплывающем меню. Отредактировать подсхему можно так же, если выделить её, щёлкнув по подсхеме левой кнопкой мышки, и затем выбрать меню **Schematic>Edit Subcircuit** или щёлкнуть по значку **Edit Subcircuit** на панели инструментов, который станет активным. При выборе этой команды окно схемы заменяется окном подсхемы для её редактирования. Чтобы после выполнения редактирования вернуться в окно схемы, выберите в меню **Schematic>Exit Subcircuit** или щёлкните по значку **Exit Subcircuit** на панели инструментов.

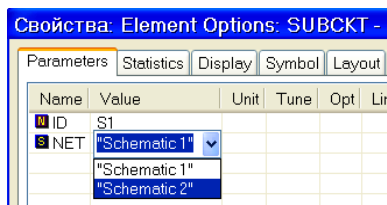


Рис. 1.19

Если в схему по ошибке добавлена не та подсхема, вы можете исправить это очень просто. Дважды щёлкните по неверно вставленной подсхеме. Откроется окно свойств. В строке **Net** будет отображено имя выбранной подсхемы. Щёлкните по этому имени левой кнопкой мышки. В правом конце за именем появится кнопка . Щёлкните по этой кнопке, в выпавшем списке имеющихся в проекте подсхем (рис. 1.19) выберите нужную и нажмите кнопку **ОК** в нижней части окна. Неверно добавленная подсхема будет заменена требуемой.

1.5.3. Добавление портов и земли в схему.

Чтобы добавить в схему обычный порт для линейного моделирования, щёлкните по группе **Ports** 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. Или выберите в меню **Draw>Add Port**.

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.

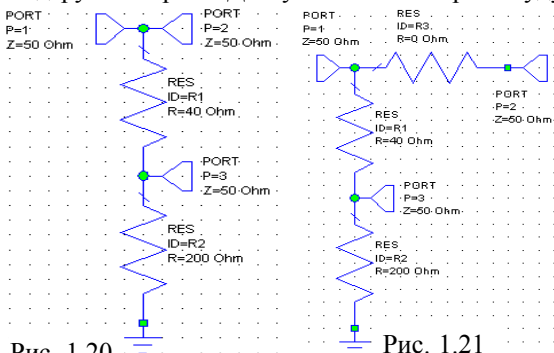


Рис. 1.20

Рис. 1.21

Нельзя подключать два порта к одной точке. Например, в схеме рис. 1.20 порты 1 и 2 подключены к одной точке. Анализ такой схемы выполняться не будет с выводом сообщения об ошибке. Если всё-таки есть необходимость подключить два порта к одной точке, нужно между портами включить резистор с сопротивлением **0 Ом** (рис. 1.21).

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

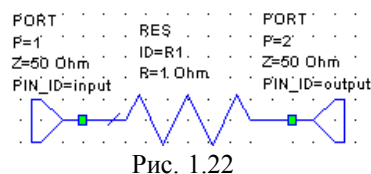


Рис. 1.22

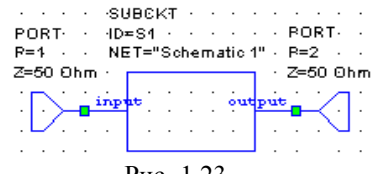


Рис. 1.23

По умолчанию каждому порту присваивается номер в порядке его добавления в схему. Для любого порта в окне свойств имеется параметр **PIN_ID**. При желании вы можете к цифровому номеру порта добавить имя, определив этот параметр. Обычно это бывает удобно, если предполагается схему использовать в качестве подсхемы. Например, в схеме рис. 1.22 параметры **PIN_ID** портов определены как **input** и **output**. В этом случае в соответствующей подсхеме вместо номеров портов будут отображаться их имена (рис. 1.23).

Любой тип порта в подсхеме используется только для подключения в схеме, но не для возбуждения. Возбуждаются подсхемы только через порты схемы самого высокого уровня иерархии.

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

1.5.4. Соединение элементов в схеме.

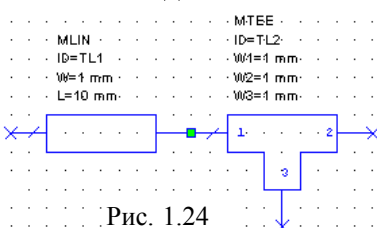


Рис. 1.24

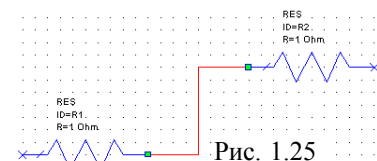


Рис. 1.25

Чтобы соединить очередной добавляемый в схему элемент с уже имеющимся в схеме элементом, поместите добавляемый элемент так, чтобы его узел присоединился к узлу уже имеющегося элемента. При правильном соединении общий узел отображается в виде маленького зелёного квадрата (рис. 1.24). Если сразу соединить элементы не удалось, нажмите нужный элемент левой кнопкой мышки и, не отпуская кнопки, переместите элемент в надлежащее место.

Часто в схеме соединить элементы друг с другом непосредственно сложно. В этом случае можно соединить элементы проводами. Для этого установите 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 (рис. 1.25). Для отмены выполнения соединения проводом нажмите клавишу **Esc**. Удалить провод можно, щёлкнув по нему левой кнопкой мышки и затем нажав клавишу **Delete**.

В сложных схемах соединить различные точки схемы проводом бывает затруднительно. В таком

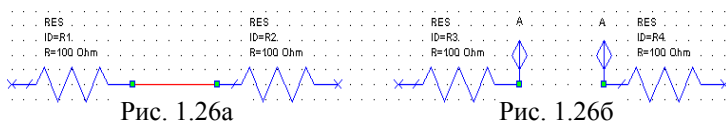


Рис. 1.26а

Рис. 1.26б

случае можно использовать соединения по именам. Для этого ко всем точкам, которые должны быть соединены вместе, необходимо подключить элемент NCONN, который находится в группе

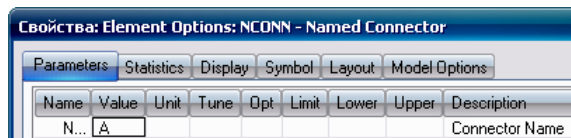


Рис. 1.27

соединение двух резисторов по именам. Здесь к соединяемым концам резисторов подключены соединители NCONN с одинаковыми именами А. Для ввода имени дважды щёлкните по элементу NCONN или щёлкните правой кнопкой мышки и выберите **Properties**. В открывшемся окне введите нужное имя элемента (рис. 1.27), в нашем случае это А. Имейте в виду, что имена чувствительны к регистру.

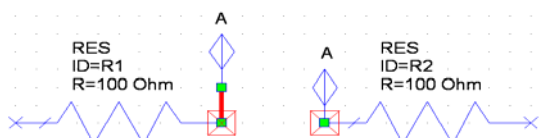


Рис. 1.28

Поэтому для проверки правильности выполненных соединений имеется возможность подсветки соединений. Можно проверить правильность различных соединений, выбрав различные цвета подсветки для различных соединений. Однако это можно сделать, если хотя бы один элемент NCONN в соединении подключён к точке соединения не непосредственно, а проводом (рис. 1.28). Щёлкните правой кнопкой

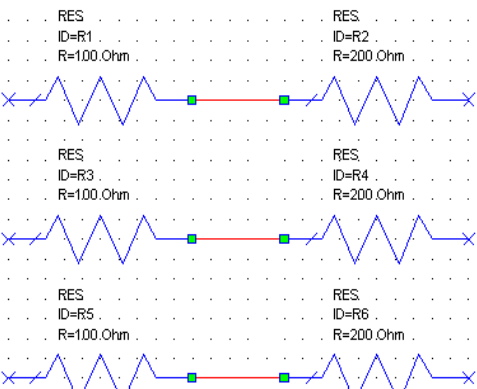


Рис.1.29

точно по проводу, соединяющему элемент NCONN с резистором, и выберите **Net Highlight On**, в открывшемся окне выберите цвет и нажмите **OK**. Для удаления подсветки снова щёлкните правой кнопкой точно по проводу и выберите **Net Highlight Off**.

Если в схеме имеется несколько одинаковых параллельно соединённых цепочек, черчение схемы можно упростить, используя векторные привязки (Vector Instances). Например, в схеме имеется три цепочки, каждая из которых со-

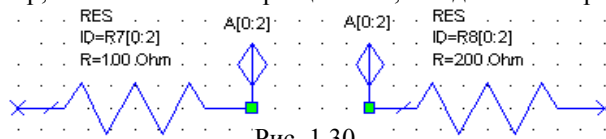


Рис. 1.30

стоит их двух резисторов, как показано на рис. 1.29. Эти три пары резисторов можно заменить одной парой, используя векторные привязки элементов, что будет эквивалентно черчению трёх пар. Схема должна выглядеть, как показано на рис. 1.30.

В этом примере идентификаторы элементов, выглядят как векторы. Синтаксис их должен быть в виде: [0:N], где N – количество однотипных элементов на один больше, чем число N. На рис. 1.28 идентификаторы элементов имеют параметр [0:2]. Это означает, что в действительности в каждой паре имеется по три резистора и по три элемента соединителя.

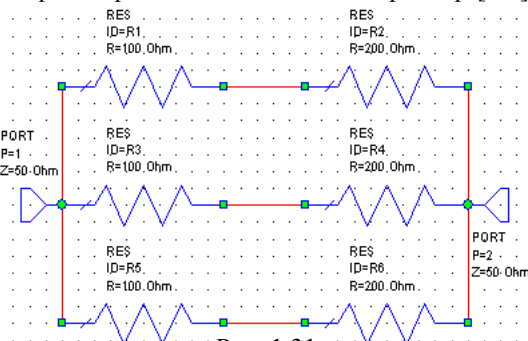


Рис. 1.31

Обратите внимание на следующее. На рис. 1.29 все три цепочки независимы. Величина сопротивлений у всех резисторов может быть разной. К каждой цепочке можно подключить порты и анализ для каждой из цепочек будет выполняться отдельно. На схеме рис. 1.30 ситуация иная. Т.к. порт не поддерживает векторные привязки, то на входе и выходе можно подключить только по одному порту. Т.е. схема рис. 1.30 возможна только для параллельно соединённых цепочек. Иными словами, схема рис. 1.30 эквивалентна схеме рис. 1.31. Элементы в цепочке могут быть различные, но в каждой группе (здесь тройки резисторов) элементы должны быть одинаковые и иметь одинаковые параметры. Векторный параметр в элементе создаёт копии этого элемента в количестве, указанном в N. Параллельное соединение в схеме рис. 1.30 создаётся автоматически.

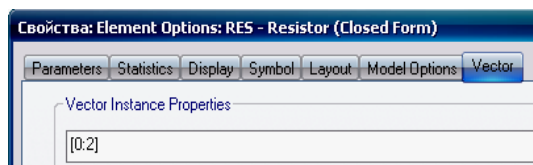
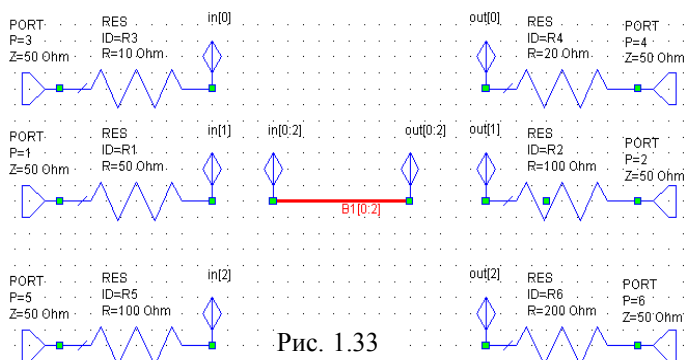


Рис. 1.32

Чтобы определить векторный параметр для элемента NCONN, дважды щёлкните по этому элементу и введите имя А[0:2]. Чтобы определить этот параметр для резистора, дважды щёлкните по резистору, откройте вкладку **Vector** и введите [0:2] (рис. 1.32).

Для организации соединений из нескольких проводов, можно использовать шины (Busses), кото-



рые могут содержать один или несколько проводов. На рис. 1.33 показано соединение трёх пар резисторов шиной. Здесь в имени элементов **NCONN** у резисторов в квадратных скобках должен быть указан номер провода в шине, который будет использоваться для соединения данного резистора. Обратите внимание, что здесь номиналы резисторов разные, поэтому объединить их в одну эквивалентную схему, похожую как на рис. 1.30 не получится.

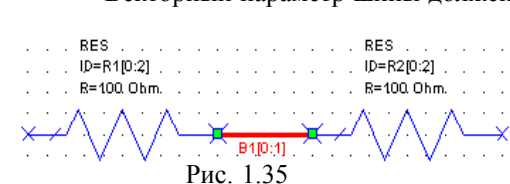
Чтобы создать шину, добавьте в схему на свободном месте (между тройка-

ми резисторов) два элемента **NCONN** с векторными идентификаторами с именами, например **in[0:2]** и **out[0:2]**. Т.е. шина должна иметь три провода, которым присваиваются номера 0, 1 и 2. Имена этих элементов **NCONN** должны совпадать с соответствующими именами элементов **NCONN** у резисторов (**in** и **out**). Установите курсор на узел одного из добавленных элементов **NCONN**, щёлкните мышкой, переместите курсор к узлу второго элемента **NCONN** и снова щёлкните мышкой, чтобы соединить эти элементы проводом. Т.к. элементы **NCONN** имеют векторные идентификаторы, то вместо провода будет автоматически создана шина с нужным количеством проводов. Шину в этом случае можно разместить на любом свободном месте в окне схемы.

Если тройки резисторов имеют одинаковое сопротивление и цепочки нужно соединить параллельно, то их соединение можно заменить одной парой сопротивлений, соединённых шиной, определив их идентификаторы в векторном виде (рис. 1.34). Соедините эти резисторы проводом, шина с нужным количеством проводов будет создана автоматически. Схема на рис. 1.34 эквивалентна схеме на рис. 1.30.

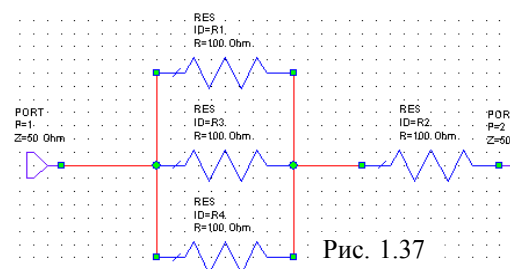
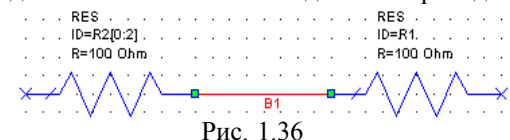
Рис. 1.34

Векторный параметр шины должен быть таким же, как и векторные параметры элементов. Если



это не соблюдается, точки соединений отображаются перечёркнутыми (рис. 1.35), что говорит об отсутствии соединения. На рис. 1.35 показано неверное соединение троек резисторов шиной с двумя проводами. Чтобы отредактировать параметр шины, нужно по нему дважды щёлкнуть мышкой.

Если вы соединяете элемент с векторным параметром и элемент без векторного параметра, вы должны использовать соединение проводом вместо шины. На рис. 1.36 показано такое соединение тройки резисторов с одиночным резистором. Соединяя проводом тройку резисторов с одиночным резистором, вы автоматически получите соединение шиной, у которой правый конец будет перечёркнут. Чтобы превратить шину в провод, дважды щёлкните по её параметру и удалите векторный параметр, оставив только имя (**B1** на рис. 1.36). Такое соединение эквивалентно схеме, показанной на рис. 1.37.



При необходимости превратить любой провод в шину можно, щёлкнув по проводу правой кнопкой мышки и выбрав **Create BusNet**.

Если в схеме имеется несколько элементов, соединённых параллельно, изображение схемы можно упростить и другим способом, используя возможность многообразия (multiplicity) элемента. Для этого в параметрах элемента устанавливается коэффициент многообразия **M**, который определяет, сколько экземпляров (копий) элемента в схеме требуется создать. Этот параметр устанавливается в диалоговом окне **Element Options** на вкладке **Layout** в поле ввода **Multiplicity parameter**. Этот же параметр определяет количество создаваемых топологических элементов в топологии и масштабный множитель для значений параметров элемента, определённых на вкладке **Parameters**. Например, для резисторов величина сопротивления будет уменьшена в **M** раз. Все созданные копии элемента автоматически соединяются параллельно. Масштабирование значений параметров элемента приводит к тому, что хотя в топологии создаётся заданное количество топологических элементов, но для анализа в решающее устройство передаётся один элемент с изменёнными значениями параметра. Благодаря этому время анализа и необходимое количество памяти при использовании метода многообразия элементов не увеличивается, по сравнению с методом использования векторных параметров в идентификаторах элементов, при котором обрабатываются все созданные копии элемента.

Рассмотрим использование метода многообразия на простом примере резистора. Допустим, в схеме нужно иметь два одинаковых сопротивления, соединённых параллельно (рис.

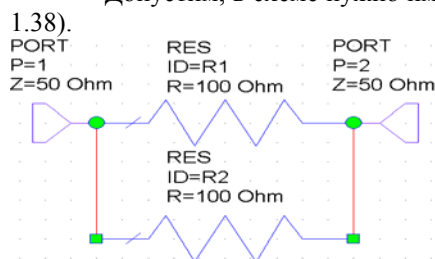


Рис. 1.38

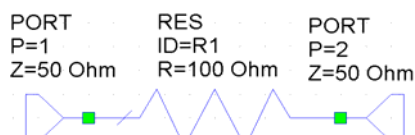


Рис. 1.39

В место этой пары сопротивлений вы можете ввести в схему только один элемент **Res** (рис. 1.39). Затем сделайте следующее. Дважды щёлкните по элементу **Res**. В открывшемся окне свойств на вкладке **Parameters** введите требуемое значение сопротивления, например 100 Ом. Откройте вкладку **Layout**. В поле **Multiplicity parameter** введите **2** и нажмите **OK**. Теперь в топологии схемы будут создаваться два параллельно соединённых топологических элемента, при условии, что топологический элемент для элемента схемы существует (для элемента RES его сначала нужно создать). Однако решающему устройству будет передан для анализа один элемент **RES** с сопротивлением **50** Ом (т.е. в 2 раза меньше).

Метод многообразия можно использовать и для подсхем. Для подсхемы можно определить коэффициент многообразия. Рассмотрим пример использования схемы того же резистора в сравнении метода использования векторных параметров и коэффициента многообразия (в схеме резистора коэффициент многообразия не установлен).

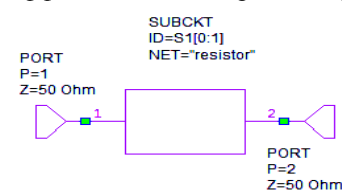


Рис. 1.40a

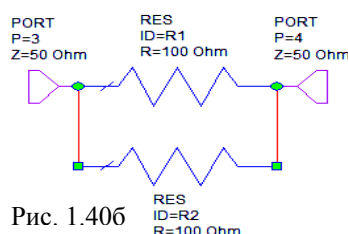


Рис. 1.40б

На рис. 1.40a показано использование подсхемы с векторными параметрами **[0:1]**, т.е. будет создано два параллельно соединённых транзистора. На рис. 1.40б показана схема, которая будет передана решающему устройству для анализа.

На рис. 1.41a показано использование подсхемы с коэффициентом многообразия **M=2**. На рис. 1.41б показана схема, которая будет передана решающему устройству для анализа.

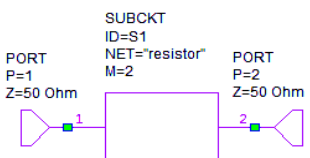


Рис. 1.41a



Рис. 1.41б

Если в схеме имеются параллельно связанные одинаковые цепочки и возникнет необходимость (или желание) упростить изображение схемы, придётся решать, какой из

методов выбрать. Использование коэффициента многообразия уменьшает время анализа и требуемое количество памяти. Однако анализ схемы выполняется достаточно быстро и, скорее всего, эта разница будет заметна разве что для очень сложных схем. Элементы с коэффициентами многообразия не могут работать с шинами. Есть и другие нюансы, не чётко прописанные в руководстве пользователя. Например, указывается, что при использовании iNet (интеллектуальные цепи) для элементов с коэффициентом многообразия можно извлечь корректно емкостное сопротивление цепи, но активное и индуктивное сопротивления будут не верными. В любом случае при использовании описанных методов нужно быть очень внимательным.

В AWR есть ещё один способ соединения цепей по имени. В группе **Ports** в окне просмотра элементов имеется элемент порта **PORT_NAME**. Это специализированный порт. Для этого порта не определён импеданс, и он не предназначен для возбуждения цепи. Как и элемент **NCONN**, этот порт имеет только один параметр – имя, определяющее точку подключения. Элемент **PORT_NAME** можно использовать только в схемах, которые предполагается использовать в качестве подсхем.

Чтобы добавить **PORT_NAME** в схему:

1. Щёлкните по группе **Ports** в окне просмотра элементов.

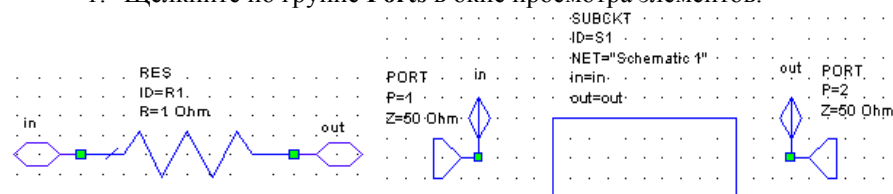


Рис. 1.42

кой, чтобы закрепить.

Если в качестве подсхемы используется схема с портами **PORT_NAME**, символ подсхемы выглядит иначе, чем для схемы, использующей обычные порты. В символе такой подсхемы нет точек подключения для её непосредственного подключения в схеме, в которой она используется. Соединить такую подсхему с элементами схемы можно, только используя соединители **NCONN**. На рис. 1.42 показан пример такой подсхемы и её включение в схему верхнего уровня иерархии.

2. Перетащите элемент **PORT_NAME** в схему, поместите его в нужном месте и щёлкните мыш-

В подсхеме имеется два элемента **PORT_NAME**, левый с именем **in** и правый с именем **out**. В символе этой подсхемы не отображается никаких точек для её подключения. Она отображается в схеме просто как прямоугольник. Подключение к подсхеме выполняется с помощью элементов **NCONN**, имеющих такие же имена.

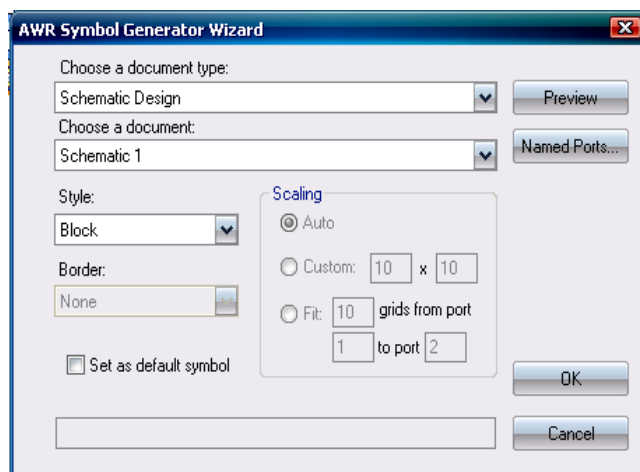


Рис. 1.43

нуж по кнопке в правом конце этого поля. В поле **Choose a document** аналогично введите имя вашей схемы. В поле **Style** введите **Block**.

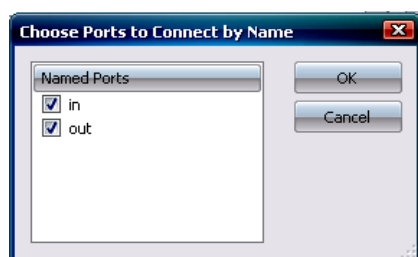


Рис. 1.44

- Нажмите кнопку **Named Ports** (Имена портов). Откроется окно **Choose Ports to Connect by Name** (Имена портов для соединения), которое содержит список имён портов, имеющихся в схеме (рис. 1.44). Отметьте нужные имена портов и нажмите **OK**.
- Нажмите **OK** в окне рис. 1.43.
- Дважды щёлкните по символу подсхемы или щёлкните по нему правой кнопкой мышки и выберите **Properties**. В открывшемся окне свойств откройте вкладку **Symbol** (рис. 1.45). В верхнем поле ввода над списком имеющихся символов

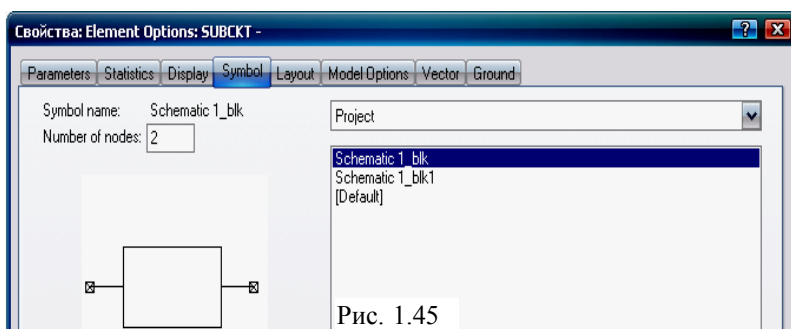


Рис. 1.45

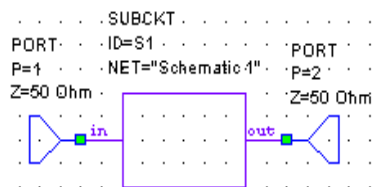


Рис. 1.46

введите **Project**. В этом

случае в списке символов будут отображаться только те символы, которые вы создали в проекте и проще будет найти нужный символ.

- В списке символов отметьте символ, который вы создали для подсхемы и нажмите **OK**.

Теперь символ подсхемы будет выглядеть, как показано на рис. 1.46. К такому символу вы можете подключать другие элементы (например, порты) непосредственно или проводом, не используя элементы **NCONN**.

1.6 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, которую 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>View Layout** в меню или щёлкните по значку **View Layout** на панели инструментов. На рабочем поле откроется окно топологии с автоматически созданной топологией схемы, если для элементов

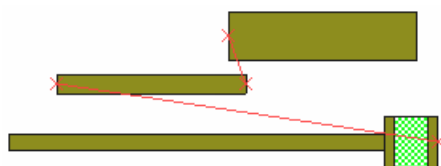


Рис. 1.47

схемы имеются соответствующие элементы топологии. Однако элементы топологии могут быть соединены между собой неверно или не соединены вовсе, как показано на рис. 1.47, при этом пунктирными красными 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** 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, чтобы выделить все элементы топологии. Затем выберите в меню **Edit>Snap Together** или щёлкните по значку **Snap Together** на панели инструментов.



Рис. 1.48

Топология будет скомпонована автоматически, как показано на рис. 1.48. 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.

Когда после выполнения команды **View>View Layout** 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. 1.49).

Щёлкнуть правой кнопкой мышки, чтобы изменить атрибуты топологии или импортировать LPF

Щёлкнуть правой кнопкой мышки, чтобы импортировать библиотеку ячеек или создать новую ячейку

Щёлкнуть правой кнопкой мышки, чтобы отобразить ячейки топологии из библиотеки

Активный слой для отображения и черчения

Щёлкнуть по панели Layout, чтобы открыть менеджер топологии

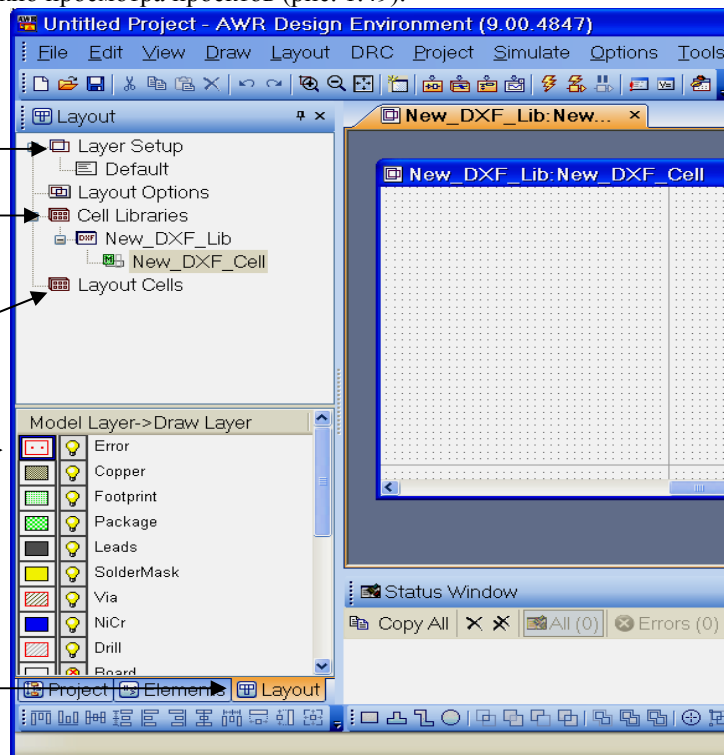


Рис. 1.49

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 топо-

логии. 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**.

1.7. Создание электромагнитных структур (ЕМ).

Электромагнитная структура представляет собой набор из одного или нескольких диэлектрических слоёв, расположенных в прямоугольном корпусе (EMSIght) или без корпуса (AXIEM). 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 назначаются 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, текста 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 может оказаться 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. 1.50). Откроется диалоговое окно, в котором нужно присвоить имя создаваемой электромагнитной структуре и выбрать решающее устройство для анализа структуры (рис. 1.51).

В области **Initialization Options** имеются опции начальной загрузки для создаваемой электромагнитной структуры (слои, таблицы соответствия и пр.):

- При выборе **Default** загружается файл **default.lpf** и таблица соответствия **EM Mapping**, имеющаяся в этом файле.

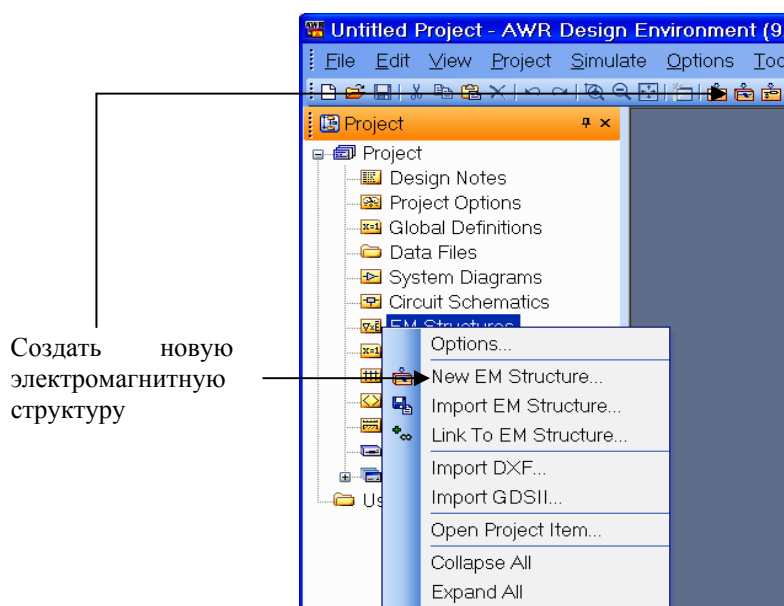


Рис. 1.50

- При выборе **From LPF** вы можете выбрать загрузку любого пользовательского lpf файла (если они есть) и таблицы **EM Mapping** из имеющихся таблиц в выбранном файле. Заметим, что выбор переключателя **From LPF** и затем выбор **Default** в полях **Use LPF** и **Use EM Mapping** эквивалентно выбору переключателя **Default**.

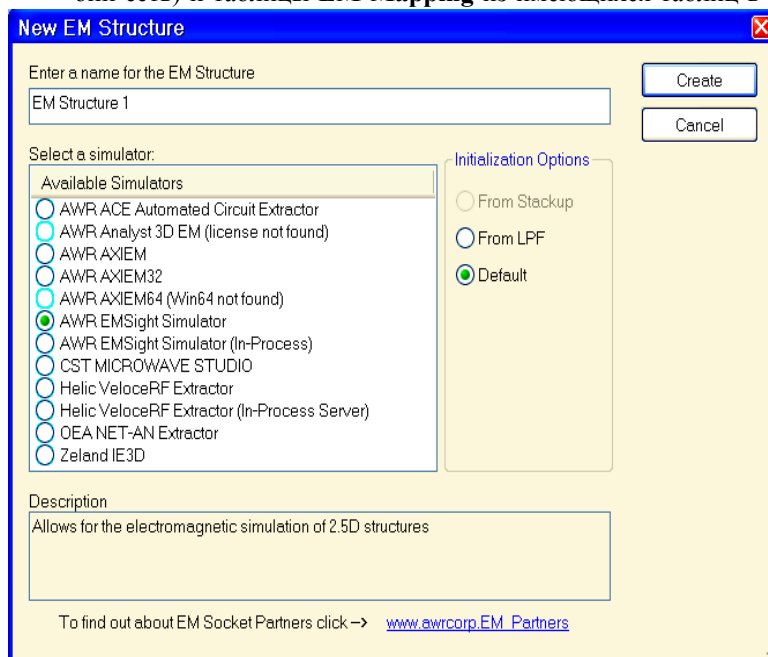


Рис. 1.51

STACKUP для загрузки начальных свойств электромагнитной структуры. Этот метод может быть предпочтительным при создании многослойных структур, т.к. элемент **STACKUP** проще для формирования, чем LPF файл.

Сделав все необходимые установки в окне рис. 1.51, нажмите кнопку **Create**. На рабочем поле открывается пустое окно электромагнитной структуры 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 панели инструментов появляются новые пункты для черчения и моделирования электромагнитных структур.

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

Для определения параметров корпуса дважды щёлкните по подгруппе **Enclosure** (Корпус) в окне просмотра проектов (рис. 1.52). Откроется диалоговое окно, в котором можно ввести необходимую информацию.

Если выбрано решающее устройство **EMSight**, необходимо задать размеры корпуса. Если вы-

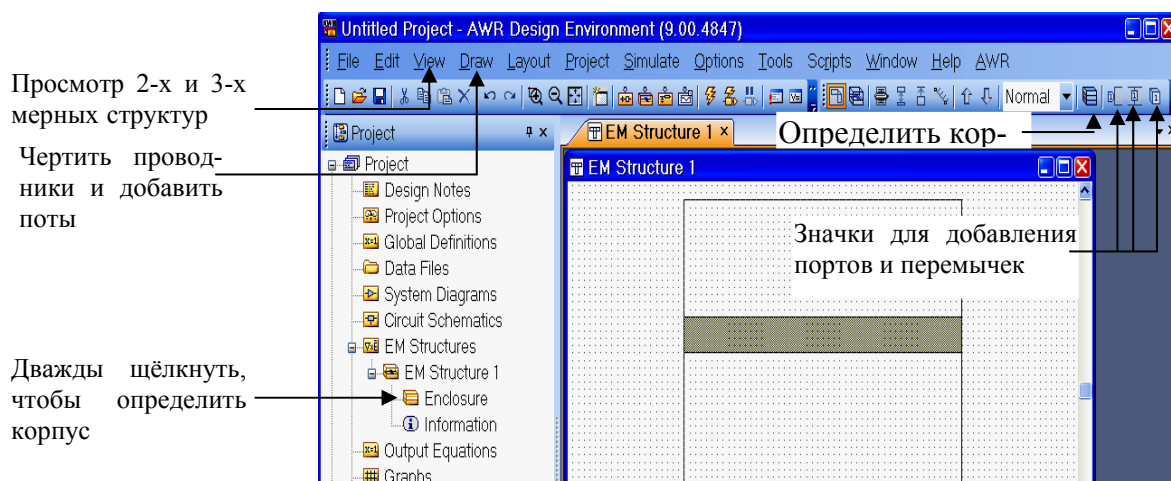


Рис. 1.52

брано **AXIEM**, в котором нет боковых стенок, размеры корпуса не задаются, топология вычерчивается на “бесконечной” плате.

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

перемычек и портов. Так же можно вычерчивать дополнительные элементы топологии, такие как реперные знаки, технологические площадки, текстовые надписи и т.п.

Электромагнитные структуры можно просматривать в 3-х мерном отображении, выбрав в меню команду **View>View 3D EM Layout** или щёлкнув по значку **View 3D EM Layout** на панели инструментов.

Если используется компьютер с многоядерным процессором, необходимо установить опции для распараллеливания вычислений. В Microwave Office имеется три решающих устройства, для которых можно определить эти опции: **AXIEM**, **APLAC** и **EMSight**.

Для **AXIEM** выберите в меню **Options>Default EM Options** и в открывшемся окне **EM Options** на вкладке **AXIEM** в области **Solver Options** отметьте **Use all CPUs**. Это будет глобальная установка, действующая для всех структур в проекте. Можно эту установку сделать и локальной для какой-то конкретной структуры.

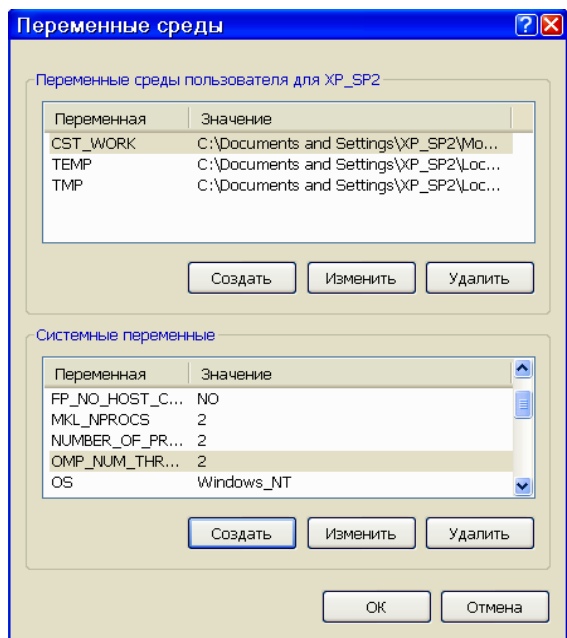


Рис. 1.53

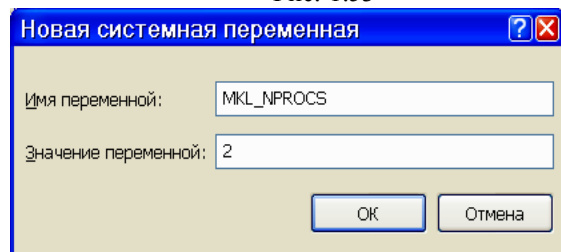


Рис. 1.54

Щёлкните правой кнопкой мышки по имени структуры в окне просмотра проекта и выберите **Options**. В открывшемся окне **Options** на вкладке **AXIEM** в области **Solver Options** отметьте **Use all CPUs**. **AXIEM** распараллеливает вычисления на всех этапах анализа.

Для гармонического баланса **APLAC** вы можете выбрать в меню **Options>Default Circuit Options** или щёлкнуть правой кнопкой мышки по имени схемы в окне просмотра проекта и выбрать **Options**. На вкладке **APLAC** в окне списка опций имеется опция **NTHREADS** (количество потоков), значение которой вы можете определить.

Для **EMSight**, нужно установить две системные переменные. Чтобы сделать это, выберите **Пуск>Панель управления>Производительность и обслуживание**, дважды щёлкните по значку **Система** и откройте вкладку **Дополнительно**. В нижней части этой вкладки нажмите на кнопку **Переменные среды**. Откроется диалоговое окно **Переменные среды** (рис. 1.53). Щёлкните по кнопке **Создать** ниже области **Системные переменные**. Необходимо установить переменные **MKL_NPROCS** и **OMP_NUM_THREADS**. Если используется два процессора, значение этих переменных должно быть **2** (рис. 1.54). Если процессоров больше, аналогично установить значение, равное количеству процессоров.

EMSight не использует 100 % процессорного времени в процессе выполнения анализа. Есть три этапа электромагнитного анализа: создание функций Грина, заполнение матрицы и решение матрицы. Все

ядра используются только на третьем этапе решения матрицы. Процент времени, затраченного на этот этап, от общего времени зависит от конкретной задачи.

Заметим, что (по крайней мере, на некоторых компьютерах с двухядерным процессором) распараллеливание вычислений выполняется и без установки указанных системных переменных.

1.8. 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, выберите в меню **Project>Add Graph** или щёлкните правой кнопкой мышки по группе **Graphs** в окне просмотра проекта и выберите **New Graph** из всплывающего меню. Или щёлкните левой кнопкой мышки по значку **Add 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
Rectangular Прямоугольный	Отображает измеряемые величины по осям X – Y, обычно по частоте
Smith Chart Диаграмма Смита	Отображает импедансы или адмитансы на круговой диаграмме
Polar Полярный	Отображает величины и углы измеряемых величин

Histogram Гистограммы	Отображает измеряемые величины в виде гистограммы
Antenna Plot Антенный график	Отображает измеряемые величины в виде диаграммы направленности
Tabular Таблица	Отображает измеряемые величины в виде таблицы, обычно по частоте
3D Plot 3-х мерный график	Отображает измеряемые величины на 3-х мерном графике

Чтобы определить, какие данные вы хотите видеть на графике, выберите в меню **Project> Add Measurement**, или щёлкните правой кнопкой мышки по имени нового графика в окне просмотра проекта и выберите **Add Measurement** во всплывающем меню. Альтернативно можно щёлкнуть правой кнопкой мышки в окне графика и выбрать **Add New Measurement**, или щёлкнуть по значку **Add New Measurement** на панели инструментов. 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**.

1.9. Установка частот для анализа и выполнение моделирования.

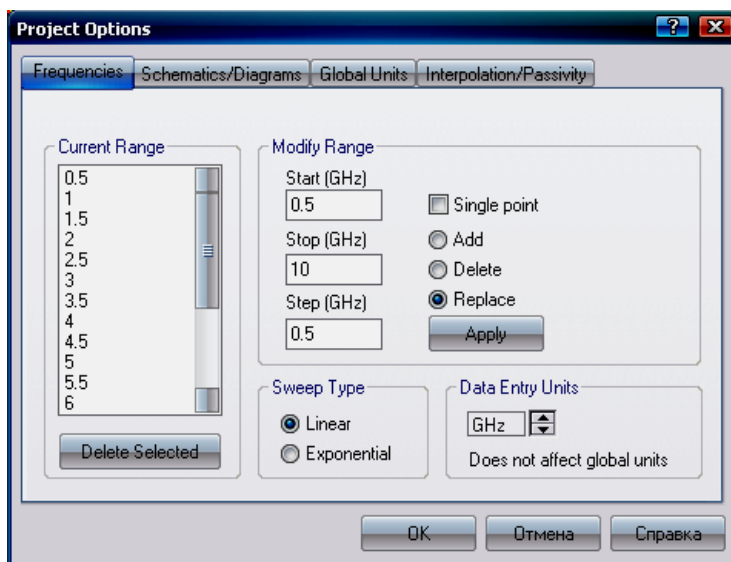


Рис. 1.55

Чтобы установить частоты для моделирования, дважды щёлкните по группе **Project Options** в окне просмотра проектов или выберите в меню **Options>Project Options**. Откроется диалоговое окно, на вкладке **Frequencies** которого можно определить частоты для моделирования (рис. 1.55). 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, на вкладке **Frequencies** 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.

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 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.

1.10. Установка единиц измерения, используемых по умолчанию

Чтобы установить единицы измерения, которые будут использоваться в проекте по умолчанию, выберите в меню **Options>Project Options**. Откроется диалоговое окно **Project Options**. В этом окне откройте вкладку **Global Units** (рис. 1.56).

В большинстве примеров моделирования, описываемых в этом пособии, используется метрическая система измерений и единицы измерения, показанные в окне рис. 1.56. В этих примерах не описы-

вается, как установить единицы измерения для создаваемого проекта. Если используются другие единицы измерения, описание их установки включено в пример.

Состав проекта, загружаемый при запуске Microwave Office, определяется lpf-файлом. При загрузке системы обычно загружается default.lpf. При желании этот файл можно отредактировать (как и любой другой lpf-файл). Файл default.lpf расположен в корневом каталоге программы, обычно в C:\Program Files\AWR\AWR2009. Для редактирования этого файла снимите атрибут **Только для чтения** и откройте файл в текстовом редакторе, например в **Блокноте**. Если вы чаще всего используете единицу измерения **GHz** для частот, тогда в lpf-файле в группе **\$DEFAULT_UNITS_BEGIN** в начале файла в

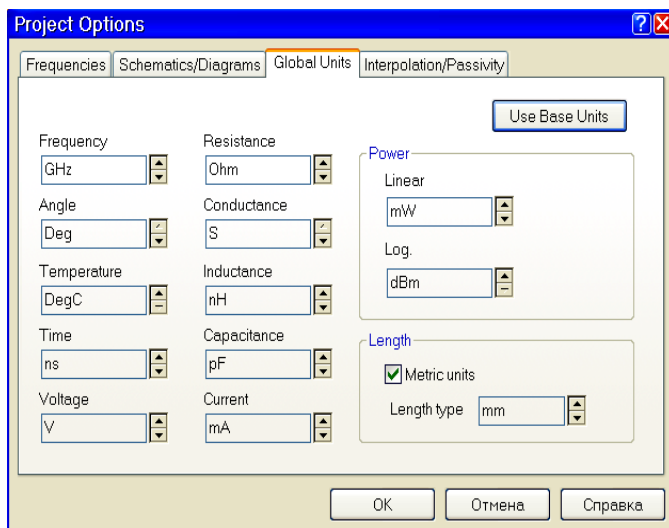


Рис. 1.56

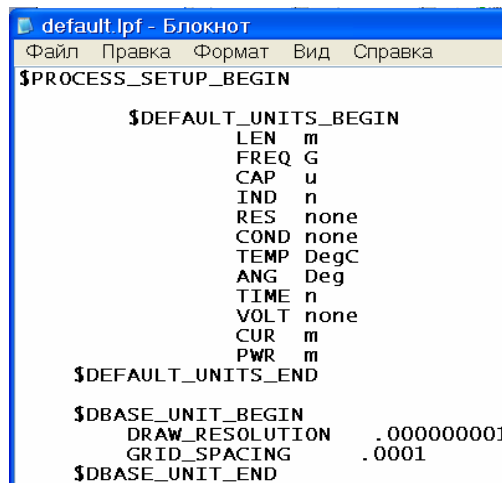


Рис. 1.57

строке **FREQ** замените стоящую справа букву на **G** (рис. 1.57). Сохраните отредактированный файл и установите атрибут **Только для чтения**.

1.11. 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**, или **Scripts>Global Scripts**, или **Scripts>Project Scripts**.

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.

В ASWRDE 2009 включены следующие мастера:

- o **AWR APPLAC Import Wizards** – используется для импорта и конвертирования файлов APPLAC в AWR.
- o **AWR Filter Synthesis Wizard** – программа для синтеза фильтров. Вы можете синтезировать полосно-пропускающие (**Bandpass**), полосно-заграждающие (**Bandstop**) фильтры, фильтры верхних (**Highpass**) и нижних (**Lowpass**) частот, используя характеристики Баттерворда, Чебышева и Бесселя-Томсона. Фильтры могут синтезироваться из сосредоточенных элементов и из отрезков некоторых линий передачи. Схема синтезированного фильтра передаётся в Microwave Office, где создаётся график и выполняется анализ схемы. При этом схема готова для выполнения настройки или оптимизации.
- o **AWR Load Pull Wizard** – Позволяет выполнить моделирование полной нагрузки устройства. Используется инструмент настройки для настройки импеданса. Кроме того, имеется **AWR Load Pull Script**, который содержит ряд опций, усиливающих возможности **AWR Load Pull Wizard**. **AWR Load Pull Script** не отображается в группе **Wizards**. Чтобы его открыть, выберите в меню **Scripts>Global Scripts>Load Pull (Main)**.
- o **AWR Symbol Generator Wizard** – позволяет создавать пользовательские символы для подсхем.
- o **iFilter Filter Wizard** – является программой для синтеза фильтров. Этот мастер отображается в группе **Wizards**, если у вас имеется лицензия для выполнения этого мастера.
- o Если у вас установлена программа **Nuhertz Filter**, она также отображается в группе **Wizards**.

1.12. 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 **Modify 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 Импорт файлов данных

Этот пример показывает, как импортировать файлы данных в формате Touchstone и использовать их в моделировании. Файлы данных часто используются для сравнения расчётных характеристик с измеренными, или для сравнения характеристик, рассчитанных в различных программных продуктах. В примере демонстрируются следующие шаги:

- Импортирование файла S-параметров.
- Создание единиц измерения.
- Добавление файла данных в схему.
- Назначение символа файлу данных.
- Настройка схемы для моделирования.

2.1 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, **datafile**) 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\AWR2009**, или нажмите кнопку **Browse** (Просмотр) справа от этого поля и выберите нужную папку.

2.2 Импортирование файла данных

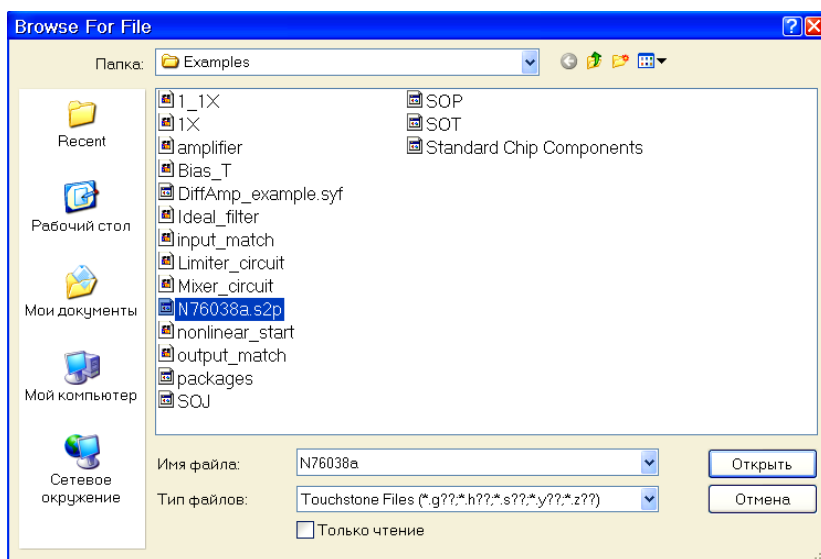


Рис. 2.1

Щёлкните правой кнопкой мышки по группе **Data Files** в окне просмотра проекта и выберите **Import Data File**. В открывшемся окне ввода файлов данных (рис. 2.1) в поле **Тип файлов** выберите **Touchstone Files**.

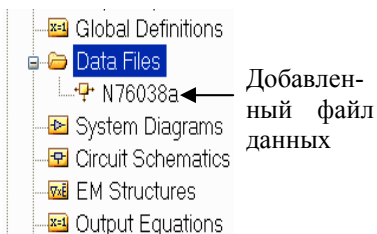


Рис. 2.2

Найдите файл **N76038a**, который находится в папке **... \AWR2009\Examples**,

и щёлкните мышкой по этому файлу. Или выберите этот файл и нажмите кнопку **Открыть**. Имя файла данных появится в окне просмотра проекта в группе **Data Files** (рис. 2.2).

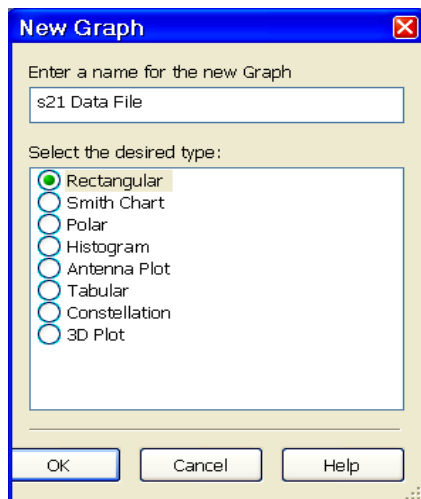


Рис. 2.3

2.3 Отображение S-параметров файла данных

Выберите в меню **Project>Add Graph**, или щёлкните по значку **Add New Graph** на панели инструментов, или щёлкните правой кнопкой мышки по группе **Graphs** в окне просмотра проекта и выберите **New Graph**. Откроется окно **New Graph** (рис. 2.3). В поле ввода имени графика введите **s21 Data File**. Отметьте тип графика **Rectangular** (Прямоугольный) и нажмите **OK**. На рабочем поле откроется окно графика.

Теперь нужно добавить измеряемую величину для отображения на созданном графике.

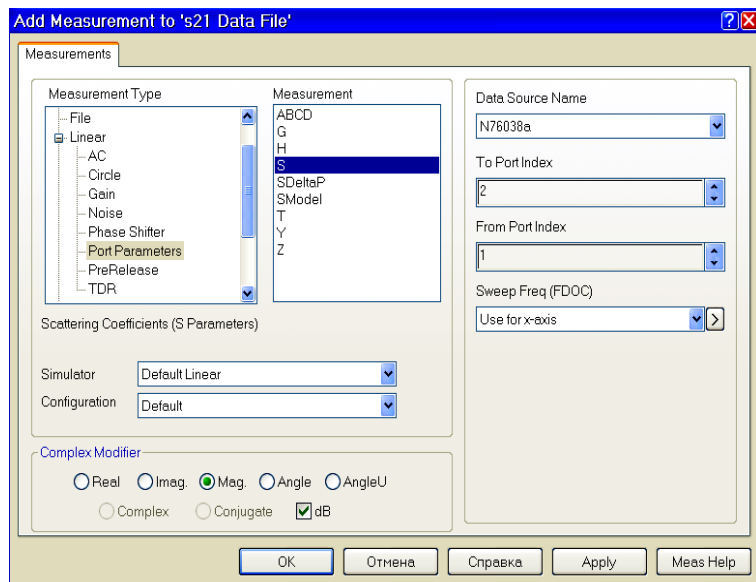


Рис. 2.4

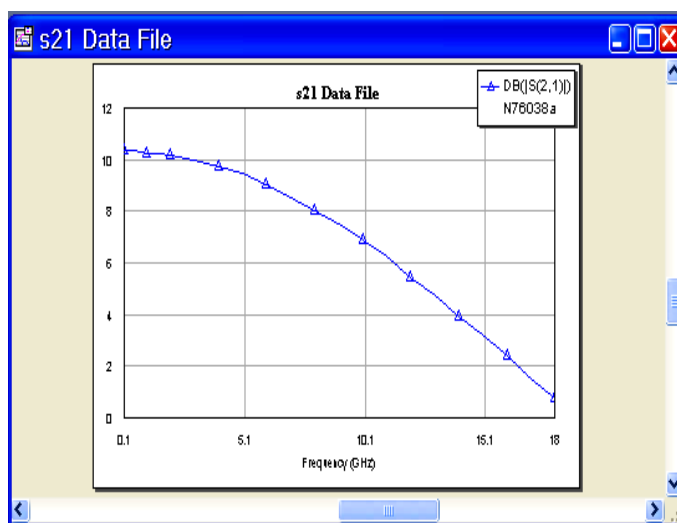


Рис.2.5

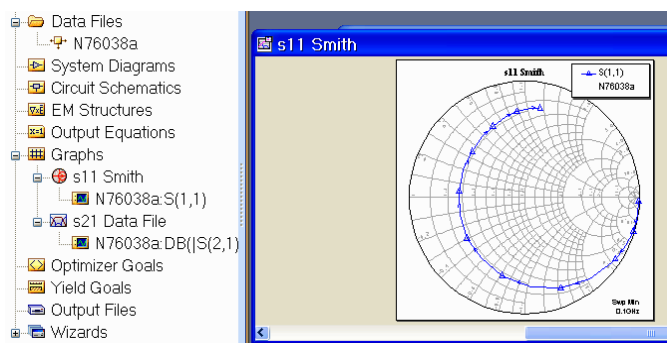


Рис. 2.6

величине **N76038a:S(2,1)** в окне просмотра под графиком **S11 Smith**. Откроется окно **Modify Measurement**, аналогичное окну рис. 2.4. В поле **To Port Index** введите **1** и нажмите **OK**. Щёлкните по кнопке **Analyze** на панели инструментов. Рассчитанный график показан на рис. 2.6.

2.4. Добавление файла данных в схему

Чтобы создать схему, выберите в меню **Project>Add Schematic>New Add Schematic** или щёлкните по значку **Add New Schematic** на панели инструментов. В открывшемся окне введите имя схемы **Amp** и нажмите **OK**. Откроется пустое окно схемы и в окне просмотра проекта в группе **Circuit Schematics** появится подгруппа схемы **Amp**.

Выберите в меню **Draw>Add Subcircuit** или щёлкните по значку **Subcircuit** на панели инструментов. Откроется окно со списком всех имеющихся подсхем (рис. 2.7). В нашем примере имеется

Щёлкните правой кнопкой мышки по имени графика **s21 Data File** в окне просмотра проекта и выберите **Add Measurement**. Или щёлкните по значку **Add New Measurement** на панели инструментов. Откроется диалоговое окно **Add Measurement** для добавления измеряемой величины рис. 2.4. В области **Measurement Type** разверните группу **Linear** и отметьте **Port Parameters**. В области **Measurement** отметьте **S**. В поле **Data Source Name** (Имя источника данных) введите имя файла данных **N76038a**, чтобы на схеме отобразить график только для файла данных, щёлкнув по кнопке в правом конце этого поля. В поле **To Port Index** введите **2**, в поле **From Port Index** введите **1**. В поле **Sweep Freq (FDOC)** введите **Use for x-axis**. В левой нижней части окна отметьте **Mag** и **dB**. Нажмите **OK**. Имя измеряемой величины появится в окне просмотра проекта в подгруппе **s21 Data File**.

Чтобы выполнить анализ, выберите в меню **Simulate>Analyze**, или щёлкните по кнопке **Analyze** на панели инструментов. Рассчитанный график показан на рис. 2.5. Заметим, что в этом примере нет необходимости определять частоты для моделирования. Эти частоты берутся из файла данных.

Допустим, нужно отобразить график **S11** на диаграмме Смита. Для этого можно создать новый график, определить его тип **Smith Chart** и добавить новую измеряемую величину. Но можно это сделать и иначе.

Щёлкните правой кнопкой мышки по имени графика **s21 Data File** в окне просмотра проекта и выберите **Duplicate as>Smith**. В окне появится новый график с именем **s21 Data File 1** и на рабочем поле откроется окно нового графика (рис. 2.6).

Щёлкните правой кнопкой мышки по имени графика **s21 Data File 1** в окне просмотра проекта и выберите **Rename Graph**. В открывшемся окне измените имя графика на **S11 Smith** и нажмите **OK**.

Теперь нужно изменить измеряемую величину. Дважды щёлкните по измеряемой величине. Откроется окно **Modify Measurement**, аналогичное окну рис. 2.4. В поле **To Port Index** введите **1** и нажмите **OK**. Щёлкните по кнопке **Analyze** на панели инструментов. Рассчитанный график показан на рис. 2.6.

только одна подсхема – файл данных. Выберите файл данных в этом списке, отметьте **Explicit ground node** (Явный узел земли) и нажмите **OK**. Поместите подсхему в окне схемы в нужное место и щёлкните левой кнопкой мышки, чтобы закрепить её.

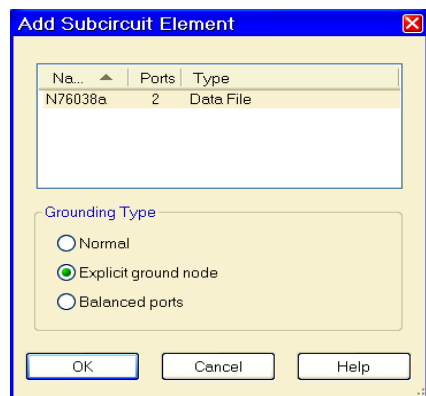


Рис. 2.7

Обратите внимание, в окне рис. 2.7 имеется область **Grounding Type** (Тип заземления) с 3-мя опциями, которые определяют, как будет отображаться подсхема в схеме. Если отметить **Normal**, подсхема будет отображена с количеством контактов (входов-выходов), которые явно определены в подсхеме для подключения других элементов к этой подсхеме. Если подсхема – четырёхполюсник, то в схеме элемент подсхемы будет отображаться в виде прямоугольника с двумя контактами. Если отметить **Explicit ground node**, то подсхема будет отображаться прямоугольником с тремя контактами, один из которых соединяется с землёй. Это может пригодиться для более наглядного представления, например, если файл данных содержит S-параметры транзистора или микросхемы, измеренные как для четырёхполюсника. Если отметить **Balanced ports**, то подсхема будет отображена

прямоугольником с четырьмя контактами, два из которых соединяются с землёй. Все эти опции влияют только на наглядность отображения подсхемы и никак не влияют на отображение графика S-параметров файла данных. Кроме того, отображение подсхемы, вставленной в схему, можно изменить в любое время. Для этого дважды щёлкните по элементу подсхемы и в открывшемся окне свойств откройте вкладку **Ground**.

Добавить подсхему можно и иначе. Откройте окно просмотра элементов, отметьте группу **Sub-circuits** и перетащите нужную подсхему в окно схемы.

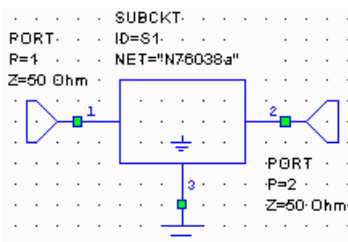


Рис. 2.8

Выберите в меню **Draw>Add Port** или щёлкните по значку **Port** на панели инструментов. Поместите порт в схеме так, чтобы его контакт соединялся с контактом 1 подсхемы и щёлкните левой кнопкой мышки, чтобы закрепить порт. Снова щёлкните по значку **Port**, два раза щёлкните правой кнопкой мышки, чтобы развернуть порт на 180 градусов, и подключите порт к контакту 2 подсхемы.

Выберите в меню **Draw>Ground** или щёлкните по значку **Ground** на панели инструментов. Подключите землю к контакту 3 подсхемы. Должна получиться схема, показанная на рис. 2.8.

2.5. Определение частот и выполнение анализа схемы.

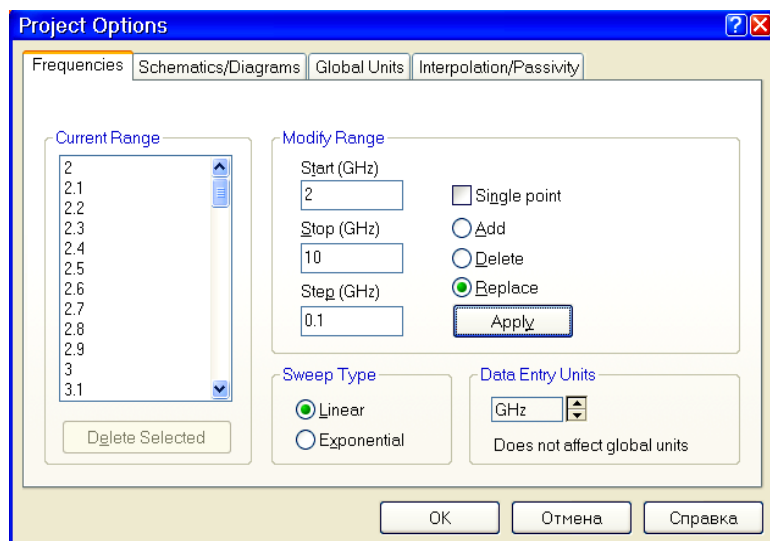


Рис. 2.9

Для отображения S-параметров файла данных определять частоты не требовалось, т.к. они заданы в самом файле данных. Однако для других элементов схемы эти частоты недоступны. Поэтому, чтобы выполнить анализ схемы, мы должны определить частоты, на которых необходимо выполнить анализ.

Выберите в меню **Options>Project Options**, или дважды щёлкните мышкой по группе **Project Options** в окне просмотра проекта, или щёлкните правой кнопкой мышки по группе **Project Options** в окне просмотра проекта и выберите **Edit**. Откроется окно опций проекта (рис. 2.9).

Отметьте **Replace** (Заменить). В поле **Start(GHz)** введите 2, в поле **Stop(GHz)** введите 10, в поле **Step(GHz)** введите 0.1. Нажмите **Apply** и **OK**.

Дважды щёлкните по имени графика **s21 Data File** в окне просмотра проекта, чтобы сделать активным окно графика.

Щёлкните правой кнопкой мышки по имени этого графика в окне просмотра проекта и выберите **Add Measurement**. Или щёлкните по значку **Add New Measurement** на панели инструментов. В открывшемся окне **Add Measurement** сделайте такие же установки, как и в окне рис. 2.4, но в поле **Data Source Name** введите имя схемы **Amp**. Нажмите **Apply** и **OK**.

Выберите в меню **Simulate>Analyze** или щёлкните по значку **Analyze**  на панели инструментов. Полученный график показан на рис. 2.10.

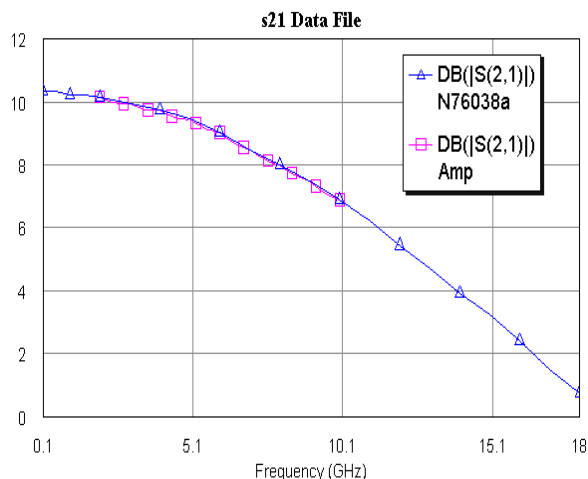


Рис. 2.10

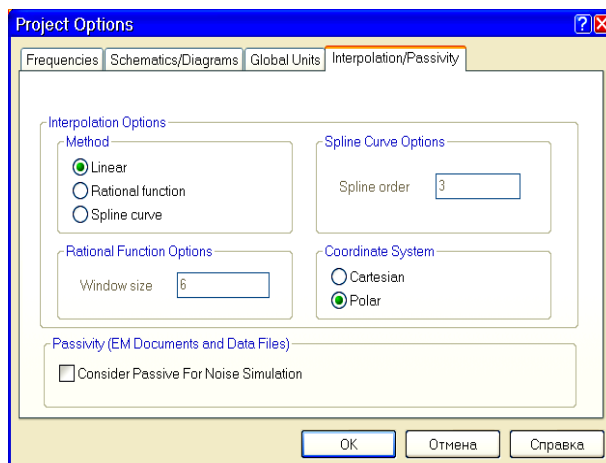


Рис. 2.11

График схемы отображается довольно грубо и не совпадает с графиком файла данных. Выберите в меню **Options>Project Options** и в отрывшемся окне опций откройте вкладку **Interpolation/Passivity** (рис. 2.11). В области **Coordinate System** по умолчанию отмечено **Cartesian** (Декартовый). Отметьте в этой области **Polar** и нажмите **OK**. Щёлкните по значку **Analyze** на панели инструментов. Полученный график показан на рис. 2.12.

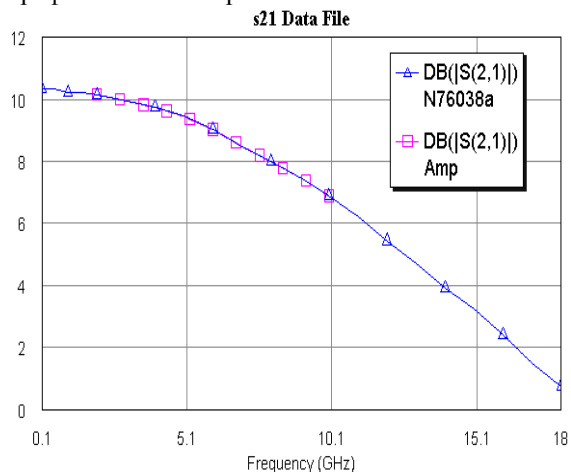


Рис. 2.12

нужно снова выбрать **Toggle Enable**.

Примечание. Если бы при добавлении измеряемой величины при создании графика (см. рис. 2.4) в поле **Data Source Name** мы ввели не имя файла данных **N76038a**, а **All Sources** (Все источники), то после создания схемы нам не пришлось бы добавлять к графику новую характеристику **Amp**. Она была бы добавлена автоматически. Однако в описанном случае, когда для каждой схемы (электромагнитной структуры, файла данных) к графику добавляется новая измеряемая величина, есть своё преимущество. Если в проекте много схем и характеристики отображаются на одном графике (например, для сравнения), то можно любую из характеристик скрыть. Для этого нужно щёлкнуть правой кнопкой по имени характеристики под графиком в окне просмотра проекта и выбрать **Toggle Enable** (Переключатель активности). Чтобы вновь отобразить скрытую характеристику,

3. 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.

3.1. 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.

3.1.1. 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**.

3.1.2. Установка единиц измерения, используемых по умолчанию.

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

1. Выберите в меню **Options>Project Options**. Откроется диалоговое окно **Project Options** (рис. 3.1).
2. Откройте вкладку **Global Units** (Глобальные единицы измерения) 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. 3.1, снимите флажок в поле **Metric units** (Метрические единицы), установите **mil** в поле

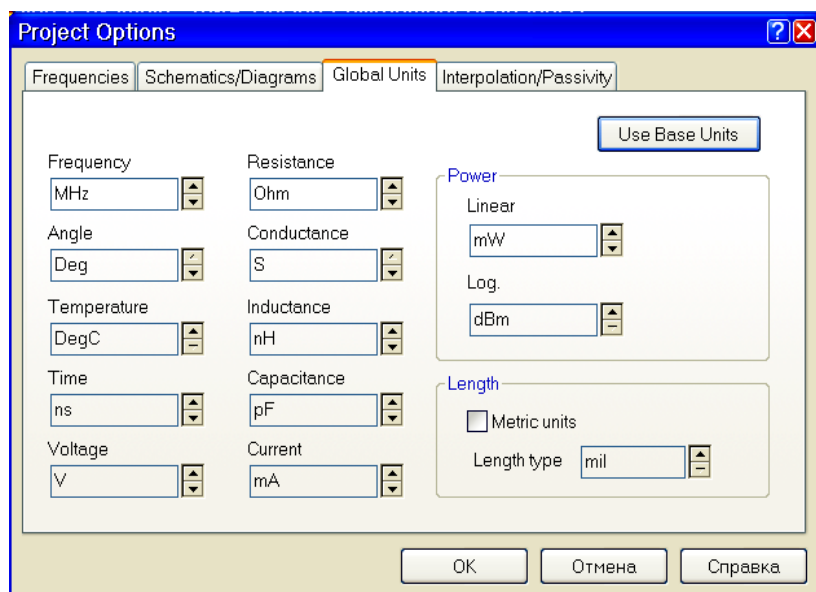


Рис. 3.1

Length type и нажмите **OK**.

3.1.3. Создание схемы.

Чтобы создать схему:

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

3.1.4. Размещение элементов в схеме.

Чтобы разместить элементы в схеме:

1. Нажмите на панель **Elements** в нижней части левого окна, чтобы открыть окно просмотра элементов (см. рис. 3.2).
2. Щёлкните по значку + слева от группы **Circuit Elements**, чтобы развернуть группу элементов цепи.
3. В категории **Circuit Elements** разверните группу сосредоточенных элементов (**Lumped Element**), щёлкнув по значку + слева от этой группы.

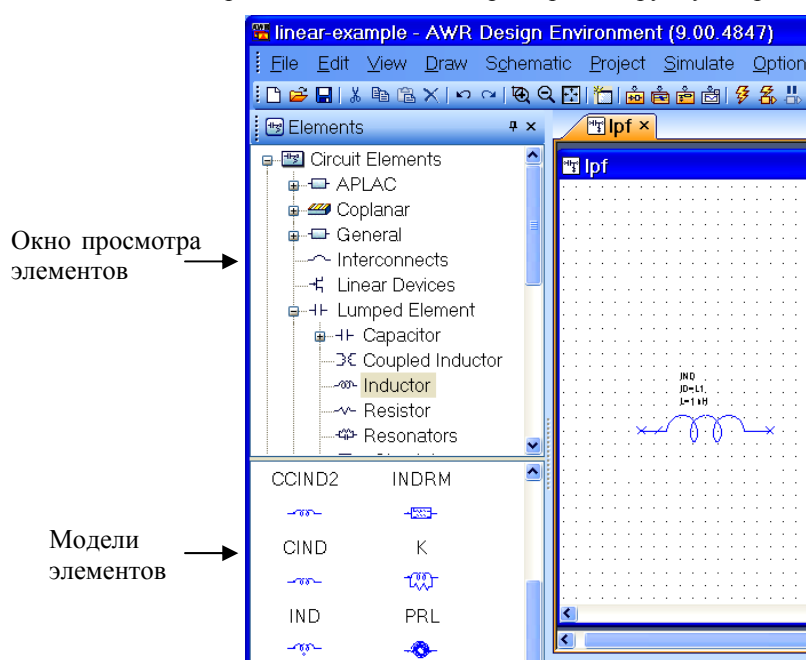


Рис. 3.2

4. Щёлкните левой кнопкой мышки по подгруппе **Inductor** (Индуктивности) в окне просмотра элементов. В нижней части окна появятся изображения доступных индуктивностей. Вы можете изменить отображение элементов, щёлкнув в нижней части окна просмотра элементов и выбрав одну из опций (рис. 3.3). Если выбрать **Show Details**, то элементы будут отображаться с их кратким описанием. Если выбрать **Element Help**, то откроется окно помощи по элементу, на который указывает курсор мышки.

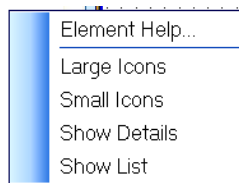


Рис. 3.3

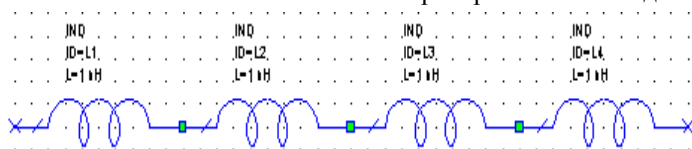


Рис. 3.4

6. Повторите шаг 5 три раза, совмещая и подключая каждую индуктивность, как показано на рисунке 3.4.

7. 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.

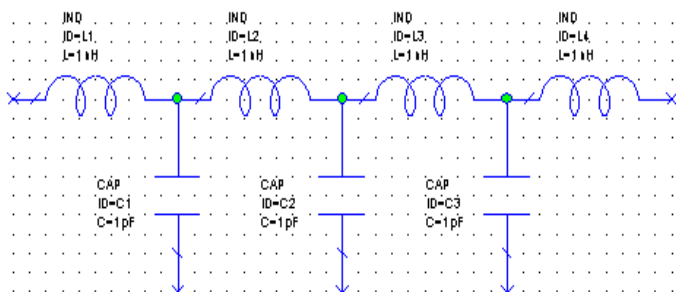


Рис. 3.5

8. Теперь щёлкните левой кнопкой мышки по подгруппе **Capacitor** (Конденсаторы) в окне просмотра элементов. В нижней части окна появятся изображения доступных конденсаторов.

9. Нажмите на модель конденсатора **CAP** и, не отпуская кнопки мышки, перетащите её в окно схемы, отпустите кнопку, щёлкните правой кнопкой мышки, чтобы повернуть элемент на 90 градусов, поместите его, как показано на рисунке 3.5 и зафиксируйте, щёлкнув левой кнопкой мышки.

10. Повторите шаг 8 дважды, соединяя каждый конденсатор, как показано на рисунке 3.5.

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 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, чтобы выделить его, и нажмите клавишу **Delete**.

3.1.5. 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 3.6.
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. 3.7).

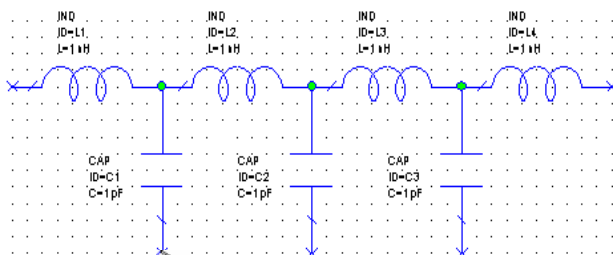


Рис. 3.6

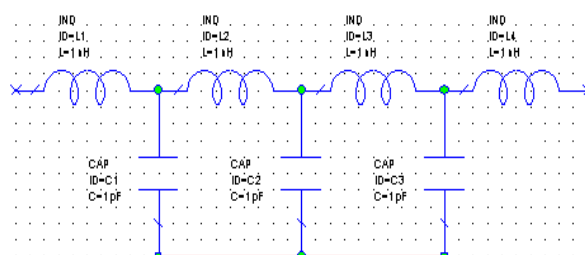


Рис. 3.7

3.1.6. Размещение портов.

Чтобы разместить порты (входы):

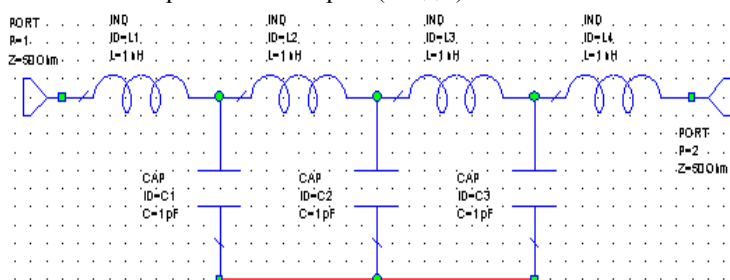


Рис. 3.8

1. Выберите в меню **Draw>Add Port** (Чертить>Добавить порт) или щёлкните левой кнопкой мышки по значку **Port**  на панели инструментов.
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 порт на 180 градусов. Подведите порт к правой клемме последней индуктивности и зафиксируйте, щёлкнув левой кнопкой (рис. 3.8).

3.1.7 Размещение земли.

Чтобы подключить землю:

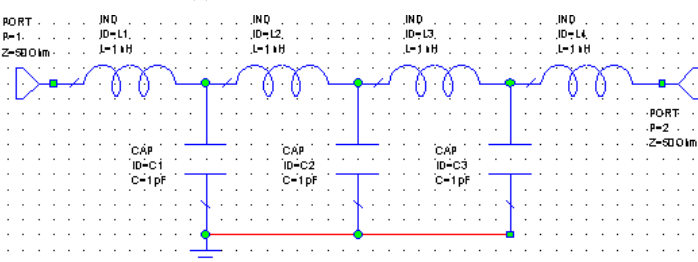


Рис. 3.9

кнопкой мышки (см. рис. 3.9).

3.1.8. 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)

2. 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. 3.10). 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. Изменив значение параметра, щёлкните где-нибудь на свободном месте в окне схемы.

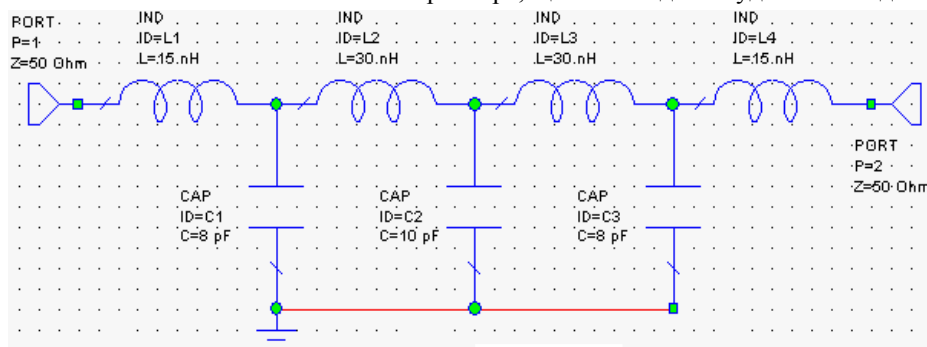


Рис. 3.10

3. По аналогии с шагами 1 и 2 редактируйте значения индуктивностей и емкостей так, чтобы их значения были такими, как показано на рисунке 3.10.

3.1.9. Задание частот для моделирования.

Чтобы задать частоты для моделирования:

1. Щёлкните левой кнопкой мышки по панели **Project** в нижней части левого окна, чтобы открыть окно просмотра проекта.

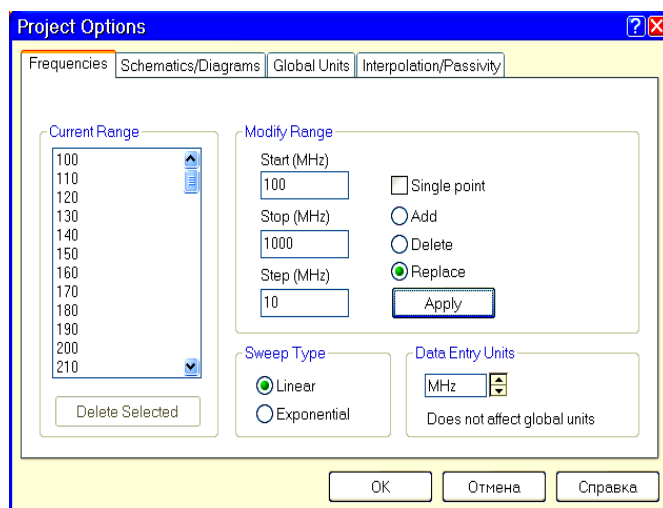


Рис. 3.11

2. Дважды щёлкните по группе **Project Options** (Опции проекта). Откроется диалоговое окно **Project Options**.
3. В этом окне откройте вкладку **Frequencies** (Частоты).
4. В области **Data Entry Units** (Ввод единиц измерения данных) установите **MHz**, щёлкая по кнопкам в правом конце этого поля.
5. Отметьте **Replace** (Заменить). Наберите **100** в поле **Start** (Начальная частота), **1000** в поле **Stop** (Конечная частота) и **10** поле **Step** (Шаг). Нажмите **Apply** (Применить). В области **Current Range** (Текущий диапазон) отображается частотный диапазон с заданным шагом по частоте (рис. 3.11). Нажмите **OK**.

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

3.1.10. Создание графика.

Чтобы создать график:

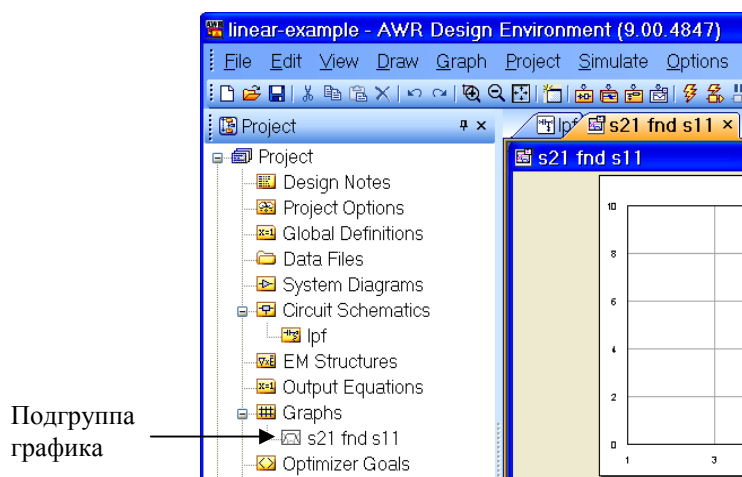


Рис. 3.12

как подгруппа в группе **Graphs** в окне просмотра проекта (рис. 3.12).

1. Щёлкните правой кнопкой мышки по группе **Graphs** (Графики) в окне просмотра проекта и выберите **New Graph** во всплывающем меню или щёлкните по значку **Add New Graph** на панели инструментов. Откроется диалоговое окно **New Graph**.
2. Наберите **s21 and s11** в поле ввода имени графика. Отметьте **Rectangular** в переключателе типа графика и нажмите **OK**. Окно графика создаётся на рабочем поле, и имя графика появляется

3.1.11. Добавление к графику измеряемых величин.

Чтобы добавить измеряемые величины к графику:

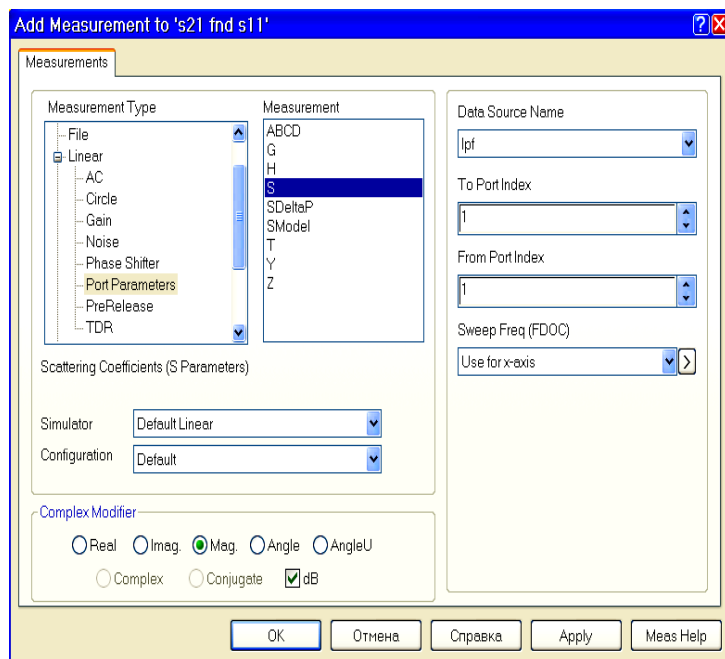


Рис. 3.13

To Port Index (Индекс входного порта), и в поле **From Port Index** (Индекс выходного порта), нажимая на стрелки, справа от этих полей. Отметьте **Mag** (Модуль) и **dB** в области **Complex Modifier** (Представление комплексной величины) и нажмите **Apply** (Применить).

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

3.1.12. Анализ схемы.

Чтобы выполнить анализ схемы:

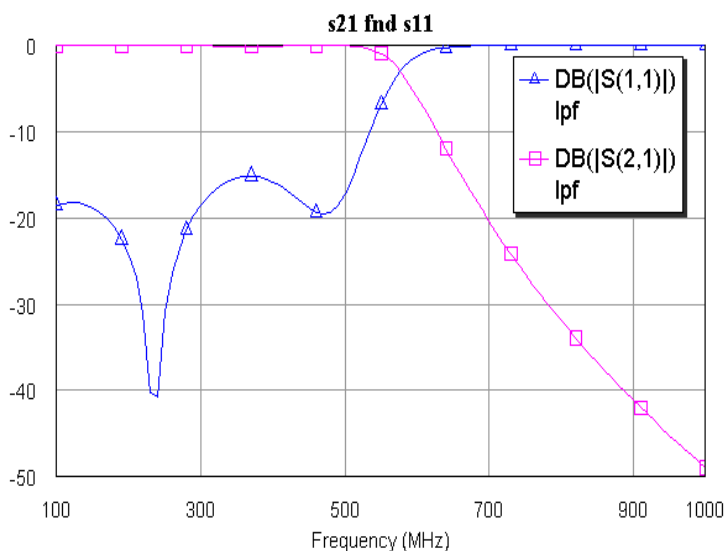


Рис. 3.14

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.

3.1.13. Настройка схемы.

Чтобы настроить схему:

1. Щёлкните левой кнопкой мышки по окну схемы, чтобы сделать его активным. Или дважды щёлкните левой кнопкой мышки по имени схемы в окне просмотра элементов.
2. Сначала нужно указать параметры элементов, которые необходимо изменять при настройке.

Чтобы сделать это, щёлкните по значку **Tune Tool** (Инструмент настройки) на панели инструментов или выберите в меню **Simulate>Tune Tool**.

1. 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. Откроется диалоговое окно **Add Measurement** (см. рис. 3.13).

2. Выберите **Linear** и затем **Port Parameters** (Параметры порта) в области **Meas Type** (Тип измеряемых величин). Выберите **S** в области **Measurement** (Измеряемая величина). Выберите **lpf** (т.е. имя схемы, которое вы ей дали) в поле **Data Source Name** (Имя источника данных, т.е. имеется в виду имя схемы), нажимая на стрелку, справа от этого поля. Выберите **1** в поле

Выберите в меню **Simulate>Analyze** (Моделирование>Анализ) или щёлкните левой кнопкой мышки по значку **Analyze** на панели инструментов. Результаты анализа отображаются на графике рис. 3.14.

На графике в прямоугольнике отображается, какая кривая какой измеряемой величине соответствует. Размеры этого прямоугольника можно изменять. Для этого щёлкните по нему левой кнопкой мышки, установите курсор на ромбик в середине любой стороны или на квадратик в углу (курсор при этом должен отображаться в виде двойной стрелки), нажмите левую кнопку мышки и, не отпуская её, двигайте курсор. Размер шрифта при этом изменяется автоматически. Весь этот прямоугольник можно переместить в

- Поместите курсор на параметр **L** индуктивности **IND L1**. Курсор должен отображаться в виде

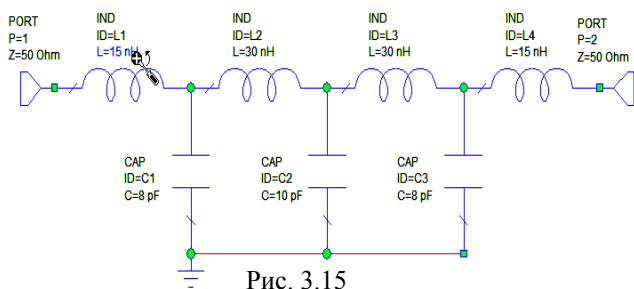


Рис. 3.15

перекрестия, как показано на рис. 3.15 (белое перекрестие в чёрном кружке).

- Щёлкните левой кнопкой мышки по параметру **L**, чтобы активизировать его для настройки. Цвет этого параметра изменится на синий.
- Повторите шаги со 2-го по 4-ый для индуктивности **L4** и конденсаторов **C1, C3**.

- Щёлкните мышкой где-нибудь на свободном месте в окне схемы или щёлкните по значку **Tune Tool** на панели инструментов, чтобы отменить режим выбора переменных для настройки.
- Щёлкните по окну графика, чтобы сделать его активным.
- Выберите в меню **Simulate>Tune** или щёлкните по значку **Tune** на панели инструментов.

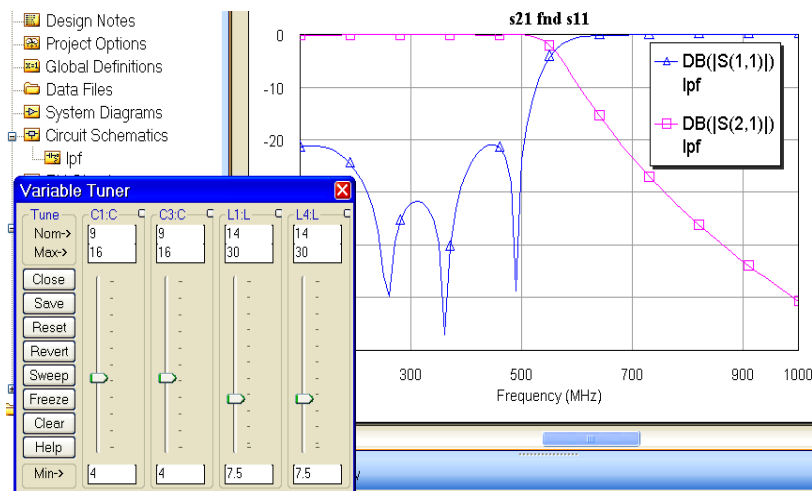


Рис. 3.16

Откроется окно **Variable Tuner** (Блок настройки переменных), показанное на рис. 3.16.

- Нажмите левой кнопкой мышки на бегунок настройки и, не отпуская кнопки, двигайте его вверх и вниз. Результаты настройки переменных наблюдайте на графике.
- Передвиньте бегунки настройки переменных в положения, указанные на рисунке 3.16. Нажмите кнопку **Sweep** (Изменить) в левой

части окна настройки, это оптимизирует отображение графика, изменив масштаб по оси **Y**.

- Закройте окно **Variable Tuner**.

Чтобы отменить параметры переменных для настройки, нужно по этим параметрам снова щёлкнуть инструментом **Tune Tool**.

3.1.14. 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:

- Щёлкните по окну схемы, чтобы сделать его активным.
- Выберите в меню **Draw>Add Equation** (Чертить>Добавить уравнение) или щёлкните по значку **Equation** на панели инструментов.
- Переместите курсор в окно схемы. Появится окошко редактора в виде небольшого квадрата.
- Поместите окошко редактора выше схемы и щёлкните левой кнопкой мышки, чтобы зафиксировать его.

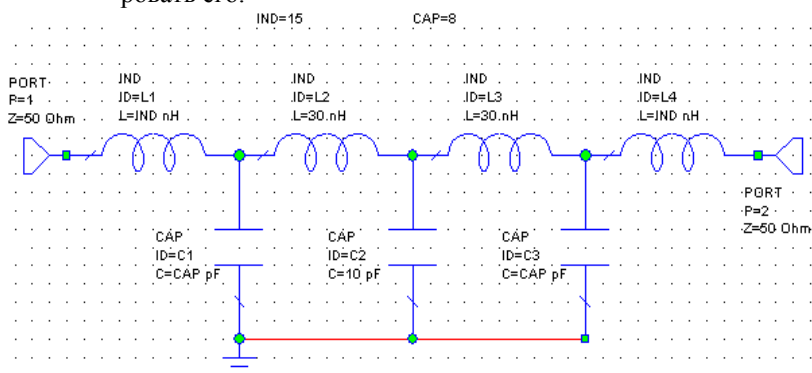


Рис. 3.17

- Наберите **IND=15** в окошке редактора и щёлкните мышкой вне этого окна.

- 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. 3.17.

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 3.17. Переменные **IND** и **CAP** нужно назначить для оптимизации.

Чтобы назначить переменные для оптимизации:

1. Выберите в меню **View>Variable Browser**. Или выберите в меню **Simulate>Optimize** и в открывшемся окне щёлкните левой кнопкой мышки по панели **Variables** в левой нижней части

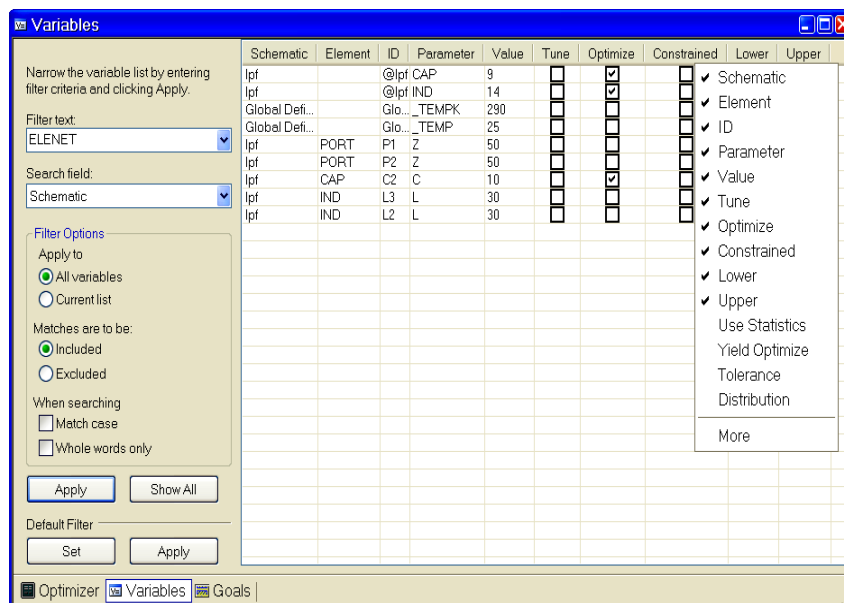


Рис. 3.18

сится данная переменная.

2. В столбце **Optimize** отметьте переменные **@lpf IND**, **@lpf CAP** и параметр **C** для идентификатора **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. 3.18 показано окно **Variables** с открытым дополнительным окном для установки недостающих столбцов или для удаления ненужных столбцов.
- 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.
- Окно **Variables** рис. 3.18 можно использовать и в качестве альтернативного способа назначения переменных и параметров для настройки или для статистического анализа и статистической оптимизации.

3.1.15. 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:

окна. Откроется вкладка **Variables** (рис. 3.18), в которой перечислены все переменные и параметры элементов с указанием схемы, к которой 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 **Schematic** указывается имя схемы, к которой отно-

1. Откройте вкладку **Project** в левом окне проекта и откройте окно графика.

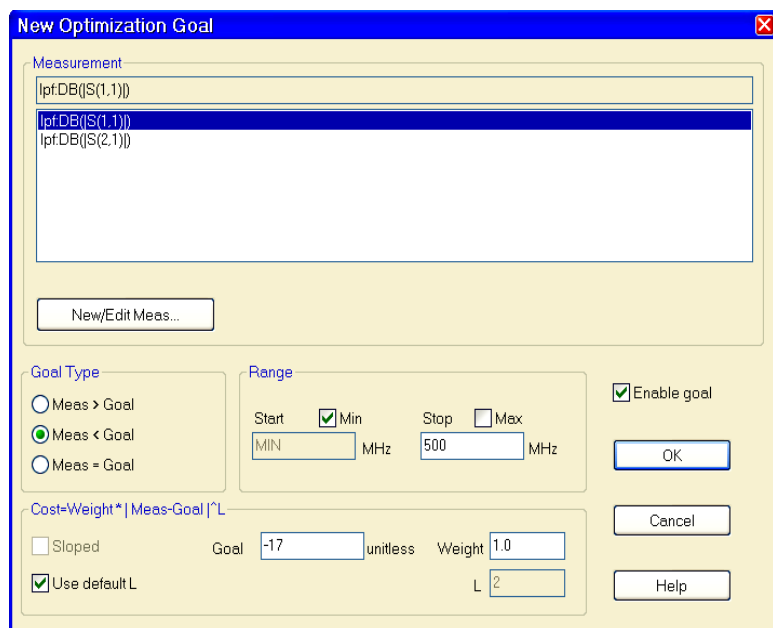


Рис. 3.19

2. Введите цель для коэффициента отражения в полосе пропускания. Для этого щёлкните правой кнопкой мышки по **Optimization Goals** (Цели оптимизации) и выберите **Add Optimizer Goal** (Добавить цель оптимизации) во всплывающем меню. Откроется диалоговое окно **New Optimization Goal** (Новая цель оптимизации), показанное на рис. 3.19.

3. Выделите **lpf: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 квадратике **Max** в области **Range** (Предел), введите **500** в поле **Stop**, введите **-17** в

поле **Goal** (Цель), и нажмите **OK**.

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**.

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.

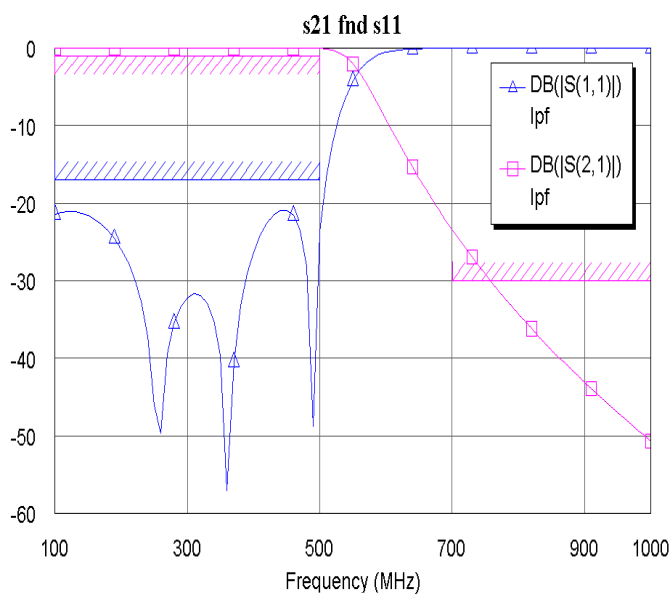


Рис. 3.20

Цели оптимизации отображаются на графике в виде границ со штриховкой (см. рис. 3.20) 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. 3.19, 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 можно как по величине параметра, так и по частоте.

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

3.1.16. Оптимизация схемы.

Чтобы выполнить оптимизацию:

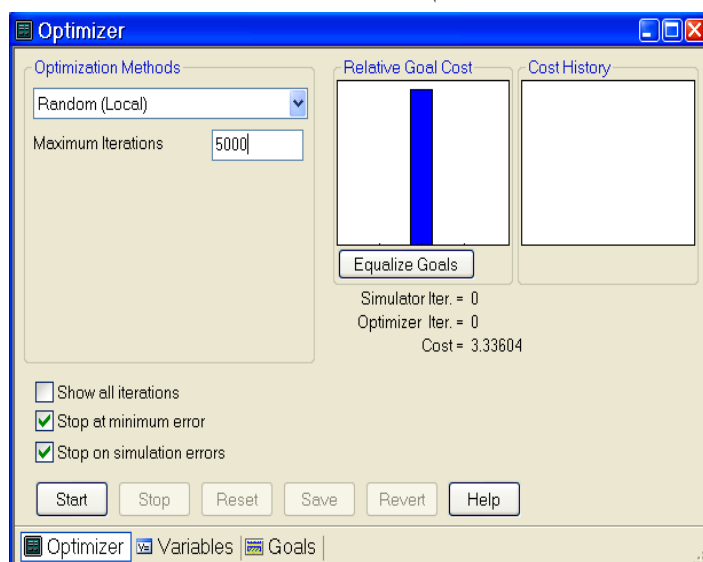


Рис. 3.21

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.

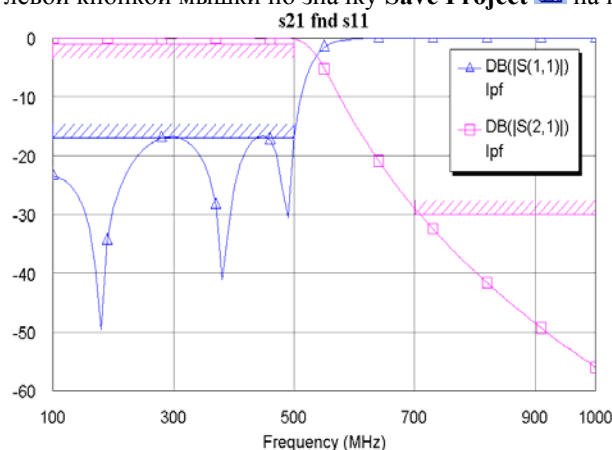


Рис. 3.22

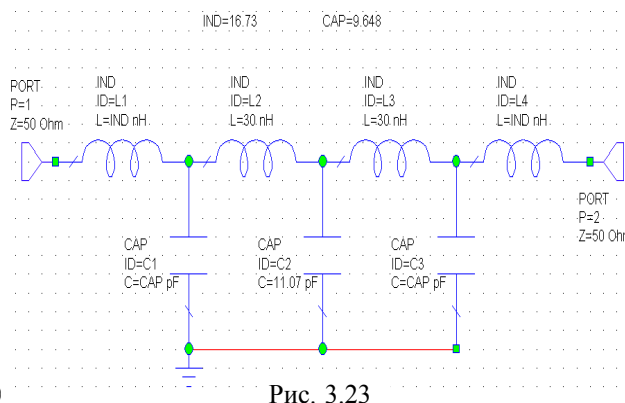


Рис. 3.23

1. Выберите в меню **Simulate>Optimize** (Моделирование > Оптимизация). Откроется диалоговое окно **Optimizer** (рис. 3.21).
2. Выберите метод оптимизации **Random (Local)** (Случайный (Локальный)) в области **Optimization Methods** (Методы оптимизации), щёлкая по стрелке в правом конце этого поля, наберите **5000** в поле **Maximum Iteration** (Максимум итераций), и нажмите **Start**, чтобы начать оптимизацию.
3. Когда оптимизация закончится, закройте диалоговое окно **Optimize**. Результаты оптимизации отображаются на графике и на схеме, как показано на рисунках 3.22 и 3.23.

3.2. Моделирование микрополоскового заграждающего фильтра

3.2.1. 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**.

3.2.2. Создание схемы.

Чтобы создать схему:

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

3.2.3. 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.

- Найдите модель **MLEF**, переместите её окно схемы, щёлкните три раза правой кнопкой мышки, чтобы повернуть элемент, подсоедините его к плечу 3 элемента **MTEES** и зафиксируйте, щёлкнув левой кнопкой мышки.
- 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**.
- Щёлкните по значку **Copy** (Копировать)  на панели инструментов.
- Щёлкните по значку **Paste** (Вставить)  на панели инструментов.
- Подключите скопированную группу к плечу 2 элемента **MTEES (ID=TL2)** и зафиксируйте её, щёлкнув левой кнопкой мышки.
- 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.
- Щёлкните по подгруппе **Lines** (Линии) в окне просмотра элементов.
- 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.

3.2.4. 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.

3.2.5. 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:
 - $\epsilon_r=10.44$ – относительная диэлектрическая проницаемость;
 - $H=0.5$ – толщина подложки;
 - $T=0.005$ – толщина проводника;
 - $\rho=1$ – удельное сопротивление металла проводника, нормированное к золоту;
 - $\tan\delta=0.0001$ – тангенс угла потерь;
 - $\epsilon_{rNom}=10.44$ – номинальная диэлектрическая проницаемость;
 - $Name=SUB1$ – имя подложки.
- Нажмите **OK**.

Замечание. X-модели в проекте не используются, поэтому значение ϵ_{rNom} можно и не изменять.

3.2.6. 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:

- Щёлкните левой кнопкой мышки по значку **Equation**  на панели инструментов.
- 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.
- 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**).

3.2.7. Редактирование параметров элементов.

- Дважды щёлкните по первому элементу **MLIN**. В открывшемся окне (рис. 3.24) 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 четвёртого элемента **MLIN**.

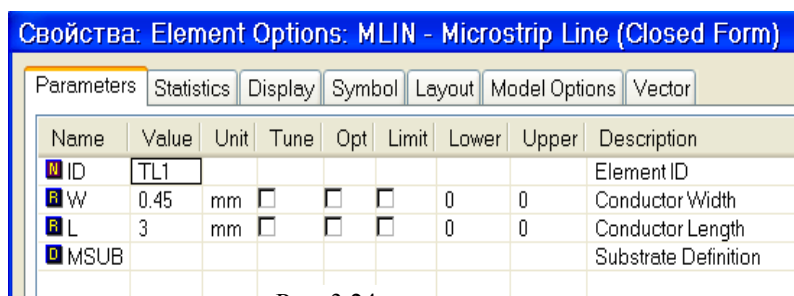


Рис. 3.24

- Аналогично введите **W=WL mm**, **L=LL mm** для второго и третьего элементов **MLIN**.

- 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**.

- Аналогично введите **W=0.45 mm**, **L=3.5 mm** для второго элемента **MLEF**.

5. Полученная схема показана на рис. 3.25.

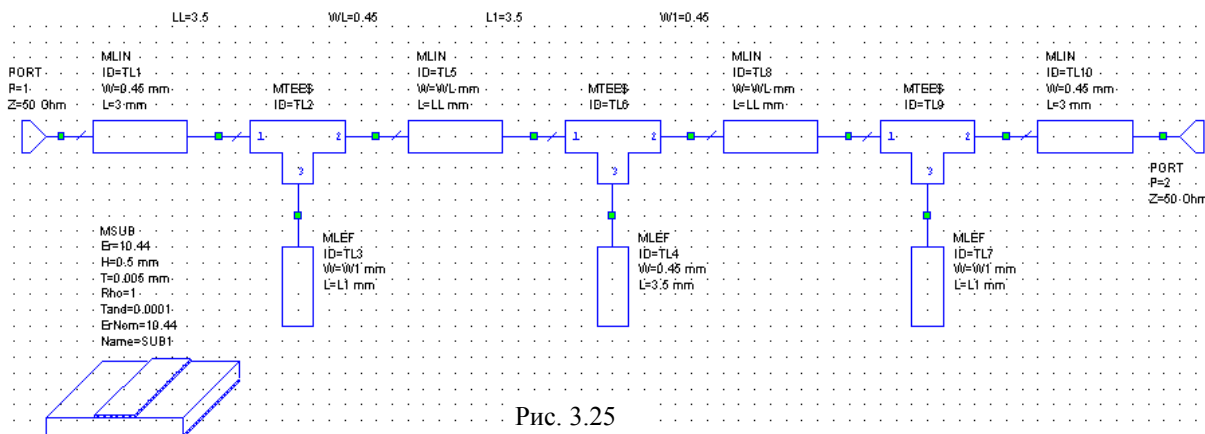


Рис. 3.25

3.2.8. 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**.

3.2.9. Создание графика и добавление измеряемых величин.

1. Щёлкните по значку **Add New Graph** на панели инструментов.
2. Введите имя графика, например **Graph 1**, выберите тип графика **Rectangular** (Прямоугольный) 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 **Measurement 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 **dB**, нажмите **Apply** и затем **OK**.

3.2.10. Анализ схемы.

1. Щёлкните левой кнопкой мышки по значку **Analyze** на панели инструментов.
2. Щёлкните правой кнопкой мышки по полученному графику и выберите **Properties**. Откроется диалоговое окно свойств графика (рис. 3.26).

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. 3.27.

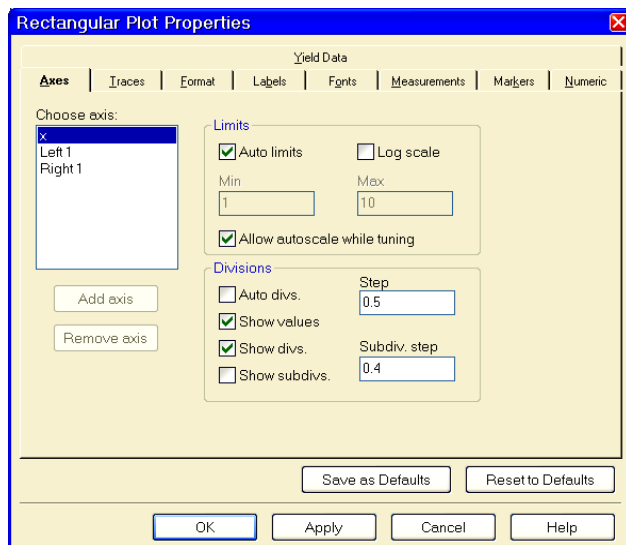


Рис. 3.26

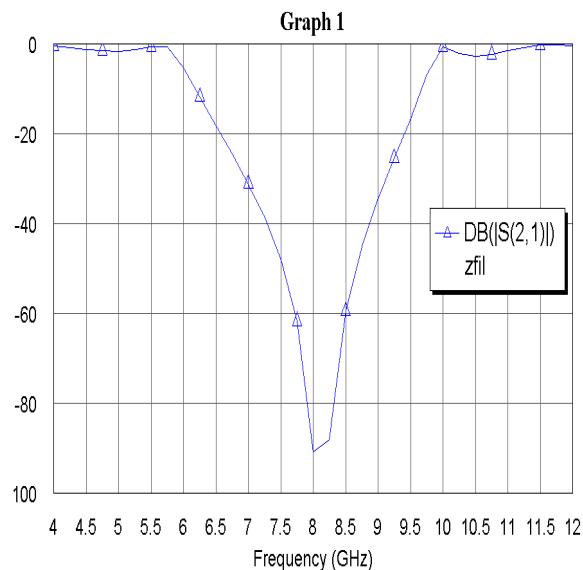


Рис. 3.27

3.2.11. Назначение переменных и параметров для оптимизации.

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

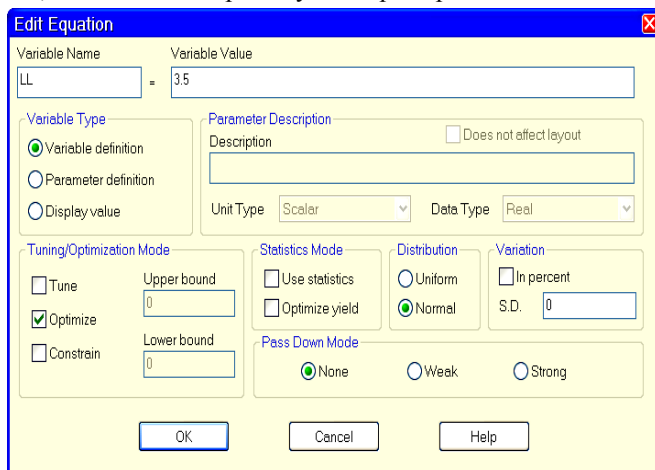


Рис. 3.28

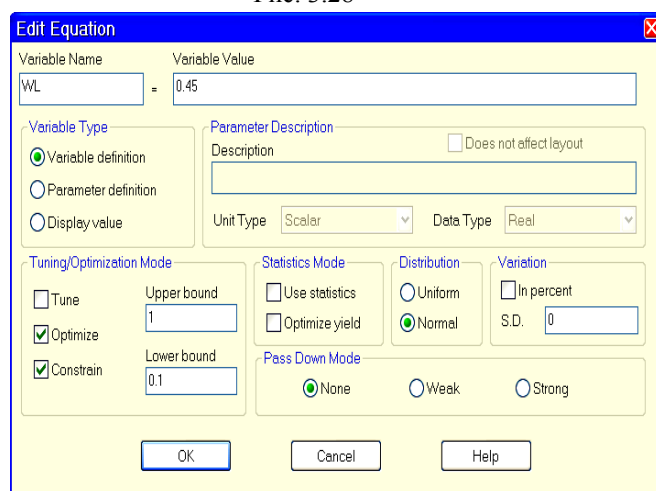


Рис. 3.29

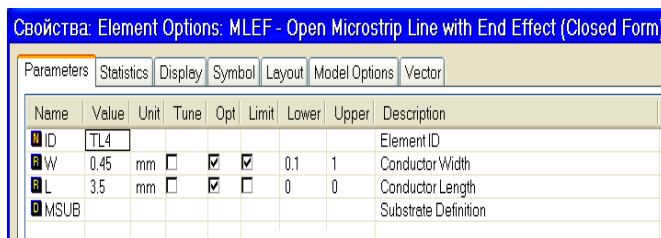


Рис. 3.30

3.2.12. Установка целей оптимизации.

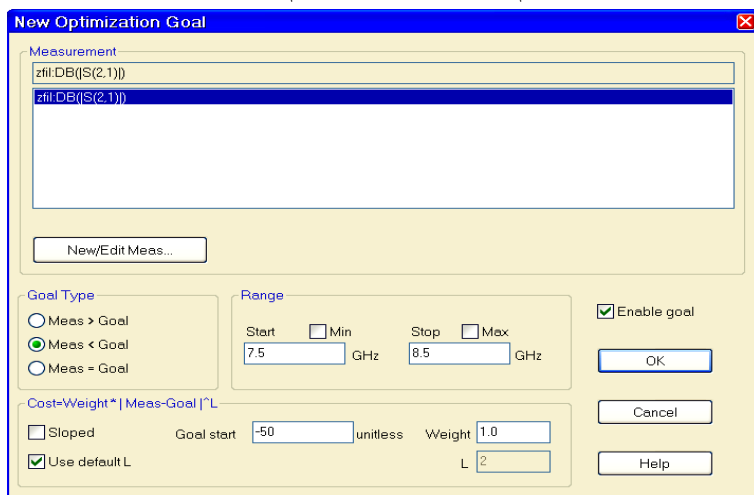


Рис. 3.31

1. Откройте окно схемы. Щёлкните правой кнопкой мышки по переменной **LL=3.5** и выберите **Properties**. Откроется окно редактирования переменной **Edit Equation** (рис. 3.28). 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**.
2. Аналогично с такими же параметрами назначьте для оптимизации переменную **L1=3.5**.
3. Щёлкните правой кнопкой мышки по переменной **WL=0.45** и выберите **Properties**. В открывшемся окне (рис. 3.29) отметьте **Optimize**. Здесь мы ограничим ширину полоски, поэтому отметьте **Constrain**. В поле **Upper bound** (Верхняя граница) введите **1**, а в поле **Lower bound** (Нижняя граница) введите **0.1**. Нажмите **OK**.
4. Аналогично с такими же параметрами назначьте для оптимизации переменную **W1=0.45**.
5. Дважды щёлкните по второму элементу **MLEF**, или щёлкните по нему правой кнопкой мышки и выберите **Properties**. Откроется диалоговое окно свойств элемента (рис. 3.30). Для 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**.

1. Откройте окно графика. Установите цель оптимизации в полосе заграждения. Щёлкните правой кнопкой мышки по **Optimizer Goals** в левом окне проекта и выберите **Add Optimizer Goal**. В открывшемся окне рис. 3.31 в области **Goal Type** отметьте **Meas < Goal**, в области **Range** (диапазон) снимите “галочки” в квадратиках **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 щёлкните правой кнопкой мышки по **Optimizer Goals** в левом окне проекта и выберите **Add Optimizer Goal**. В открывшемся окне в области **Goal Type** отметьте **Meas>Goal**, в области **Range** (диапазон) снимите “галочку” в квадратике **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 Optimizer Goal**. В открывшемся окне в области **Goal Type** отметьте **Meas>Goal**, в области **Range** (диапазон) снимите “галочку” в квадратике **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.

3.2.13. Выполнение оптимизации.

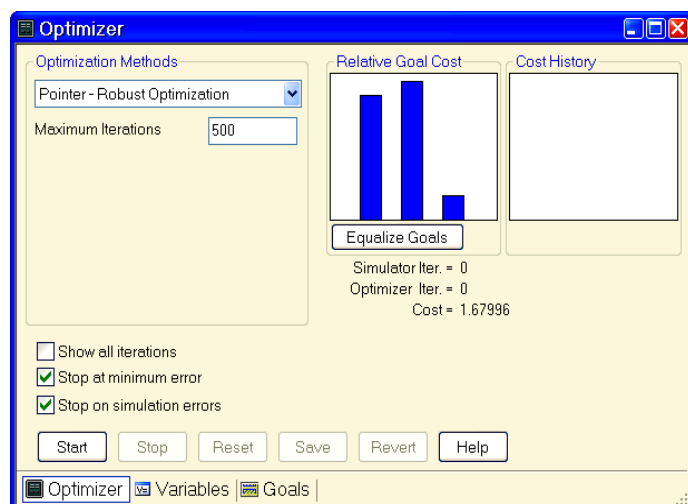


Рис. 3.32

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** (Выравнивать 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 установить «галочку» в квадратике **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. 3.33, а новые значения переменных и параметров элемента **MLEF** на рис. 3.34.

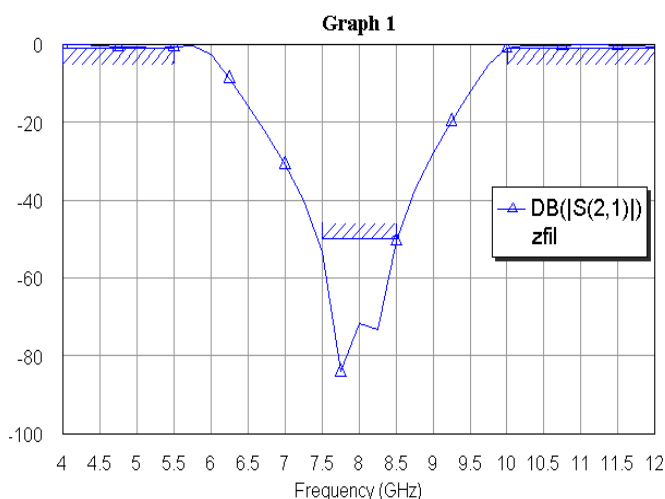


Рис. 3.33

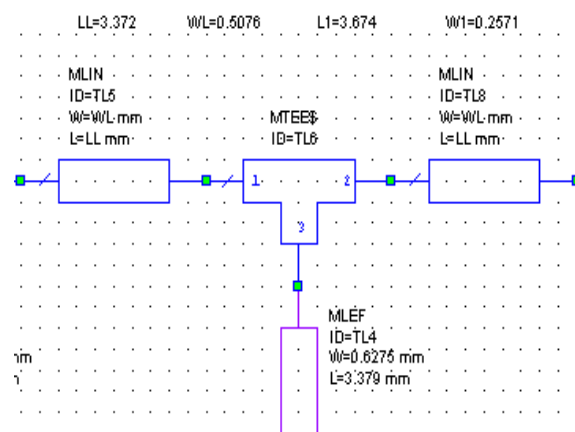


Рис. 3.34

3.2.14. Вывод результатов в файл.

1. Щёлкните правой кнопкой мышки по группе **Output Files** (Выходные файлы).
2. Выберите **Add Output File** (Добавить выходной файл), откроется окно **New Output File** (рис. 3.35), в котором нужно выбрать тип выходного файла. Отметьте **Port Parameter** и нажмите **OK**. Откроется новое окно рис. 3.36.

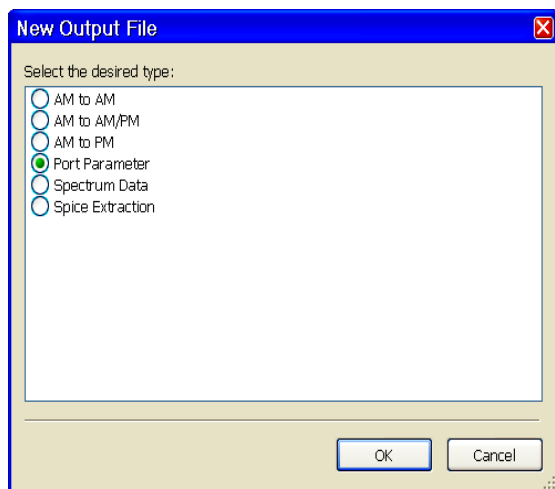


Рис. 3.35

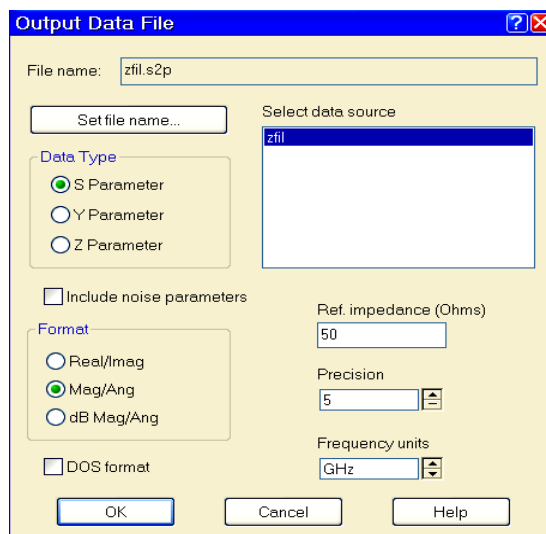


Рис. 3.36

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 значку **Analyze** на панели инструментов.

3.2.15. Создание топологии схемы.

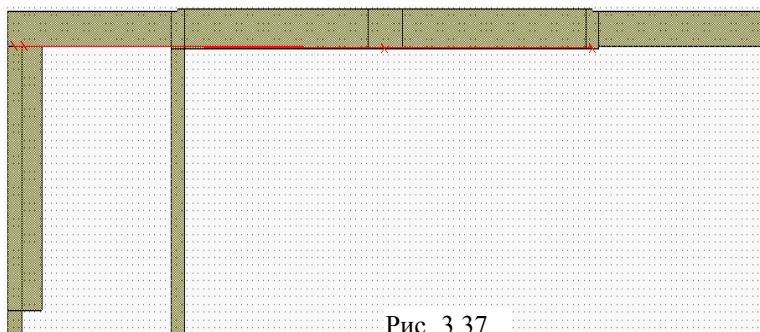


Рис. 3.37

элементов может быть беспорядочным, как, например, показано на рис. 3.37. 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**.
4. Щёлкните по значку **Snap Together** (Привязать вместе) на панели инструментов или выберите в меню **Edit>Snap Together**. Расположение элементов топологии будет упорядочено и топология будет иметь вид, показанный на рис. 3.38.

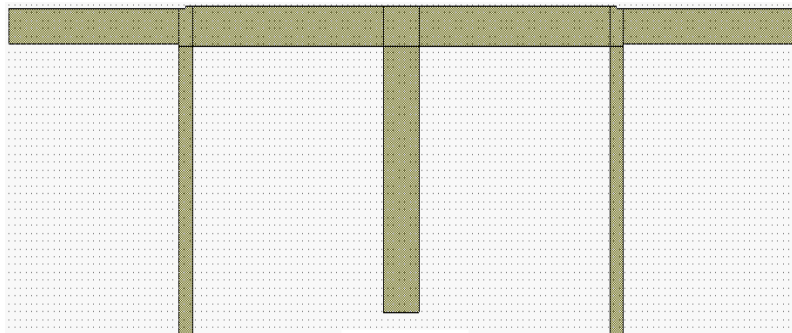


Рис. 3.38

3.2.16. 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**. В этом окне выберите папку, в которой вы хотите сохранить файл топологии, и введите имя файла или согласитесь с предлагаемым по умолчанию. В поле **Тип файла** выберите тип файла, в котором вы сохраняете топологию, например, **DXF[DXF Flat,*.dxf]**. Щёлкните мышкой по кнопке **Сохранить**. В AutoCAD сохранённая топология будет иметь вид, показанный на рис. 3.39.

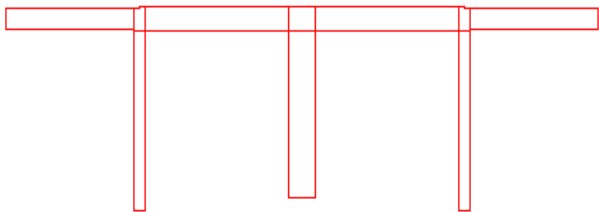


Рис. 3.39

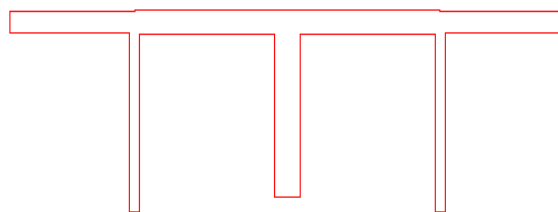


Рис. 3.40

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 **ОК**. Повторите экспорт топологии. Теперь в AutoCAD сохранённая топология будет иметь вид, показанный на рис. 3.40.

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.

3.3. Моделирование микрополоскового аттенюатора на резисторах

3.3.1. 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**.

3.3.2. Создание схемы.

1. Щёлкните по значку **Add New Schematic** на панели инструментов.
2. Наберите имя схемы **atr20** и нажмите **ОК**.
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.
15. Щёлкните по подгруппе **Lines** в окне просмотра элементов.
16. Найдите модель **MLIN**, переместите её в окно схемы и подключите её к правому выводу последнего элемента **TFR**.
17. Щёлкните по значку **View All** на панели инструментов, чтобы видеть всю схему.

3.3.3. 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.

3.3.4. Редактирование параметров элементов.

1. Дважды щёлкните левой кнопкой мышки по первому проводнику **ID=TL1**. Откроется диалоговое окно **Element Options**.

2. Введите **W=0.456 mm**, **L=5 mm** и нажмите **OK**.
3. Аналогично такие же параметры введите для последнего проводника **ID=TL9**.
4. 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**.
5. Аналогично такие же параметры введите для предпоследнего проводника **ID=TL7**.
6. 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**.
7. 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**.
8. Аналогично такие же параметры введите для последнего резистора **ID=TL8**.
9. Аналогично для двух средних резисторов **ID=TL4** и **ID=TL6** введите параметры **W=0.4**, **L=0.215**, **PS=50**.

3.3.5. Определение параметров подложки.

1. Щёлкните по группе **Substrates** 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:
 - $\epsilon_r=10.55$ – относительная диэлектрическая проницаемость;
 - $H=0.5$ – толщина подложки;
 - $T=0.005$ – толщина проводника;
 - $\rho=1$ – удельное сопротивление металла проводника, нормированное к золоту;
 - $\text{Tang}=0.0001$ – тангенс угла потерь.

Заметим, что значение ϵ_r изменять не обязательно, т.к. X-модели в схеме не используются. Полученная схема показана на рис. 3.41.

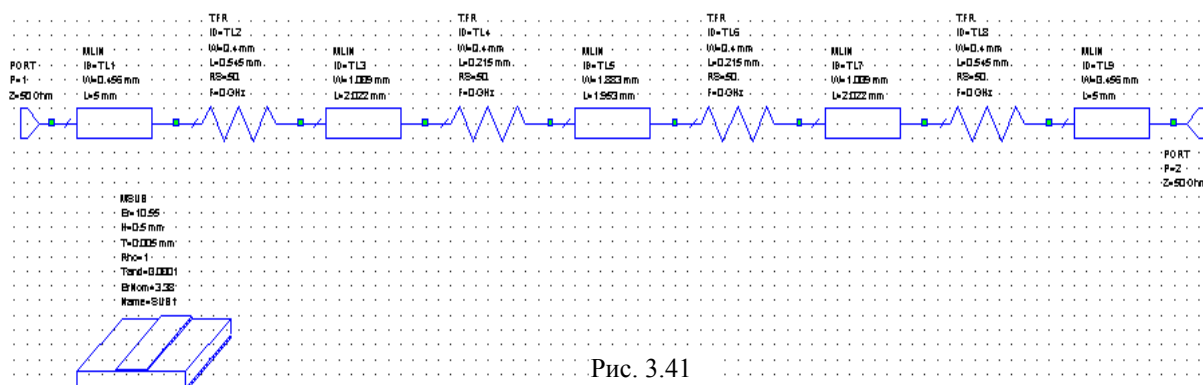


Рис. 3.41

3.3.6. 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**. Откроется диалоговое окно **Project Options**.
3. Нажмите **Frequencies**.
4. Наберите **4** в поле **Start**, **18** в поле **Stop** и **1** поле **Step**, отметьте **Replace**, отметьте **Linear**. Нажмите **Apply**. В окне **Current Range** отображается частотный диапазон и шаг по частоте. Нажмите **OK**.

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

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

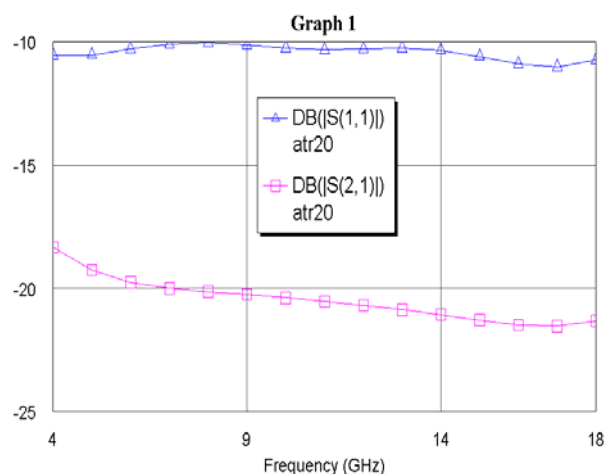


Рис. 3.42

2. Отметьте **Rectangular** 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**, **atr20** в поле **Data Source Name**, введите **1** в полях **To Port Index**, и **From Port Index**, нажимая на стрелки, справа от этих полей, отметьте **dB** и **Mag** в области **Complex Modifier**, нажмите **Apply**.
5. Введите **2** в поле **To Port Index** и нажмите **Apply** и нажмите **OK**.
6. Щёлкните левой кнопкой мышки по значку **Analyze** на панели инструментов. Результаты анализа отображаются на графике рис.3.42.

3.3.8. 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**. Для линейных схем обычно в качестве выходных параметров выбирают S-параметры схемы. Но иногда бывает удобнее определить не элементы S-матрицы, а другие параметры.

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:

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

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:

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

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

$$G_n = 0.01 + j \cdot 0.05$$

Затем записать уравнение для определения коэффициента отражения по входу схемы:

$$G = S11 + S12 \cdot S21 \cdot G_n / (1 - S22 \cdot G_n)$$

И, наконец, уравнение для определения KstU:

$$KstU = (1 + \text{abs}(G)) / (1 - \text{abs}(G))$$

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 2009.

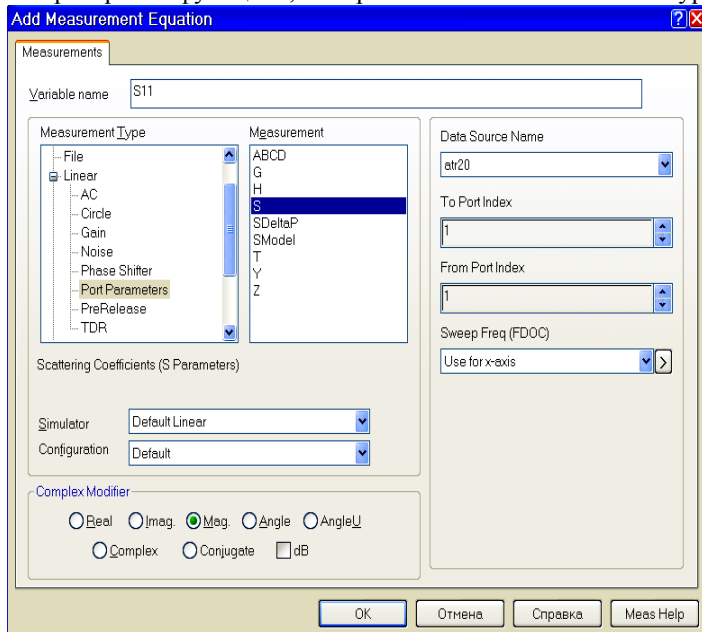


Рис. 3.43

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

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** или щёлкните по значку **Output Equation** на панели инструментов. Откроется диалоговое окно **Add Measurement Equation**, показанное на рис. 3.43. В текстовом поле **Variable name** (Имя переменной) введите **S11**. В области **Measurement Type** отметьте **Port Parameters**, в области

Measurement отметьте **S**. В поле **Data Source Name** введите **atr20**, введите **1** в оба поля **To Port Index** и **From Port Index**, установите “галочку” в **Mag** в области **Complex Modifier**, снимите “галочку” в **DB**, если она установлена, нажмите **OK**. В окне уравнений появится поле ввода. Двигая мышку, установите это поле в верхней части окна уравнений и щёлкните левой кнопкой мышки, чтобы закрепить. 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 **Measurement Type** отметьте **Port Parameters**, в области **Measurement** отметьте **S**, в поле **Data Source Name** введите **atr20**, 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 “галочку” в **DB**, если она установлена, нажмите **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:

Output Equations

```

S11 = atr20:|S(1,1)|
S21 = atr20:|S(2,1)|
KstU=(1+S11)/(1-S11)
Ldb=20*log10(1/S21)

```

Рис. 3.44

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

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**.

Окончательный вид уравнений в окне показан на рис. 3.44.

3.3.9. Создание графика, добавление измеряемых величин и анализ.

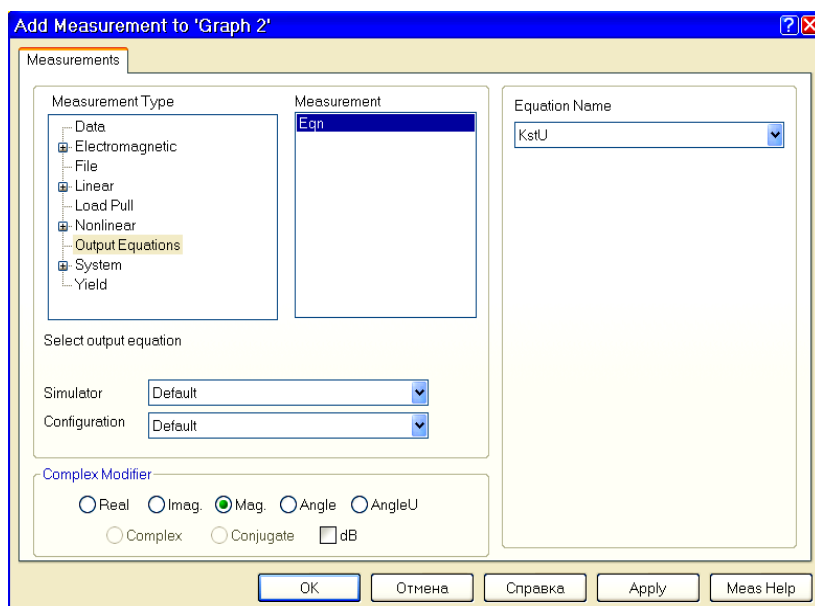


Рис. 3.45

1. Щёлкните по значку **Add New Graph** на панели инструментов.
2. Введите имя графика **Graph 2**, выберите **Rectangular** 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. 3.45) выберите **Output Equations** в области **Measurement Type**. В поле ввода **Equation Name** выберите **KstU**, щёлкнув по кнопке справа. Отметьте

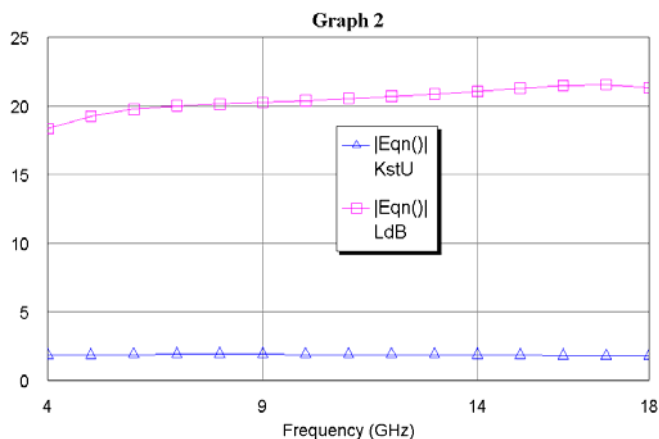


Рис. 3.46

те 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. 3.46.

3.4. Моделирование микрополоскового 2-х диодного аттенюатора

3.4.1. Создание нового проекта.

1. Выберите в меню **File>New Project**.
2. Выберите в меню **File>Save Project As**. Сохраните проект под именем **Atr**.

3.4.2. Создание упрощенной эквивалентной схемы диода.

1. Щёлкните по значку **Add 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 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 солениоида. 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.
11. 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.
12. 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.
13. Поместите курсор на клемму первого порта **PORT P=1** так, чтобы курсор отображался в виде солениоида. Щёлкните левой кнопкой мышки, чтобы зафиксировать начало провода, перетащите курсор к проводу, соединяющему конденсатор и резистор, и щёлкните левой кнопкой мышки, чтобы зафиксировать его.
14. Аналогично подключите к схеме второй порт.

3.4.3. 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**.

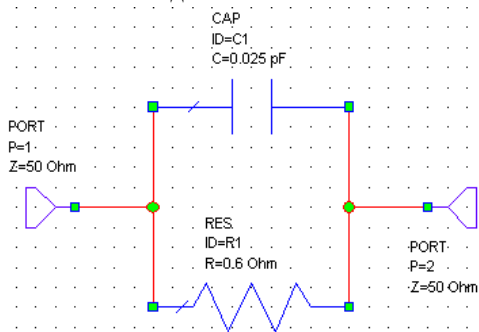


Рис. 3.47

2. В текстовое поле **Value** значения ёмкости (**C**), введите **0.025 pF** и нажмите **OK**. Изменение будет отражено на схеме.
3. Дважды щёлкните левой кнопкой мышки по элементу **RES** в окне схемы. Откроется диалоговое окно **Element Options**.
4. В текстовое поле **Value** значения резистора (**R**), введите **0.6 Ohm** и нажмите **OK**.
5. Отредактированная эквивалентная схема диода показана на рис. 3.47.

Примечание. Параметры взяты для диода 2A553B-3.

3.4.4. Создание схемы аттенюатора.

1. Щёлкните по значку **Add 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.

3.4.5. 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. 3.48.

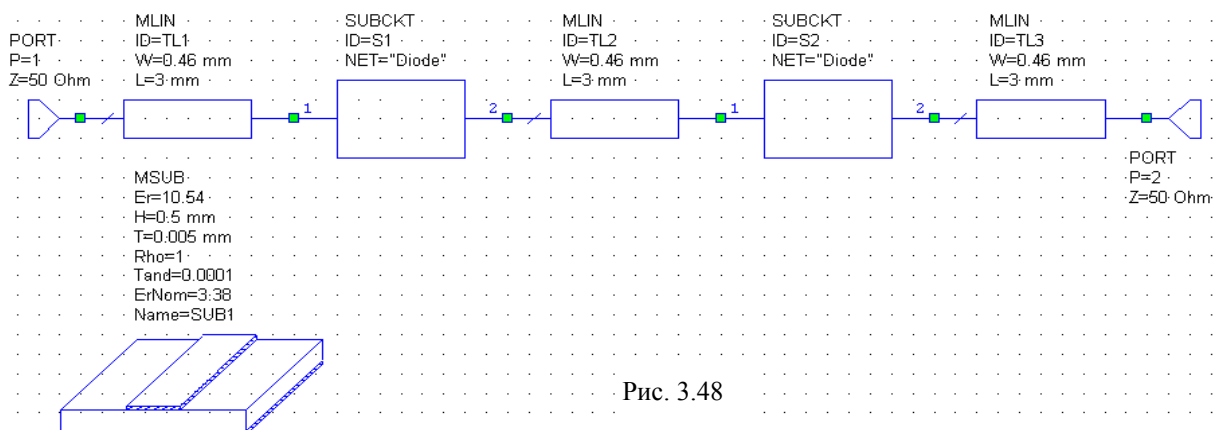


Рис. 3.48

3.4.6. 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**. Откроется диалоговое окно **Project Options**.
3. На вкладке **Frequencies**. Введите **8** в поле **Start**, **12** в поле **Stop** и **0.5** поле **Step**, отметьте **Replace**, отметьте **Linear**. Нажмите **Apply**. В области **Current Range** отображается частотный диапазон и шаг по частоте. Нажмите **OK**.

3.4.7. Создание выходных параметров и уравнений.

1. Дважды щёлкните левой кнопкой мышки по группе **Output Equations** в окне просмотра проекта. На рабочем поле откроется окно уравнений **Output Equations**.
2. Щёлкните по кнопке **Output Equation** на панели инструментов. Откроется диалоговое окно **Measurements Equation**. В текстовом поле **Variable name** введите **S11**, в списке **Measurement Type** отметьте **Port Parameters**, в списке **Measurement** отметьте **S**, в поле **Data Source Name** введите **At**, 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 “галочку” в **dB**, если она уста-

новлена, 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 щёлкните по кнопке **Output Equation** на панели инструментов. В открывшемся окне в текстовом поле **Variable name** введите **S21**. В списке **Measurement Type** отметьте **Port Parameters**, в списке **Measurement** отметьте **S**. В поле **Data Source Name** введите **At**, введите **2** в поле **To Port Index** и **1** в поле **From Port Index**, отметьте **Mag** в области **Complex Modifier**, снимите “галочку” в **dB**, если она установлена, 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:

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

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

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

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

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

$$LdB=20*\log10(1/S2)$$

8. Введите в поле ввода уравнение:

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

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

Рис. 3.49

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

Окончательный вид окна уравнений показан на рис. 3.49.

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

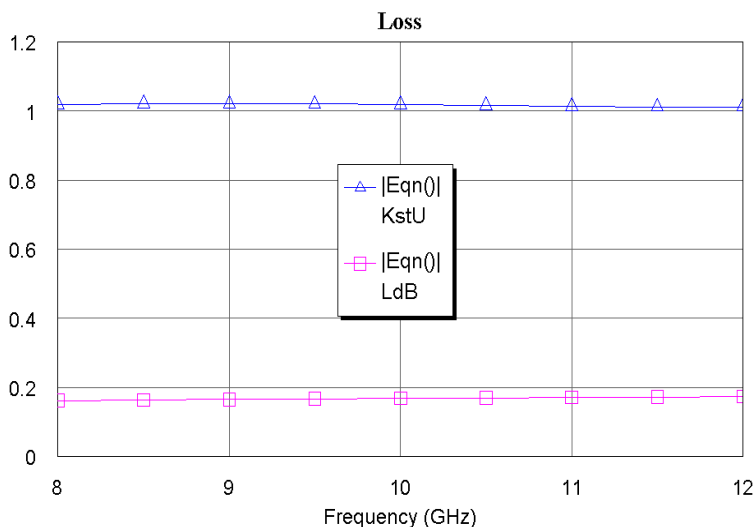


Рис. 3.49

1. Щёлкните по значку **Add New Graph** на панели инструментов.
2. Введите имя графика **Loss**, отметьте **Rectangular** и нажмите **OK**.
3. Щёлкните правой кнопкой мышки по подгруппе **Loss** в окне просмотра проекта и выберите **Add Measurement**.
4. Выберите **Output Equations** в списке **Measurement Type**. В окне списка **Measurement** отметьте **Eqn**. В поле ввода **Equation Name** выберите **KstU**, щёлкнув по кнопке справа от этого поля. 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. 3.49.

3.4.9. Редактирование подсхемы и настройка аттенюатора.

1. Дважды щёлкните по имени схемы **At** в окне просмотра проекта, чтобы сделать активным окно этой схемы.
2. Щёлкните правой кнопкой мышки по первому элементу подсхемы **SUBCKT ID=S1** и выберите **Edit Subcircuit**. Или щёлкните один раз по этому элементу и затем щёлкните по значку **Edit Subcircuit** на панели инструментов. Откроется окно с копией схемы диода, в котором можно редактировать эту схему.

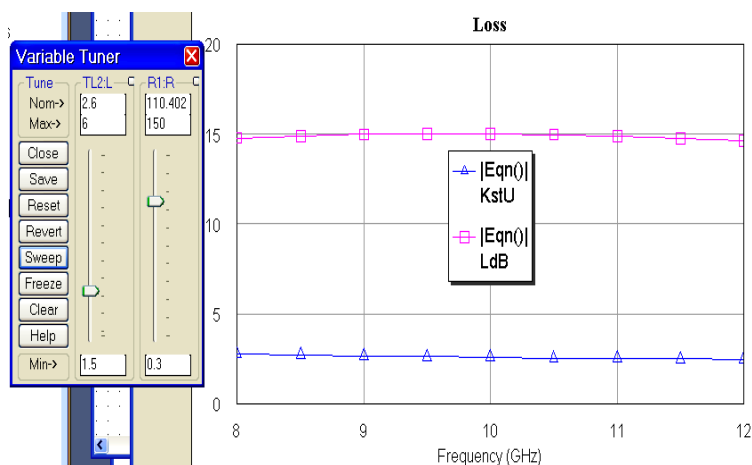


Рис. 3.50

3. Щёлкните по значку **Tune Tool** (Инструмент настройки) на панели инструментов.
4. Поместите курсор на параметр **R** резистора. Курсор должен отображаться в виде белого перекрестия в чёрном кружке.
5. Щёлкните левой кнопкой мышки, чтобы активизировать параметр **R** для настройки. Этот параметр будет отображаться синим цветом.
6. Щёлкните правой кнопкой мышки в окне с копией схемы диода и выберите **Exit Subcircuit** или щёлкните по значку **Exit Subcircuit** на панели инструментов,

чтобы закрыть это окно и вернуться к окну схемы аттенюатор.

7. Щёлкните по значку **Tune Tool** на панели инструментов.
8. Поместите курсор на параметр **L** (длина отрезка) среднего отрезка линии **MLIN ID=TL2** и щёлкните левой кнопкой мышки.
9. Щёлкните левой кнопкой мышки по окну графика **Loss**, чтобы сделать его активным.
10. Щёлкните по значку **Tune** на панели инструментов. Откроется **Variable Tuner** (Блок настройки переменных), показанный на рис. 3.50. В полях ввода **Max** и **Min** введите допустимые пределы регулировки резистора и длины отрезка, как показано на рис. 3.50.
11. 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, или щёлкните по кнопке **Sweep** в блоке настройки.

3.4.10. 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 или создать новую. В Microwave Office имеется библиотека packages (пакет) в формате GDSII, которая находится по адресу AWR\AWR2009\Examples\packages.gds. Чтобы импортировать эту библиотеку в проект, сделайте следующее:

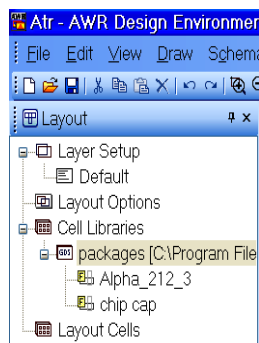


Рис. 3.51

1. Сделайте активным окно схемы и нажмите левой кнопкой мышки на панель **Layout** в нижней части левого окна, чтобы открыть окно менеджера топологии.
2. Правой кнопкой мышки щёлкните по **Cell Libraries** (Библиотеки элементов) в менеджере топологии и выберите **Import GDSII Library** (Импортировать библиотеку GDSII) во всплывающем меню.
3. В открывшемся окне найдите файл packages.gds по указанному выше адресу и дважды щёлкните по нему левой кнопкой мышки. Импортированная библиотека будет отображена в окне менеджера топологии как подгруппа в группе **Cell Libraries**, как показано на рис. 3.51.

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

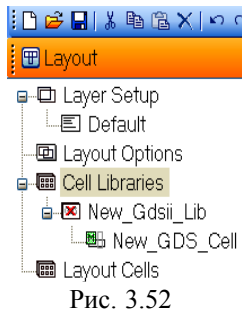


Рис. 3.52

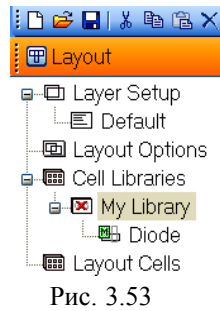


Рис. 3.53

Если вместо импортирования библиотеки хотите создать свою библиотеку, 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 (например, **My Library**) и нажать **OK**. Имя вновь создаваемой библиотеки появится в окне менеджера топологии (рис. 3.52). В этой библиотеке отображается первая ячейка с именем **New_GDS_Cell**. Щёлкнув правой кнопкой мышки по этому имени ячейки и выбрав **Rename Layout Cell**, вы можете переименовать ячейку (например, **Diode**). Щёлкнув правой кнопкой мышки по имени созданной библиотеки **My**

Library, вы можете добавить сколько угодно новых ячеек.

Чтобы начертить элемент топологии:

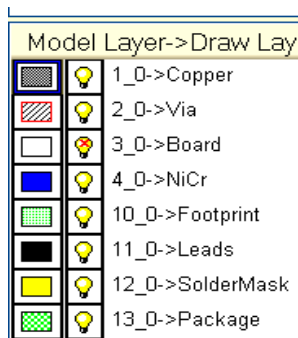


Рис. 3.54

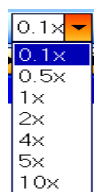


Рис. 3.55

1. Дважды щёлкните мышкой по имени ячейки **Diode**. В нижней части окна менеджера топологии появится список слоёв, в которых можно чертить элемент топологии (рис. 3.54) и на рабочем поле откроется окно для черчения ячейки топологии.
2. 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. 3.54 (не щёлкайте по лампочке, т.к. такой щелчок определяет слой для показа или скрытия).
3. Щёлкните левой кнопкой мышки по окну рисования на рабочем поле, чтобы сделать его активным.
4. 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. 3.55), чтобы сделать размер сетки 0.01 мм.

5. 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.
6. Щёлкните левой кнопкой мышки по значку **Polygon** на панели инструментов (эта панель обычно расположена в нижней части экрана).
7. Переместите курсор в окно рисования и щёлкните левой кнопкой мышки, чтобы зафиксировать начало топологии.

8. Переместите курсор вправо, пока будет отображено **dx:0.16** и щёлкните левой кнопкой мышки.

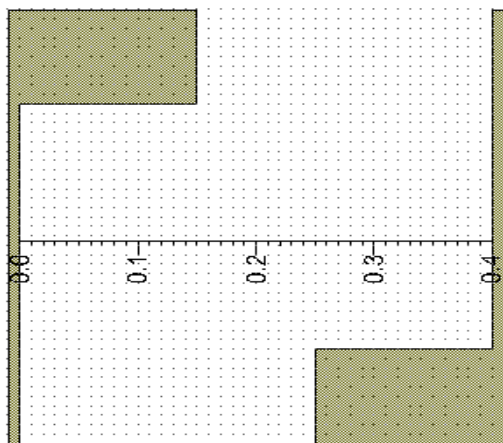


Рис. 3.56

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. 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.

9. 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.3.56. 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. 3.56. 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**.

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

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

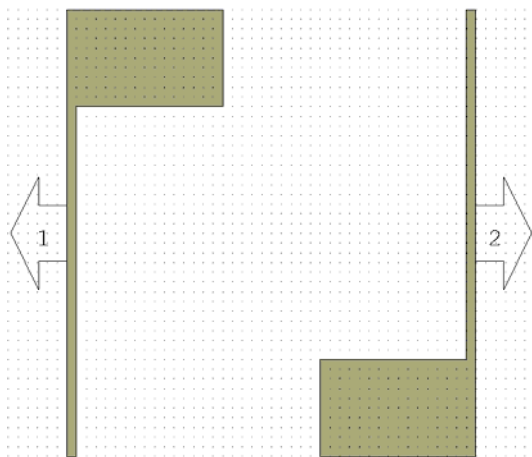


Рис. 3.57

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.
3. Не отпуская клавишу **Ctrl**, нажмите левую кнопку мышки и, не отпуская её, двигайте курсор к верхнему левому углу проводника, пока другой квадрат не 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. Щёлкните мышкой на свободном пространстве окна, чтобы снять выделение порта. Полученная топология показана на рис. 3.57.

5. Закройте окно черчения. Будет выведен запрос, хотите ли вы сохранить нарисованный элемент. Нажмите **Yes**, чтобы сохранить.

Примечание. Созданная библиотека по умолчанию сохраняется 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.

3.4.11. Назначение элемента топологии Diode элементам схемы SUBCKT.

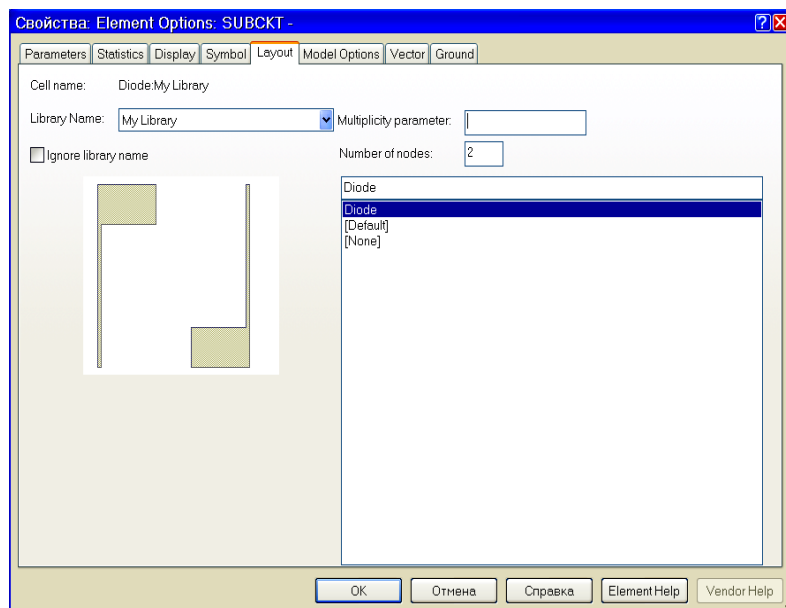


Рис. 3.58

1. Щёлкните левой кнопкой мышки по окну схемы аттенюатора, чтобы сделать его активным.
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. 3.58).
4. В поле ввода **Library Name** введите имя вашей библиотеки **My Library**, щёлкнув по кнопке в правом конце этого поля. Выберите имя созданного элемента топологии **Diode** в правой области окна и нажмите **OK** (рис. 3.58).

5. Аналогично назначьте элемент топологии второму элементу схемы SUBCKT.

3.4.12. Создание топологии схемы и экспортирование топологии.

1. Выберите в меню **View>Layout View** или щёлкните левой кнопкой мышки по значку **View Layout** на панели инструментов.

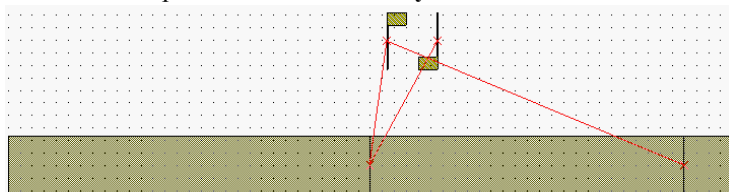


Рис. 3.59

Топология схемы будет отображена на рабочем поле, но расположение элементов топологии может быть беспорядочным (рис. 3.59). 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. 3.60.



Рис. 3.60

3. Выберите в меню **Options>Layout Options**. На вкладке **Export/LPF** открывшегося окна отметьте **Union layout shapes** (Объединить формы топологии) и нажмите **OK**.
4. Выберите в меню **Layout>Export**. Выберите тип файла **DXF(DXF Flat, *.dxf)** и нажмите кнопку **Сохранить**. В AutoCAD сохранённая топология будет иметь вид, показанный на рис. 3.61.



Рис. 3.61

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

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

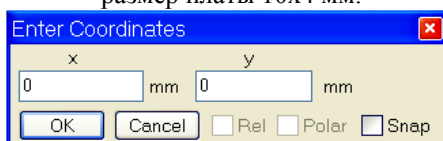


Рис. 3.62

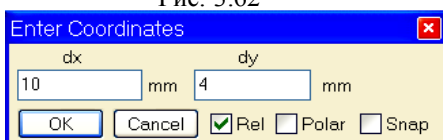


Рис. 3.63

2. Щёлкните по значку **Rectangle** на панели инструментов, поместите курсор в окно топологии и нажмите клавишу **Tab**. В открывшемся окне **Enter Coordinates** (Ввод координат) введите **0** в поля **x** и **y** (рис. 3.62). Нажмите **OK** и затем клавишу **Tab**. Во вновь открывшемся окне введите **10** в поле **dx** и **4** в поле **dy** (рис.3.63). Нажмите **OK**. На поле схемы появится прямоугольник платы, который будет выделен.
3. Щёлкните по выделенному прямоугольнику правой кнопкой мышки и выберите **Shape Properties**. В открывшемся окне свойств в поле **Draw Layers** введите **Board** (Плата),

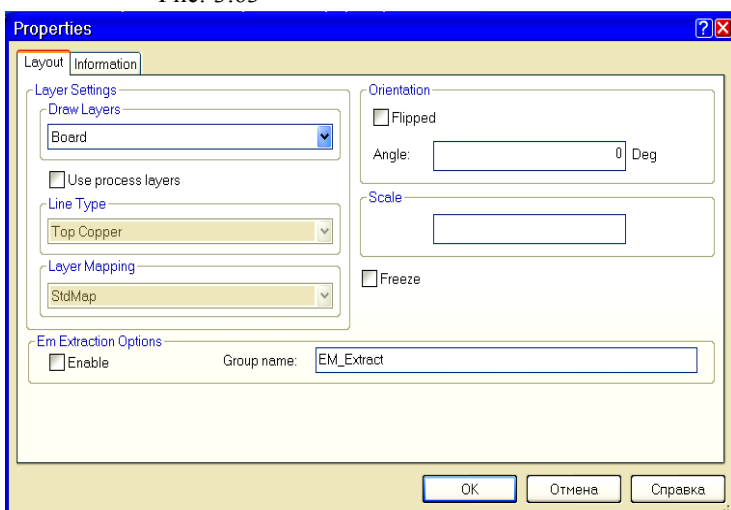


Рис. 3.64

щёлкнув мышкой по кнопке в правом конце этого поля (рис. 3.64.) Нажмите **OK**.

4. Установите курсор левее и выше топологии, нажмите левую кнопку мышки (курсор должен находиться вне прямоугольника платы, иначе будет выделена плата), перетащите курсор правее и ниже топологии так, чтобы вся топология попала в образовавшийся прямоугольник, отпустите кнопку мышки. Вся топология должна быть выделена.
5. Установите курсор мышки на любой элемент выделенной топологии и переместите топологию так, чтобы она располагалась по центру платы (рис. 3.65).

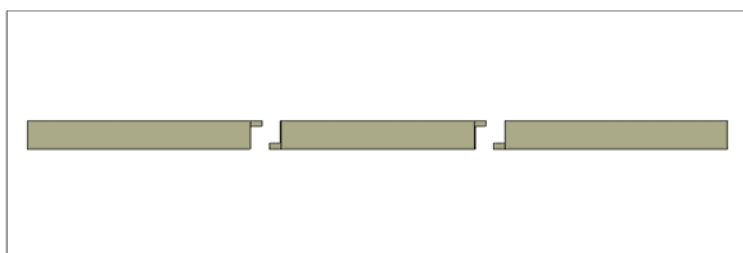


Рис. 3.65

снять фиксацию платы, выберите в меню **Options>Drawing Layers**. Откроется окно опций черчения слоев (рис. 3.66). В левой части окна отметьте **Drawing Layers 2d**, если не отмечено. В правой части окна в строке **Board** в столбце **Freeze** по умолчанию установлена “галочка”, снимите её. В столбце **Fill** (Заполнение) не указан тип заполнения платы, поэтому она отображается бесцветным прямоугольником. При желании вы можете выбрать цвет и тип заполнения, дважды щёлкнув в столбце **Fill**.

гию так, чтобы она располагалась по центру платы (рис. 3.65).

Замечание. Можно вместо перемещения топологии переместить прямоугольник платы, предварительно выделив его, щёлкнув мышкой. Однако, по умолчанию, прямоугольник платы зафиксирован и его нельзя ни выделить, ни переместить. Чтобы

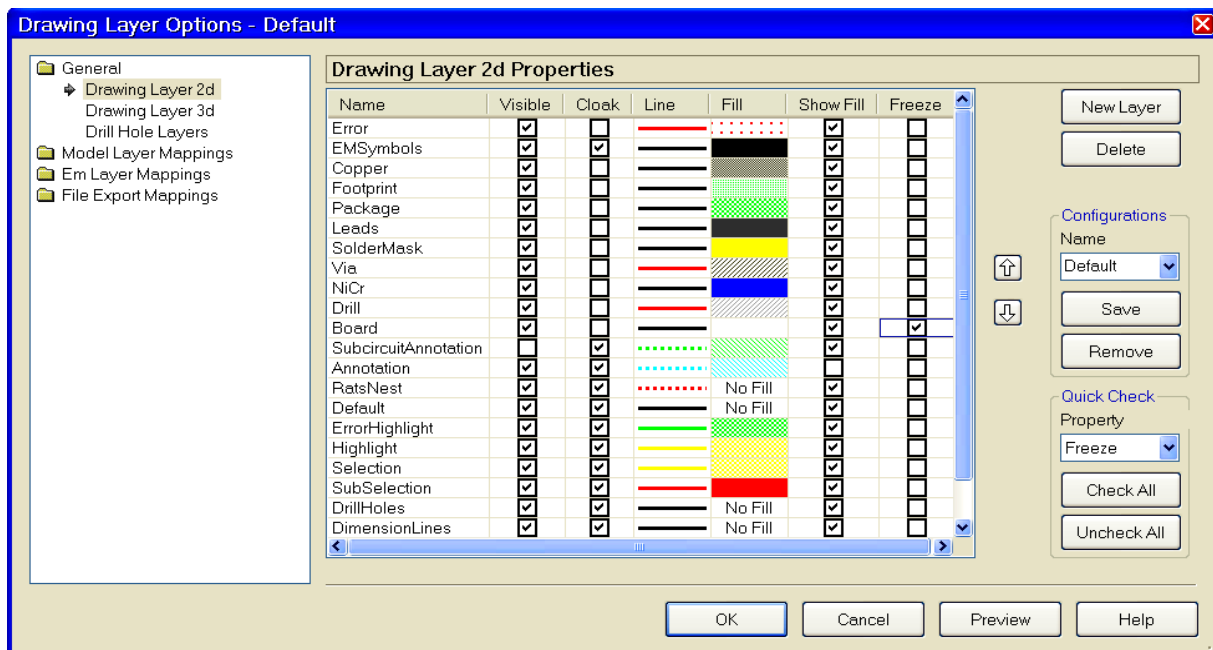


Рис 3.66

- 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, 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**. Щёлкните по значку **Copy** на панели инструментов. Щёлкая по значку **Paste** на панели инструментов и правой кнопкой мышки, чтобы развернуть скопированный многоугольник, установите реперные знаки на остальные углы платы.

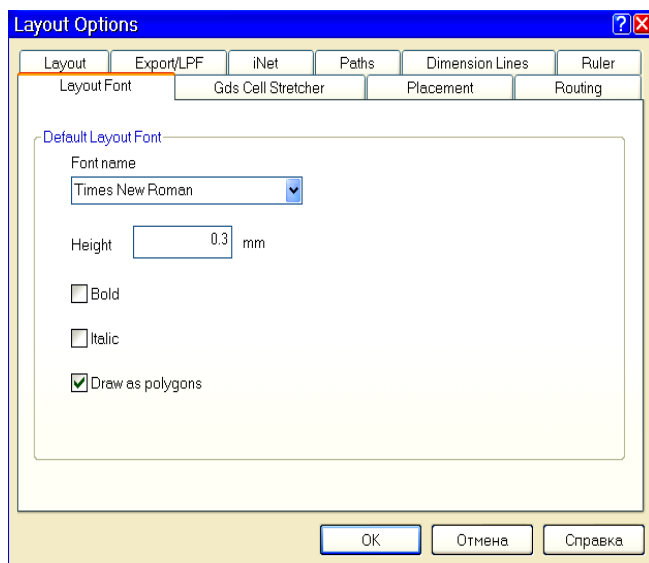


Рис. 3.67

Draw as polygons (Чертить как полигоны) и выберите имя и высоту шрифта, например, как показано на рис. 3.67. Нажмите **OK**.

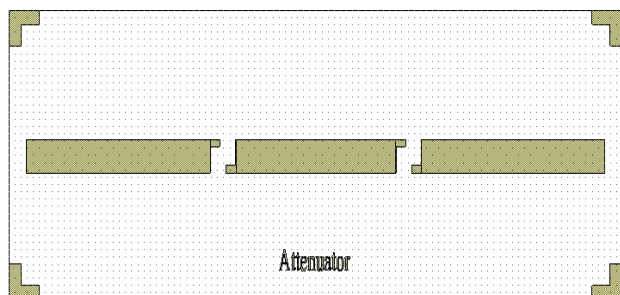


Рис. 3.68

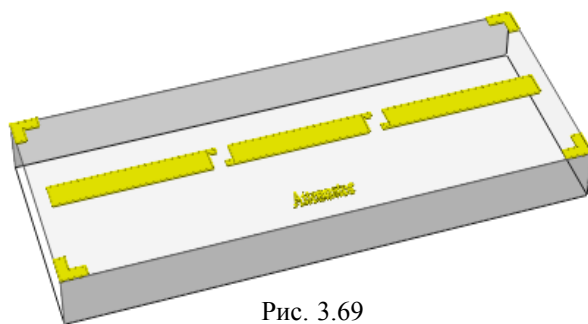


Рис. 3.69

- Выберите в меню **Draw>Text**. Поместите курсор на плату и щёлкните левой кнопкой мышки. В образовавшемся поле ввода наберите **Attenuator** и щёлкните мышкой вне этого поля. Установив курсор на надпись и нажав левую кнопку мышки, можно переместить надпись в любое свободное место на плате. Созданная плата показана на рис. 3.68. Заметим, что по умолчанию тополо-

гические 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. Слой черчения можно изменить в окне менеджера топологии **Layout**, например, на **Copper**.



Attenuator

Рис. 3.70

деть, как показано на рис. 3.70.

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:

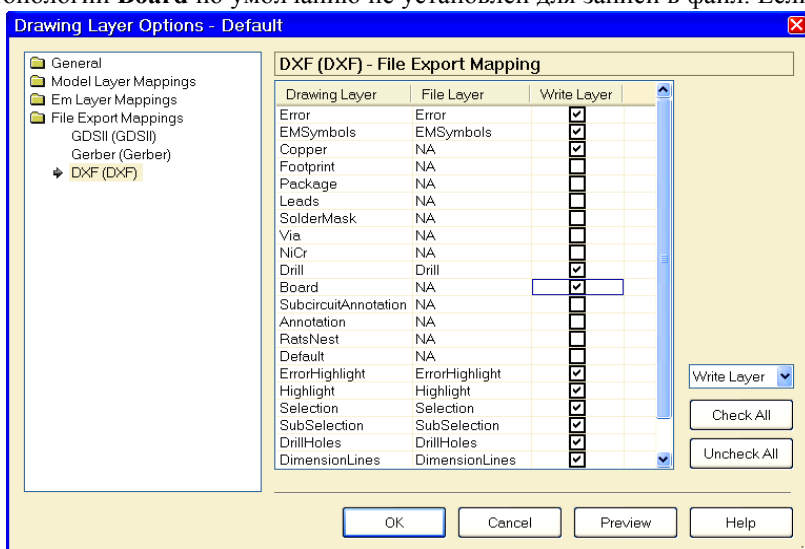


Рис. 3.71

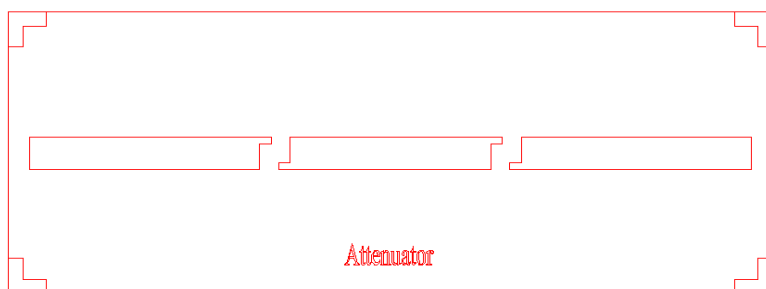


Рис. 3.72

9. Щёлкните по значку **View 3D Layout** на панели инструментов, чтобы просмотреть 3-х мерное изображение платы (рис. 3.69).

10. 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 выгля-

1. Выберите в меню **Options>Drawing Layers**. В левой части открывшегося окна (рис. 3.71) 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**.

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. 3.72.

4. Нелинейное моделирование

Для выполнения анализа в нелинейном моделировании используется гармонический баланс, который является эффективным методом для анализа усилителей мощности, смесителей, умножителей и генераторов.

Моделирование с помощью гармонического баланса производится просто. Ввод схемы, измеряемые величины и анализ выполняются аналогично линейному моделированию. Отличие состоит в том, что для выполнения гармонического баланса требуется наличие источников напряжения, тока или мощности. 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 многочастотный анализ с помощью гармонического баланса используется, чтобы определить реакцию на выходе схемы при возбуждении её портов разными частотами. Типичным примером являются смесители, на которые подаются частоты радиосигнала и гетеродина. Или определение интермодуляционных искажений при подаче близко расположенных частот в усилителях.

Microwave Office содержит большое количество функций постобработки для отображения результатов в частотной и временной области. Здесь предлагается полная система нелинейных измеряемых величин, которая включает в себя S-параметры при большом сигнале, мощность, напряжение и ток в произвольных узлах и точках пересечения, КПД суммирования мощности. 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.

4.1. 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 аннотации;
- o Импортрование входной и выходной согласующих цепей;
- 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.

Создайте новый проект и сохраните его с именем **Amplifier**.

4.1.1. Установка единиц измерения, используемых по умолчанию.

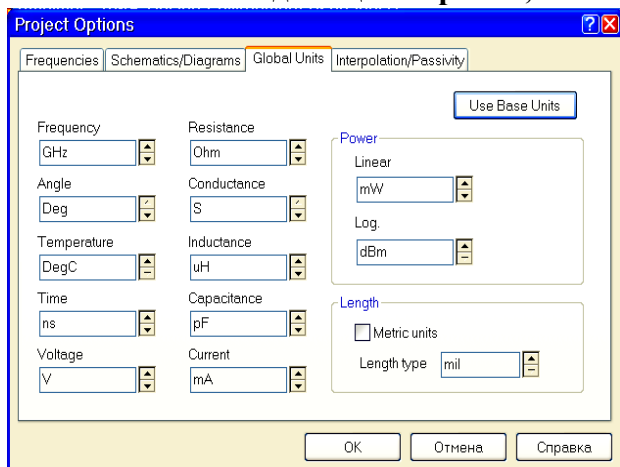


Рис. 4.1

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

1. Выберите в меню **Options>Project Options** или дважды щёлкните по группе **Project Options** в окне просмотра проекта. Откроется диалоговое окно **Project Options** (рис. 4.1).
2. Нажмите панель **Global Options** 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. 4.1, снимите флажок в поле **Metric units** (Метрические единицы), установите **mil** в поле **Length type** и нажмите **OK**.

4.1.2. Импортрование схемы.

Создать схему можно обычным образом, выбрав в меню **Project>Add Schematic>New Schematic** или щёлкнув мышкой по значку **Add New Schematic** на панели инструментов. Затем в окне просмотра

элементов раскрыть группу **Nonlinear**, щёлкнуть по подгруппе **BJT** (Биполярный плоскостной транзистор), перетащить в схему модель **GBJT** и отредактировать её параметры, щёлкнув мышкой по кнопке **Show Secondary**. В этом примере рассмотрим импорт уже имеющийся схемы с отредактированными параметрами модели.

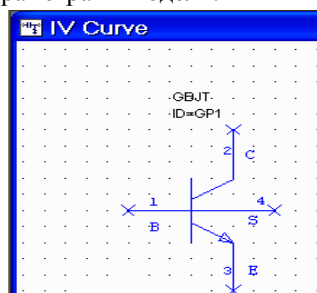


Рис. 4.2

1. В окне просмотра проекта щёлкните правой кнопкой мышки по группе **Circuit Schematics** и выберите **Import Schematic**. В открывшемся окне зайдите в директорию **C:\Program Files\AWR\AWR2009\Examples**. Выделите файл **nonlinear_start.such** и нажмите кнопку **Открыть**. Схема будет импортирована в проект и в окне просмотра проекта появится подгруппа схемы с именем **nonlinear_start**.
2. Щёлкните правой кнопкой мышки по имени схемы в окне просмотра и выберите **Rename Schematic** (Переименовать схему). В открывшемся окне введите имя **IV Curve** и нажмите **ОК**. Должна получиться схема, показанная на рис. 4.2.

4.1.3. Размещение измерителя вольтамперной характеристики.

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. 4.3 и щёлкните левой кнопкой мышки, чтобы зафиксировать его.

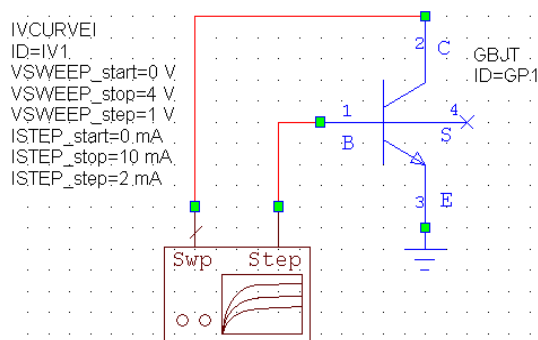


Рис. 4.3

вой кнопкой мышки, чтобы её зафиксировать.

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.

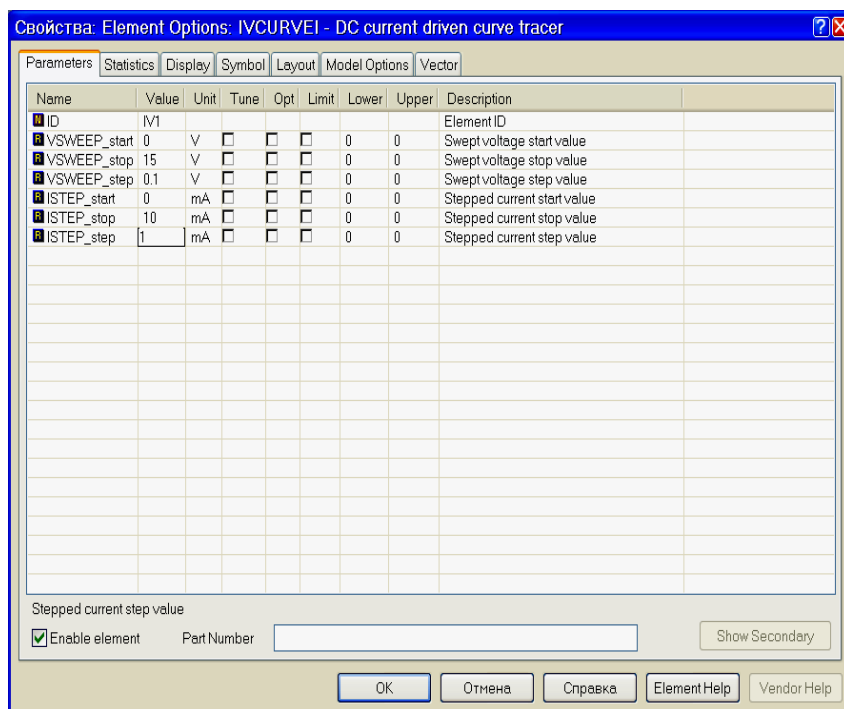


Рис. 4.4

4.1.4. Редактирование параметров измерителя вольтамперной характеристики.

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. Установите пределы измерений для напряжения и тока. Для этого измените значения полей **Value** (Значение) как показано на рис. 4.4 и нажмите **ОК**.

4.1.5. Создание графика 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 **New Graph** (Новый график). Или щёлкните левой кнопкой мышки по значку **Add New Graph** на панели инструментов. Откроется окно **New Graph**.
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**.

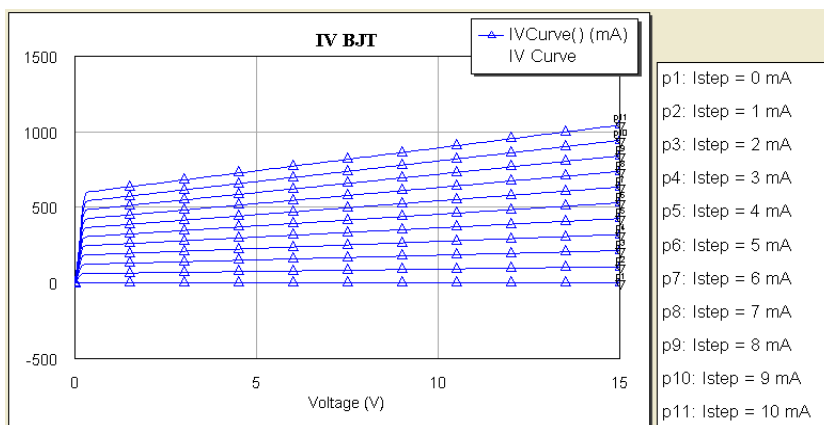


Рис. 4.5

Analyze на панели инструментов. Результат моделирования отображается на графике рис. 4.5.

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**.

4.1.6. Создание электрической цепи смещения.

Чтобы создать цепь смещения:

1. Откройте окно просмотра проекта. Установите курсор мышки на имя схемы **IV Curve** в окне просмотра проекта, нажмите левую кнопку мышки и, не отпуская кнопки, переместите курсор на **Circuit Schematics**, отпустите кнопку мышки. Или щёлкните по имени схемы и выберите **Duplicate Schematic**. Будет создана копия схемы с именем **IV Curve_1**.
2. Щёлкните правой кнопкой мышки по имени новой схемы и выберите **Rename Schematic**. В открывшемся окне введите имя **DC Bias** (Постоянный ток смещения) и нажмите **OK**.
3. В окне схемы **IV Curve** щёлкните левой кнопкой мышки по элементу **IVCURVE1**, чтобы выделить его. Нажмите клавишу **Delete**, чтобы удалить этот элемент.
4. Откройте окно просмотра элементов **Elements**.
5. 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. 4.6, и щёлкните левой кнопкой мышки, чтобы зафиксировать элемент.
6. Поместите курсор на узел 1 транзистора **GBJT** так, чтобы курсор отображался в виде солениода. Щёлкните левой кнопкой мышки, чтобы зафиксировать начало провода, перетащите курсор к правому узлу элемента **IND**, щёлкните левой кнопкой мышки, чтобы зафиксировать конец провода.
7. 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**.
8. Нажмите клавишу **Ctrl**, установите курсор на землю, нажмите левую клавишу мышки и сдвиньте землю куда-нибудь в сторону так, чтобы не было соединения земли с элементом **GBJT**. Отпустите кнопку мышки и клавишу. Если все-таки соединение проводом осталось, щёлкните по проводу и нажмите клавишу **Delete**.

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

- 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. 4.6, и щёлкните левой кнопкой мышки, чтобы зафиксировать элемент.

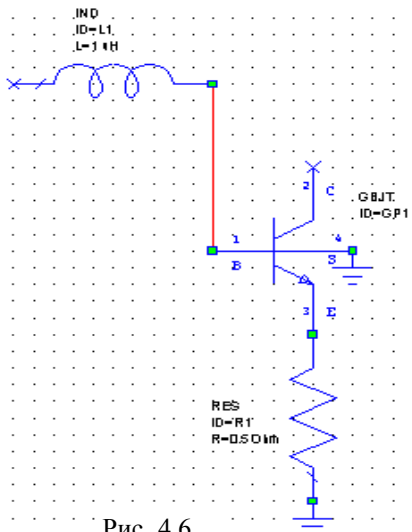


Рис. 4.6

- 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**.
- Установите курсор на элементе земли, нажмите левую кнопку мышки и подключите землю к нижнему узлу резистора **RES**, как показано на рис. 4.6.
- Щёлкните по значку **Ground** на панели инструментов и подключите землю к узлу **4** транзистора **GBJT**, как показано на рис. 4.6.
- 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. 4.7, и щёлкните левой кнопкой мышки, чтобы зафиксировать элемент.

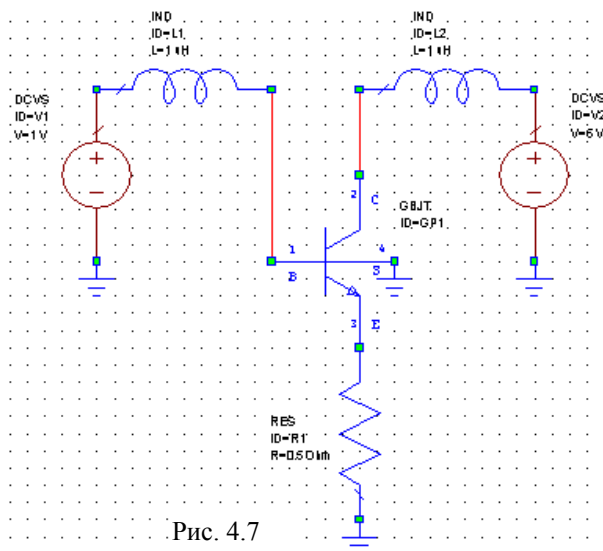


Рис. 4.7

- 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. 4.7, и щёлкните левой кнопкой мышки, чтобы зафиксировать.
- Дважды щёлкните левой кнопкой мышки по элементу **DCVC** в окне схемы. Откроется диалоговое окно

Element Options. Введите **1** в поле **Value** и нажмите **OK**.

- 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 **CBJT** и соедините с узлом **2** элемента **CBJT**, как показано на рис. 4.7.
- 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. 4.7.
- 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.

Заметим, что это не единственный способ создания схемы **DC Bias**. Можно было создать новую схему, щёлкнув по значку **Add New Schematic** на панели инструментов. Затем выделить элемент **CBJT** в схеме **IV Curve** и скопировать его в схему **DC Bias**, используя значки **Copy** и **Paste** на панели инструментов.

4.1.7. 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. Чтобы сделать это:

1. Щёлкните правой кнопкой мышки по имени схемы **DC Bias** в левом окне просмотра проекта и выберите **Add Annotation**. Откроется окно рис. 4.8. В области **Measurement** этого окна отметьте напряжение постоянного тока **DCVA_N** и нажмите **Apply**.
2. Затем отметьте в этой же области постоянный ток **DCIA** и нажмите **Apply**.
3. Нажмите **OK**.
4. Выберите в меню **Simulate>Analyze** или щёлкните по значку **Analyze** на панели инструментов.

После выполнения анализа схема будет выглядеть, как показано на рис. 4.9. Если поместить курсор на отображаемое напряжение или ток и нажать левую кнопку мышки, то эти отображения можно переместить в другое место схемы.

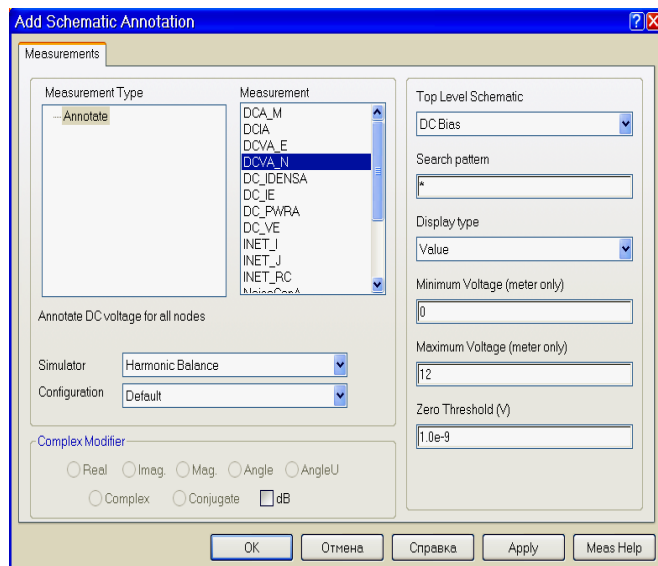


Рис. 4.8

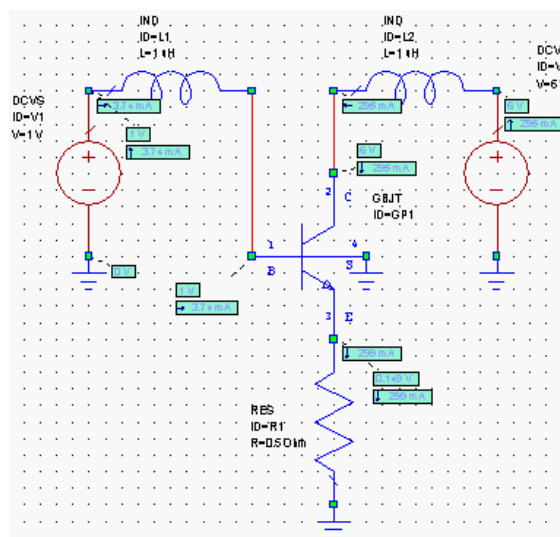


Рис. 4.9

Добавленные аннотации отображаются в окне просмотра проекта как подгруппы в схеме **DC Bias**. Любую аннотацию можно скрыть. Для этого щёлкните правой кнопкой мышки по имени аннотации в окне просмотра проекта и выберите **Toggle Enable**. Затем щёлкните по значку **Analyze** на панели инструментов. Чтобы вновь отобразить скрытую аннотацию, снова выберите **Toggle Enable** для этой аннотации и щёлкните по значку **Analyze** на панели инструментов.

Скрыть можно и все аннотации сразу. Для этого щёлкните правой кнопкой мышки по имени схемы **DC Bias** в окне просмотра проекта, выберите **Disable All Annotations** и щёлкните по значку **Analyze** на панели инструментов. Чтобы вновь отобразить скрытые аннотации, снова щёлкните правой кнопкой мышки по имени схемы в окне просмотра проекта, выберите **Enable All Annotations** и щёлкните по значку **Analyze** на панели инструментов.

Любую аннотацию можно удалить, если щёлкнуть правой кнопкой мышки по её имени в окне просмотра проекта и выбрать **Delete**.

4.1.8. 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.

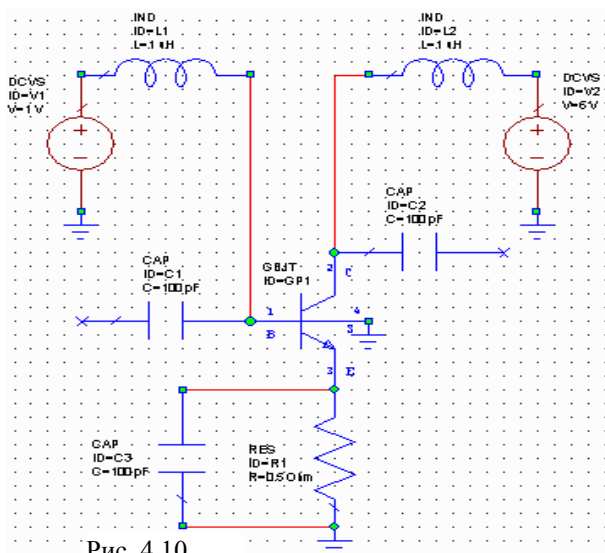


Рис. 4.10

2. Дважды щёлкните левой кнопкой мышки по группе **Lumped Element**, чтобы развернуть её. Щёлкните левой кнопкой мышки по подгруппе **Capacitor** в группе **Lumped Element**. Нажмите левой кнопкой мышки на модель **CAP** и перетащите её в окно схемы. Отпустите кнопку мышки, позиционируйте элемент на клемме 1 транзистора **GBJT**, как показано на рис. 4.10, 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 элемент.

ровать и вставить элемент. Подключите скопированный элемент к узлу **2** транзистора **GBJT**, как показано на рис. 4.10, и щёлкните левой кнопкой мышки, чтобы зафиксировать элемент.

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. 4.10.
6. Поместите курсор на верхней клемме элемента **CAP ID=C3**. Курсор должен отображаться в виде соленида. 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. Схема будет выглядеть, как показано на рис. 4.10.

4.1.9. Добавление порта гармонического баланса.

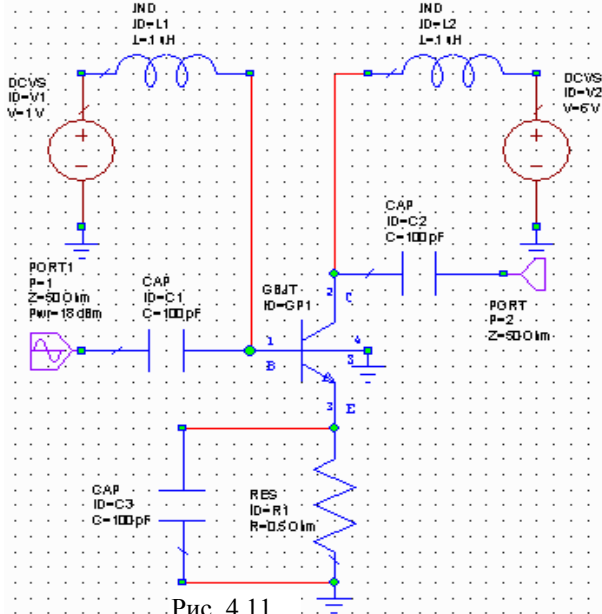


Рис. 4.11

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. 4.11, 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. 4.11, и щёлкните левой кнопкой мышки, чтобы зафиксировать порт.

4.1.10. Определение частот нелинейного моделирования.

Определить частоты для анализа можно несколькими способами:

1. Как глобальные частоты проекта, выбрав в меню **Options>Project Options** и в открывшемся окне опций проекта ввести нужные частоты на вкладке **Frequencies**.

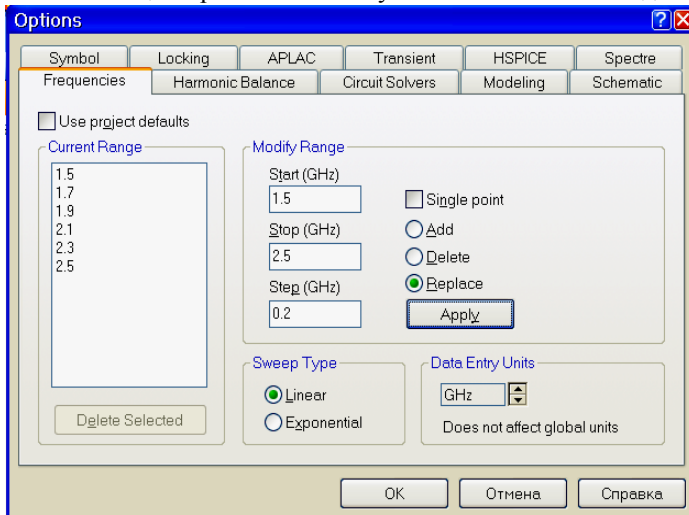


Рис. 4.12

2. Как локальные частоты, определённые только для данной схемы, щёлкнув правой мышкой по имени схемы в левом окне просмотра документа и выбрав **Options**.

3. Из левого окна просмотра элементов поместить в схему элемент **SWPFRQ**, который находится в группе **Simulation Control**.

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. 4.12).
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 нажмите **Apply** (Применить). Диапазон частот отображается в окне списка **Current Range** (см. рис. 4.12). Нажмите **OK**.

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

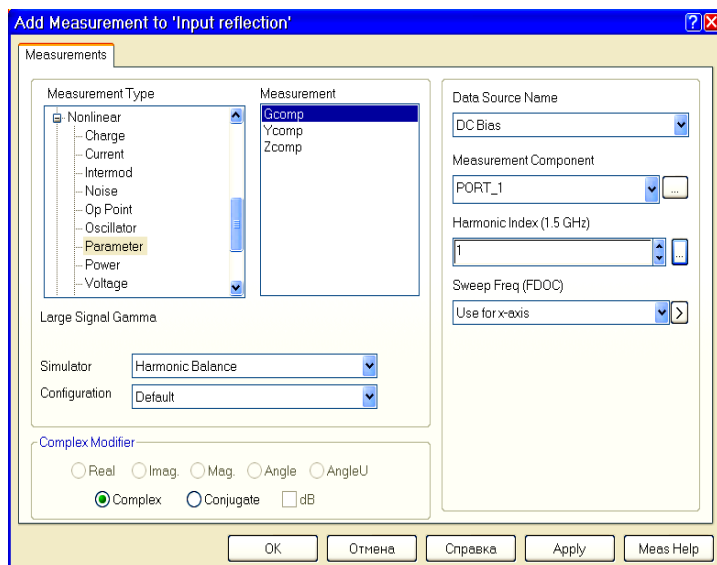


Рис. 4.13

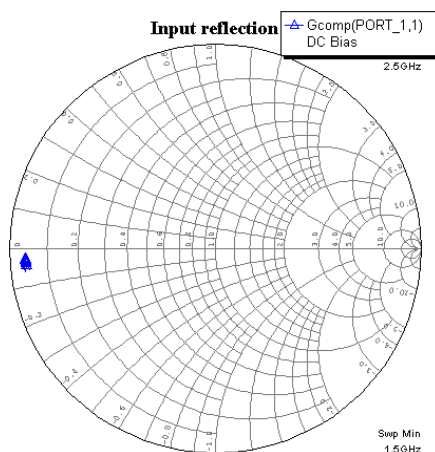


Рис. 4.14

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** и выберите **New Graph** (Добавить график). Откроется диалоговое окно **New Graph**.
2. Введите **Input reflection** (Коэффициент отражения по входу) в поле **Graph Name**, выберите **Smith Chart** (Диаграмма Смита) в области **Graph Type** и нажмите **OK**. Диаграмма будет отображена на рабочем поле.

Чтобы добавить измеряемую величину коэффициента отражения большого сигнала:

1. Щёлкните правой кнопкой мышки по имени графика **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. 4.13).
2. Раскройте группу **Nonlinear** в окне списка **Meas Type** (Тип измеряемых величин) и отметьте **Parameter**. Выберите **Gcomp** (Компонент отражённого сигнала) в окне списка **Measurement**. Выберите **DC Bias** в поле **Data Source Name**, выберите **PORT_1** в поле **Measurement Component** (Компонент измеряемой величины), введите **1** в поле **Harmonic Index** (Индекс гармоник), 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. 4.14.

4.1.12. Импортрование согласующих входной и выходной схем.

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

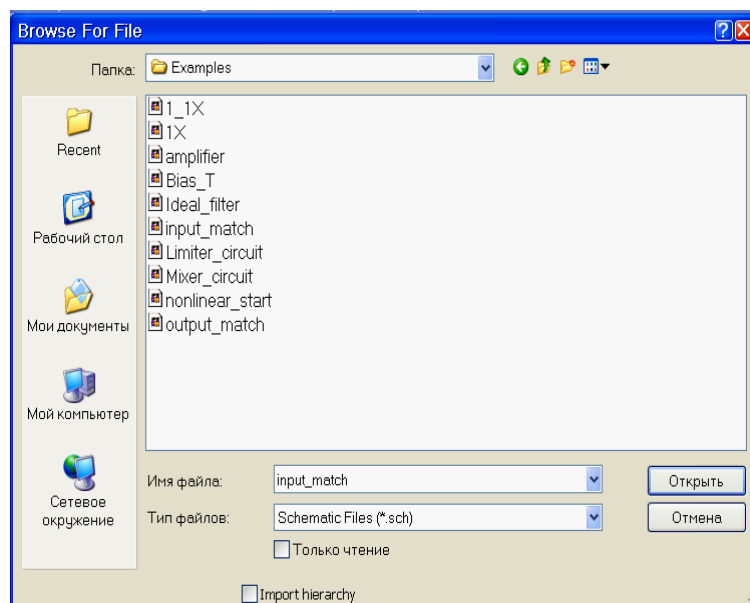


Рис. 4.15

1. Щёлкните правой кнопкой мышки по группе **Circuit Schematics** в окне просмотра проекта и выберите **Import Schematic** во всплывающем меню. Откроется диалоговое окно **Browse For File** (Рис. 4.15).
2. Щёлкните левой кнопкой мышки по кнопке справа от поля **Папка** и установите в этом поле папку **C:\Program Files\AWR\MWO2009\Examples**.
3. Щёлкните левой кнопкой мышки по файлу **input math** и нажмите кнопку **Открыть**. На рабочем поле будет отображена схема, показанная на рис. 4.16.

- 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. 4.17.

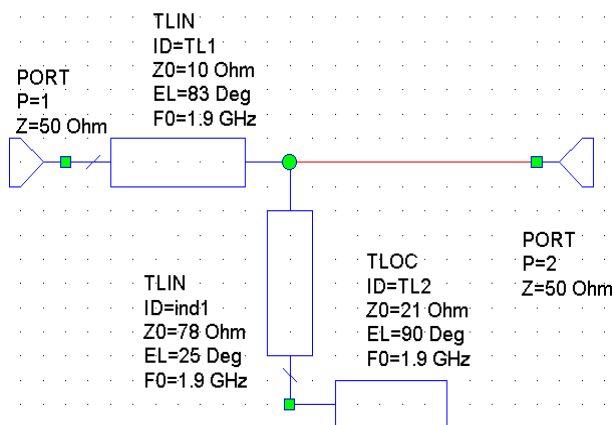


Рис. 4.16

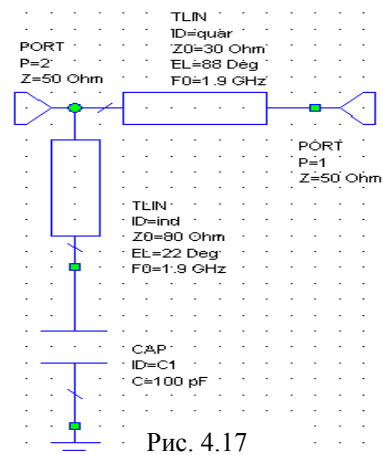


Рис. 4.17

4.1.13. 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:

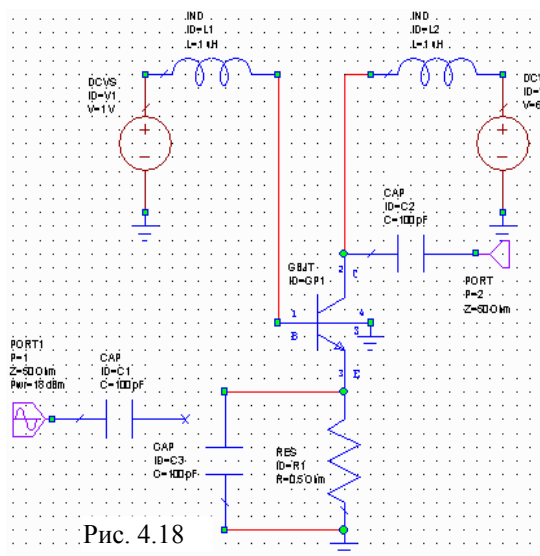


Рис. 4.18

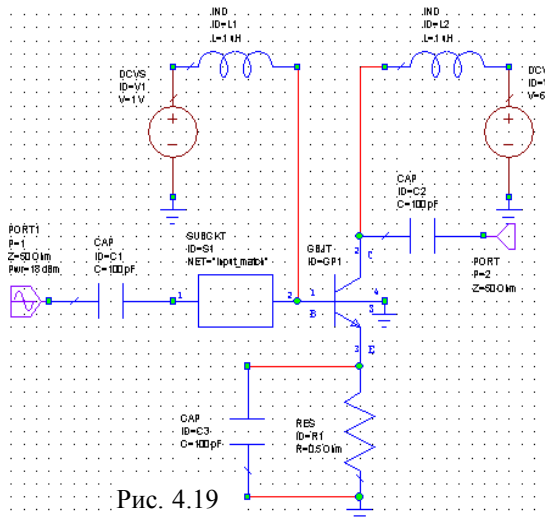


Рис. 4.19

- Нажмите левую кнопку мышки и подключите эти элементы к узлу **1** подсхемы **input match**, как показано на рис. 4.19.
- 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.

- В левом окне просмотра проекта в группе **Circuit Schematics** дважды щёлкните левой кнопкой мышки по подгруппе **DC Bias**, чтобы отобразить эту схему.
- 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 и **PORT1** и **CAP ID=C1** будут выделены.
- 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. 4.18.
- Нажмите на панель **Elements** в нижней части левого окна, чтобы открыть окно просмотра элементов.
- Щёлкните левой кнопкой мышки по группе **Subcircuit** (Подсхемы) в окне просмотра элементов. Доступные подсхемы будут отображены в нижней части левого окна.
- 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.
- 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. 4.19.

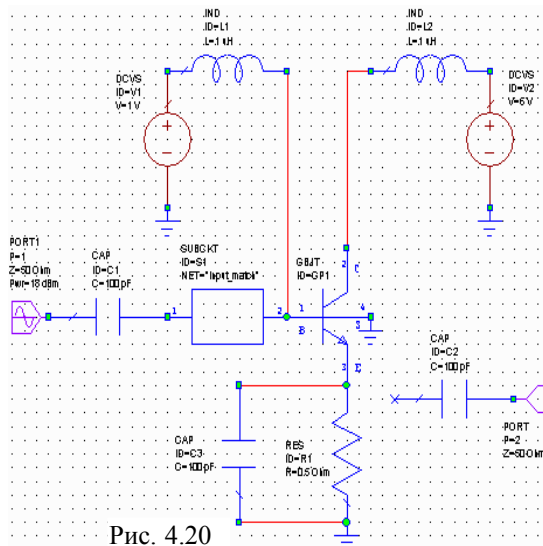


Рис. 4.20

9. Нажмите клавишу **Ctrl**. Нажмите выделенные элементы левой кнопкой мышки и, не отпуская кнопки мышки, перетащите их вправо и вниз от схемы, чтобы разорвать связь между **CAP ID=C2** и проводом, как показано на рис. 4.20.
10. Нажмите левой кнопкой мышки на подсхему **output match** и, не отпуская кнопки, перетащите её в окно 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 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 **out-**

put match, как показано на рис. 4.21.

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. 4.21.
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. 4.22.

4.1.14. Создание графика выходной мощности.

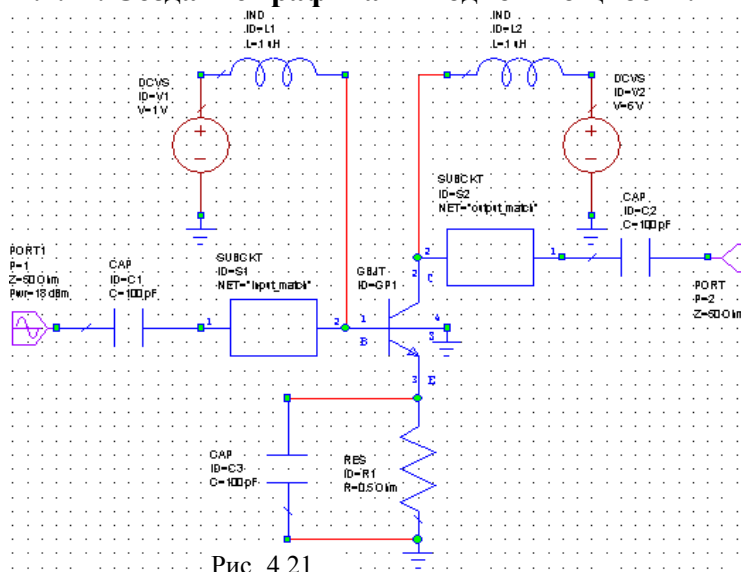


Рис. 4.21

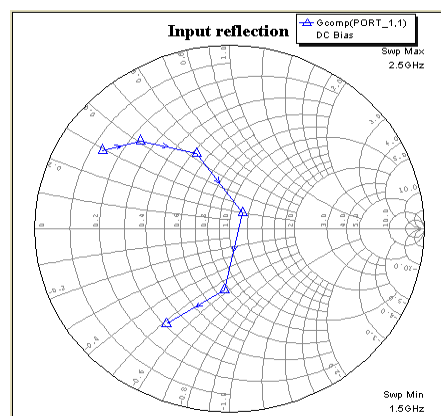


Рис. 4.22

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 **New Graph**. Откроется диалоговое окно **New 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. 4.23).
4. В области **Measurement 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. 4.23).
5. Выберите в меню **Simulate>Analyze**, или щёлкните по значку **Analyze** на панели инструментов. Результаты анализа отображаются на графике рис 4.24.

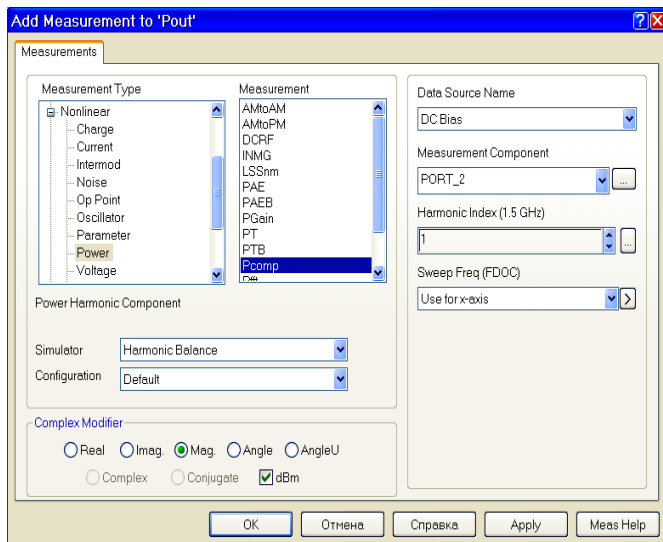


Рис. 4.23

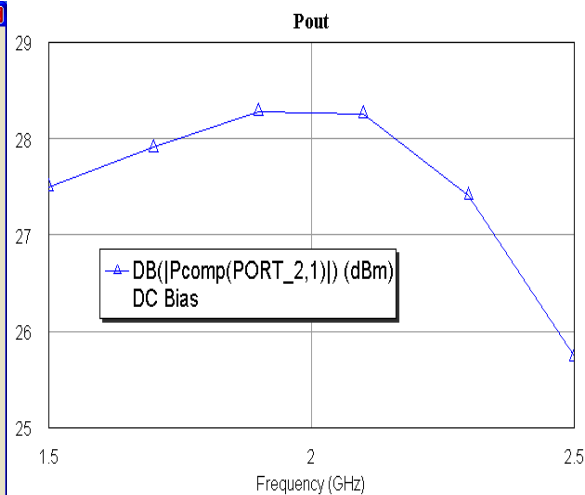


Рис. 4.24

4.1.15. Создание графика динамической нагрузки.

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

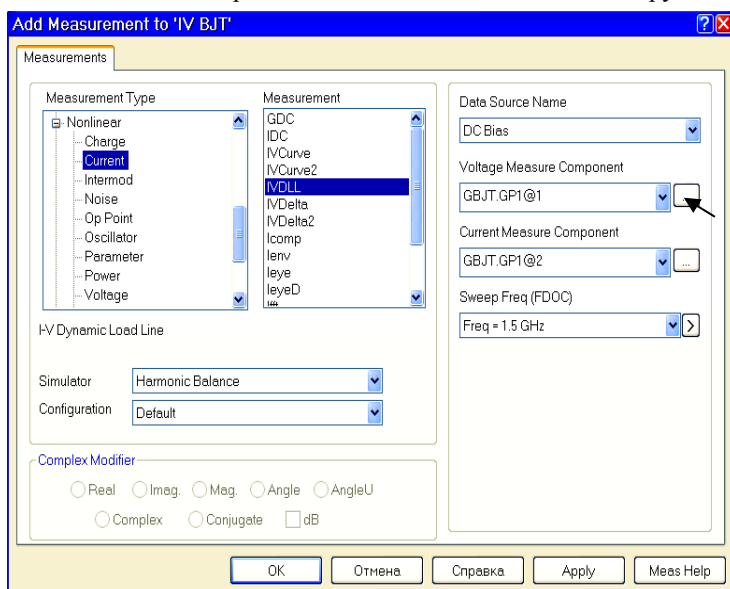


Рис. 4.25

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 имени графика **IV BJT** в группе **Graphs** в окне просмотра проекта и выберите **Add Measurement**. Или щёлкните правой кнопкой мышки в окне графика и выберите **Add New Measurement**. Откроется диалоговое окно **Add Measurement** (рис. 4.25).
3. Выберите **Nonlinear>Current** в области **Measurement Type**. В области **Measurement** отметьте

IVDLL. Теперь нужно изменить содержимое полей **Voltage Measure Component** и **Current Measure Component**. Щёлкните мышкой по кнопке "...", справа от поля **Voltage Measure Component** (на рис. 4.25 показана стрелкой). Откроется окно со схемой **DC Bias** (рис. 4.26). В списке в левом нижнем углу этого окна отметьте **GBJT.GP1@2** и нажмите **OK** в левом верхнем углу окна.

4. Аналогично введите это же значение **GBJT.GP1@2** в поле **Current Measure Component**.

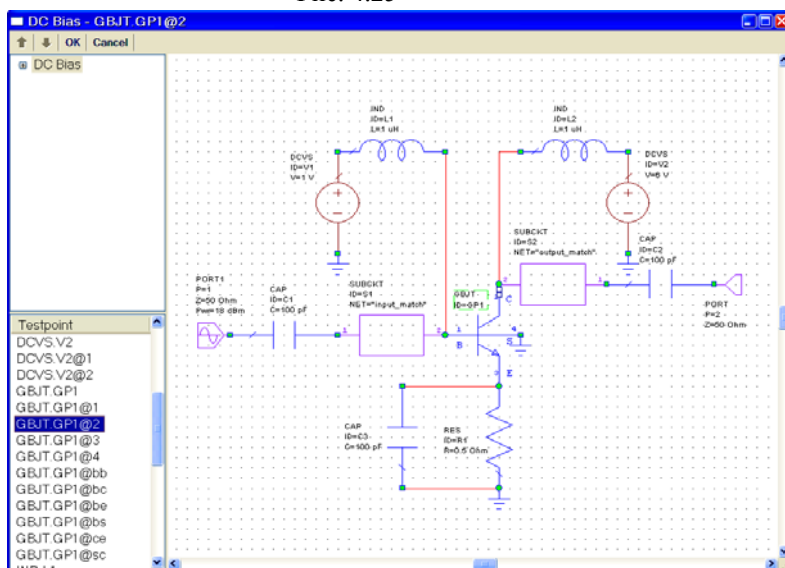


Рис. 4.26

5. В поле **Sweep Freq (FDOC)** введите **Freq=1.5 GHz** (рис. 4.25).

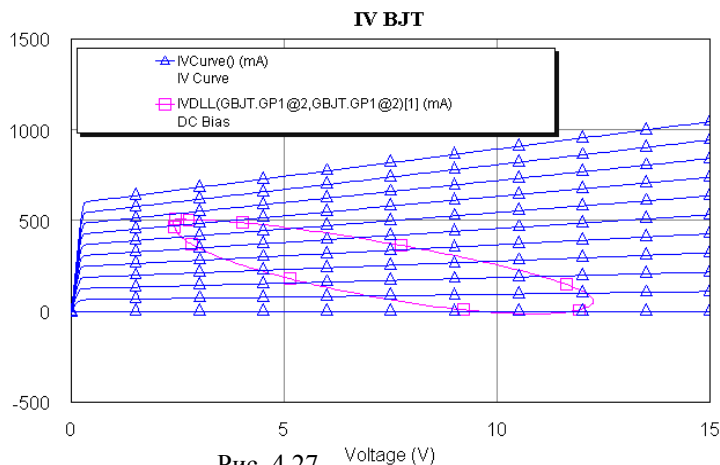


Рис. 4.27 Voltage (V)

1. Установите курсор на имя 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 **DC Bias_1**.
2. Щёлкните правой кнопкой мышки по имени скопированной схемы **DC Bias_1** в левом окне проекта и выберите **Rename Schematic** (Переименовать схему).
3. В открывшемся окне введите новое имя для скопированной схемы **Two Tone Amp** и нажмите **OK**.

4.1.17. Добавление двухчастотного порта гармонического баланса.

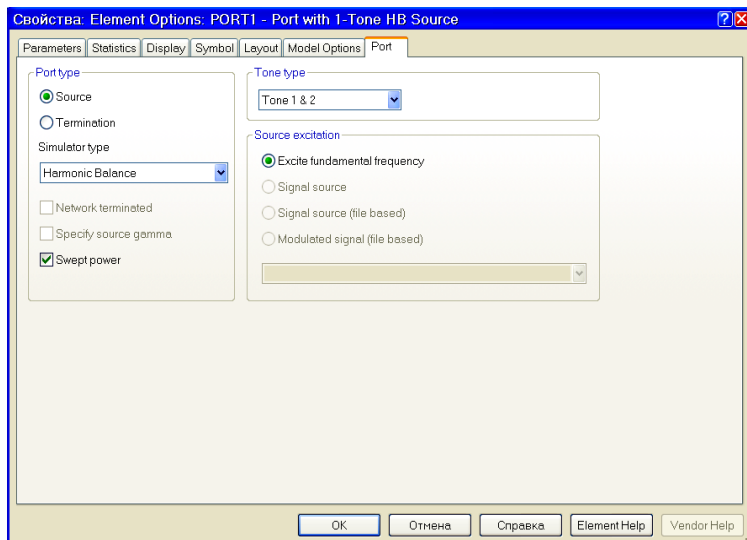


Рис. 4.28

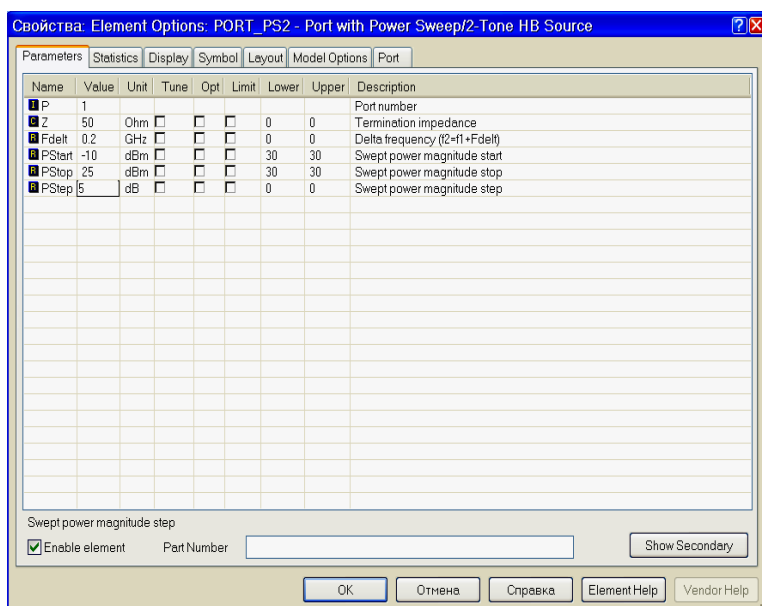


Рис. 4.29

6. Нажмите **Apply** и **OK**.
7. Выберите в меню **Simulate>Analyze** или щёлкните по значку **Analyze** на панели инструментов. Результаты анализа отображаются на графике рис 4.27.

4.1.16. 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 **Microwave Office** создавать копии схем.

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. 4.28).
2. Откройте вкладку **Port** диалогового окна, щёлкнув мышкой по вкладке **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. 4.29. Затем нажмите **OK**.

4.1.18. Добавление измеряемой величины третьей составляющей интермодуляции.

Чтобы добавить измеряемую величину третьей составляющей интермодуляции:

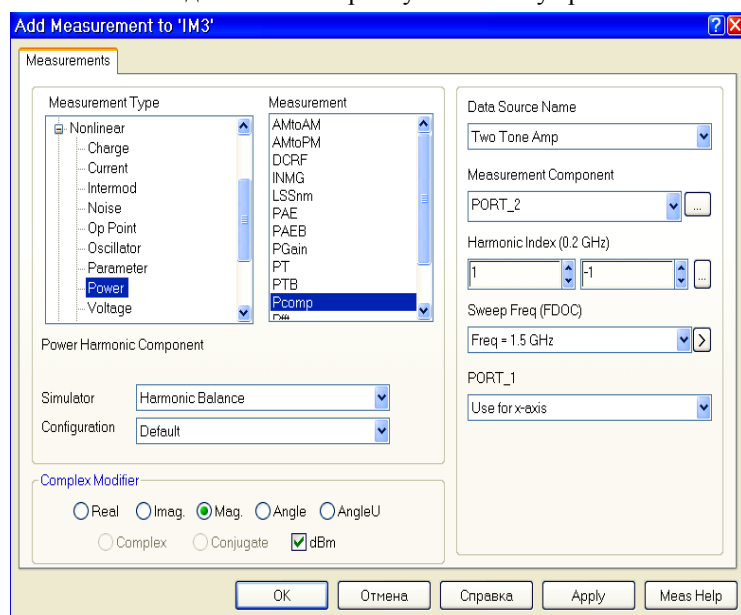


Рис. 4.30

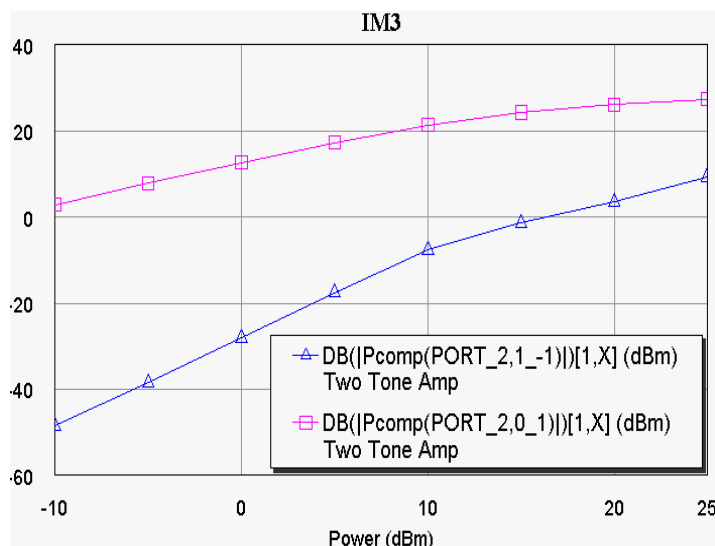


Рис. 4.31

рументов. Результаты отображаются на графике рис. 4.31.

1. Сначала создайте график. Для этого в левом окне просмотра проекта щёлкните правой кнопкой мышки по группе **Graphs** и выберите **New Graph**, или щёлкните левой кнопкой мышки по значку **Add New Graph** на панели инструментов. Откроется диалоговое окно **New 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 4.30).
4. Выберите **Nonlinear>Power** в области **Measurement 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-

4.2. 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.

4.2.1. 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**.

4.2.2. 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. 4.32.

- 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.4.33.
- Нажмите **OK**.

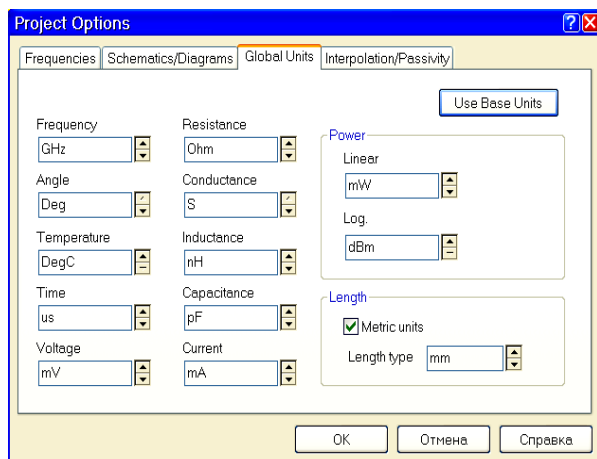


Рис. 4.32

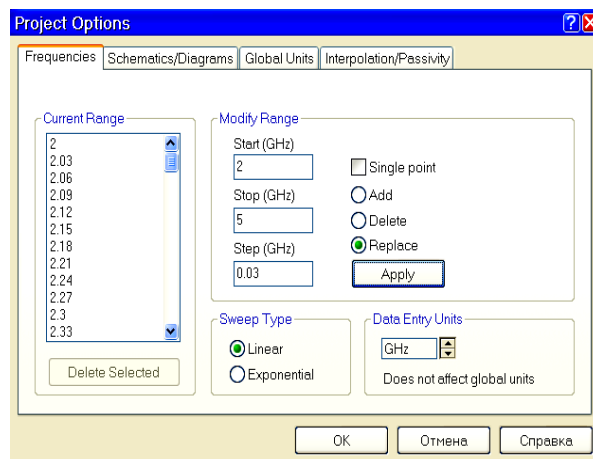


Рис. 4.33

4.2.3. 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.

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

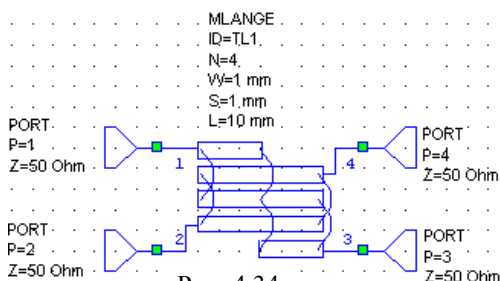


Рис. 4.34

- Щёлкните мышкой по значку **Add New Schematic** на панели инструментов и создайте схему с именем **Lange Coupler**.
- В окне просмотра элементов раскройте группу **Microstrip** и щёлкните мышкой по подгруппе **PwrDivider**.
- Перетащите в окно схемы элемент **MLANGE** в окно схемы и щёлкните левой кнопкой мышки, чтобы закрепить его.
- 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. 4.34.
- Щёлкните мышкой по значку **Tune Tool** на панели инструментов и, щёлкая мышкой, назначьте параметры **W**, **S** и **L** элемента **MLANGE** для настройки.
- Щёлкните мышкой по значку **Add New Graph** на панели инструментов и создайте прямоугольный график с именем **Lange Coupler S Parameters**.
- Откройте окно просмотра проекта, щёлкнув мышкой по панели **Project** в левой нижней части окна.
- Щёлкните правой кнопкой мышки по имени созданного графика в окне просмотра проекта и выберите **Add Measurement**.
- В открывшемся окне в области **Measurement 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**.
- Нажмите **OK**.
- Щёлкните по значку **Analyze** на панели инструментов.
- 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 графика. 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. Установите курсор на ромбик посередине верхней стороны и сдвиньте эту сторону вниз так, чтобы измеряемые величины размещались в одной строке. Поместите полученный новый прямоугольник над графиком и щёлкните по значку **View All** на панели инструментов.

- Щёлкните по значку **Tune** на панели инструментов и, двигая движки переменных на блоке настройки, добейтесь нужной характеристики (рис. 4.35). Щёлкните по кнопке **Sweep**, закройте блок настройки и, щёлкнув мышкой по значку **Tune Tool** на панели инструментов, отмените настройку для переменных **W**, **S** и **L** элемента **MLANGE**.

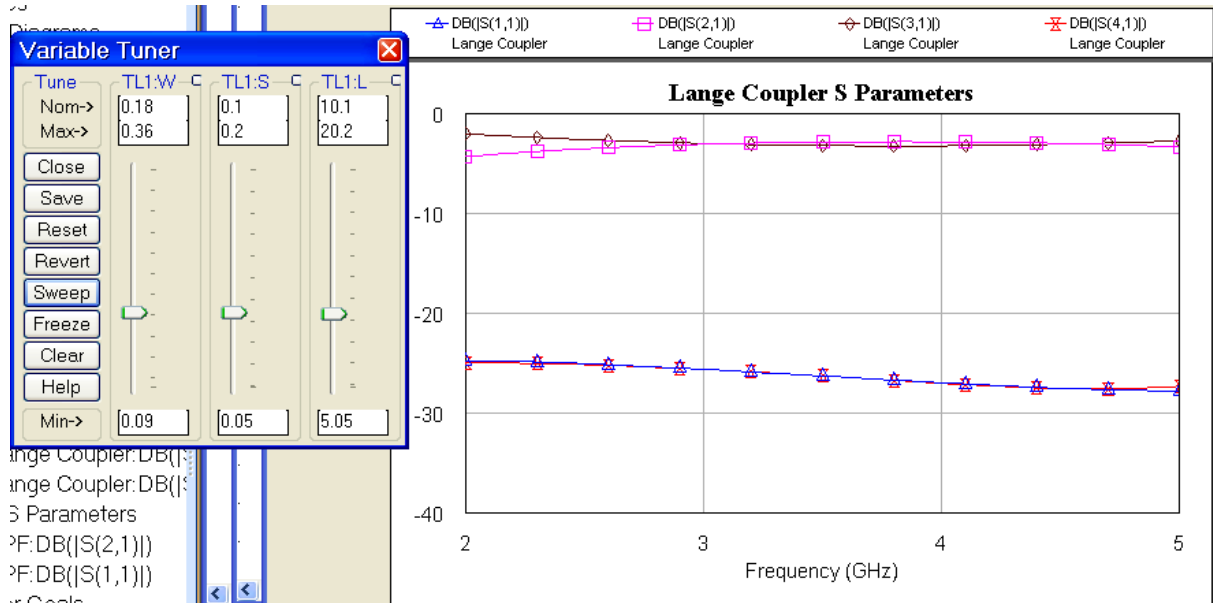


Рис. 4.35

4.2.4. Создание эквивалентной схемы диода.

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

- Щёлкните по значку **Add New Schematic** на панели инструментов и создайте схему с именем **Diode**.
- Откройте окно просмотра элементов, раскройте группу **Lumped Element** и щёлкните мышкой по подгруппе **Inductor**.
- Перетащите элемент **IND** в окно схемы и щёлкните левой кнопкой мышки, чтобы закрепить его.
- Два раза повторите п. 3, подключая элементы последовательно.

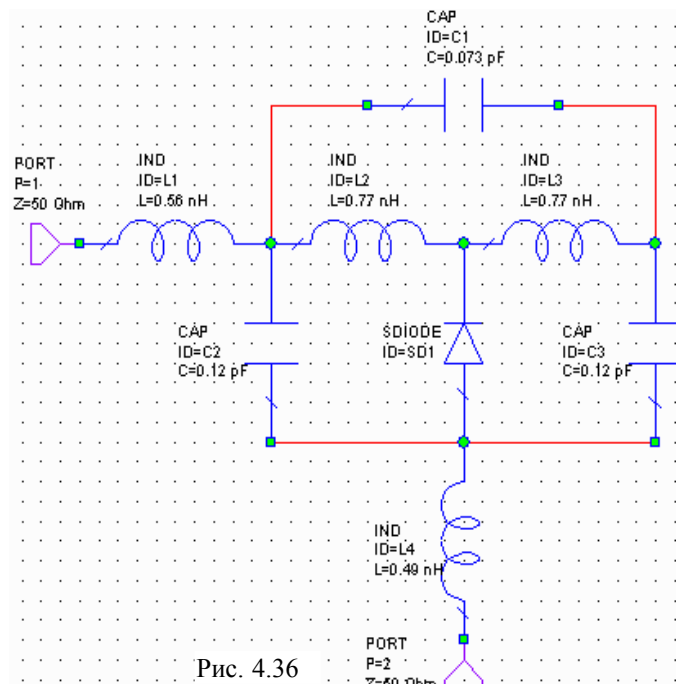


Рис. 4.36

- Раскройте группу **Nonlinear** и щёлкните мышкой по подгруппе **Diode**.
- Перетащите элемент **SDIODE** в окно схемы, щёлкните правой кнопкой мышки, чтобы развернуть 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.
- 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.
12. 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.
13. Таким же образом соедините проводом нижние выводы двух параллельных конденсаторов и диода.
14. 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. 4.36.
15. Дважды щёлкая по элементам индуктивностей и емкостей, отредактируйте их параметры, как показано на рис. 4.36.

4.2.5. Создание схемы фильтра нижних частот.

1. Щёлкните по значку **Add New Schematic** на панели инструментов и создайте схему с именем **LPF**.
2. Откройте окно просмотра элементов, раскройте группу **Microstrip** и щёлкните мышкой по подгруппе **Lines**.
3. Перетащите элемент **MLIN** в окно схемы и щёлкните левой кнопкой мышки, чтобы закрепить его.
4. Раскройте группу **Lumped Element** и щёлкните мышкой по подгруппе **Inductor**.
5. Перетащите элемент **IND** в окно схемы и подключите его к правому выводу элемента **MLIN**.
6. Повторите п. 5 и подключите второй элемент **IND** к правому выводу первого элемента.
7. Щёлкните мышкой по подгруппе **Capacitor**, перетащите элемент **CAP** в окно схемы и подключите этот элемент к правому выводу второго элемента **IND**.
8. 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**.
9. 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**.
10. 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.
11. Щёлкните по значку **Ground** на панели инструментов, переместите курсор в окно схемы и подключите к проводу, соединяющему ёмкости **C2** и **C3**.
12. Щёлкните по значку **Port** на панели инструментов, переместите курсор в окно схемы, подключите порт ко входу схемы и щёлкните левой кнопкой мышки, чтобы зафиксировать.
13. 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.
14. Дважды щёлкая по элементам схемы, отредактируйте их параметры, как показано на рис. 4.37.

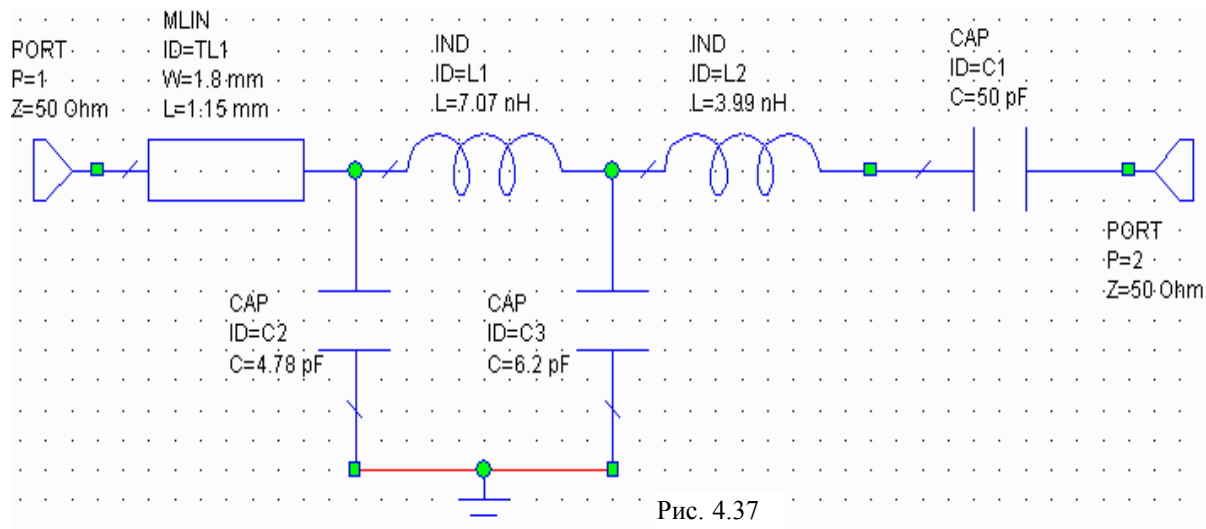


Рис. 4.37

4.2.6. 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 **Add 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 New Measurement** на панели инструментов. Откроется диалоговое окно **Add Measurement**.
4. В окне списка **Measurement 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 **Mag** и **dB**, нажмите

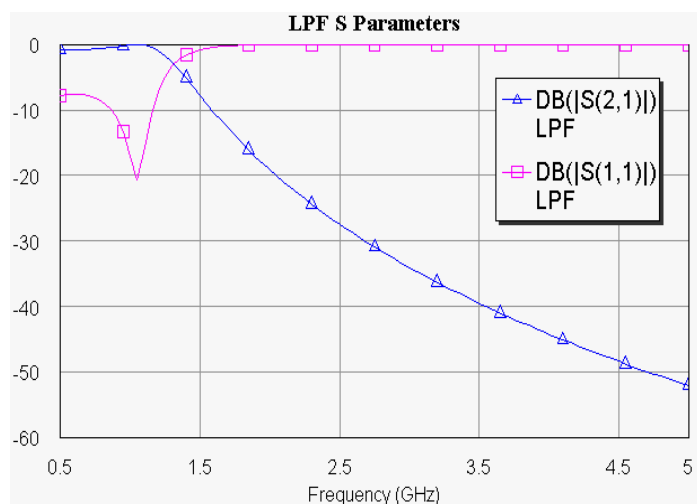


Рис. 4.38

- Apply.
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. 4. 38.

4.2.7. Создание схемы смесителя.

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

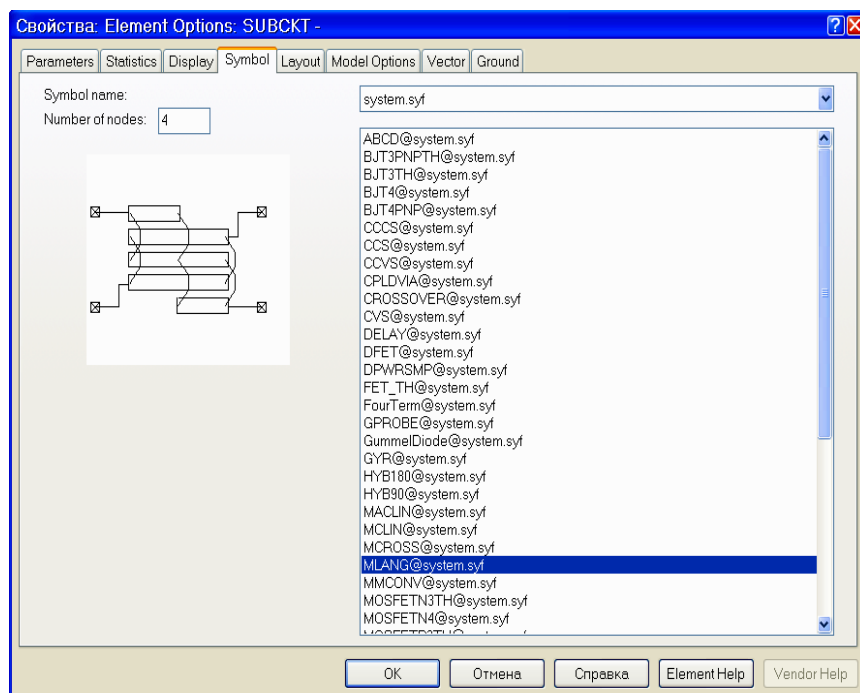


Рис. 4.39

в окне схемы и в открывшемся окне свойств элемента откройте вкладку **Symbol**. В правой верхней строке ввода введите **all** или **system.syf**. В правом окне списка символов отметьте **MLANG@system.syf** (рис. 4.39) и нажмите **OK**.

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

1. Щёлкните по значку **Add 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** и щёлкните левой кнопкой мышки. По умолчанию все подсхемы отображаются в виде прямоугольника. Можно изменить вид подсхемы, чтобы он был более наглядным. Для этого дважды щёлкните по элементу **Lange Coupler**

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. 4.40.

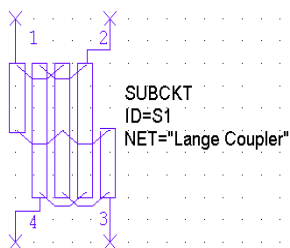


Рис. 4.40

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 в окне свойств элемента на вкладке **Parameters** 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 введите **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 на вкладке **Parameters** 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.

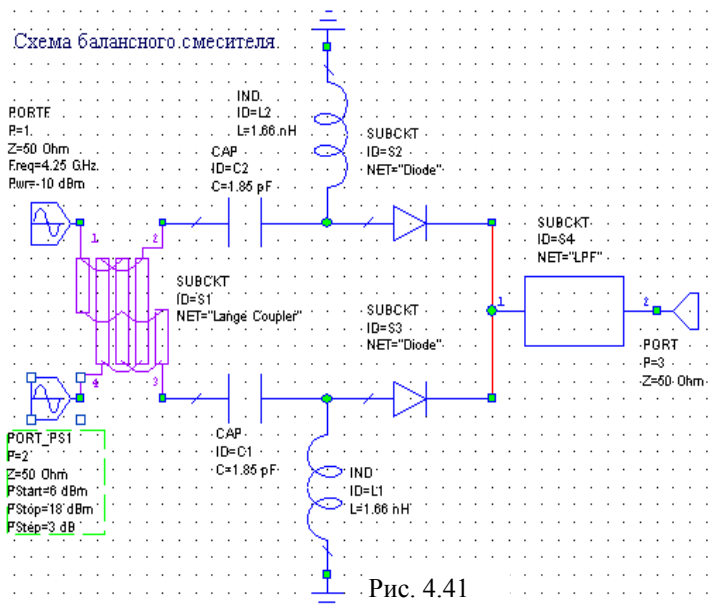


Рис. 4.41

21. При желании вы можете дополнить схему поясняющим текстом. Выберите в меню **Draw>Add 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.
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. 4.41.

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**.

4.2.8. Создание графика потерь преобразования.

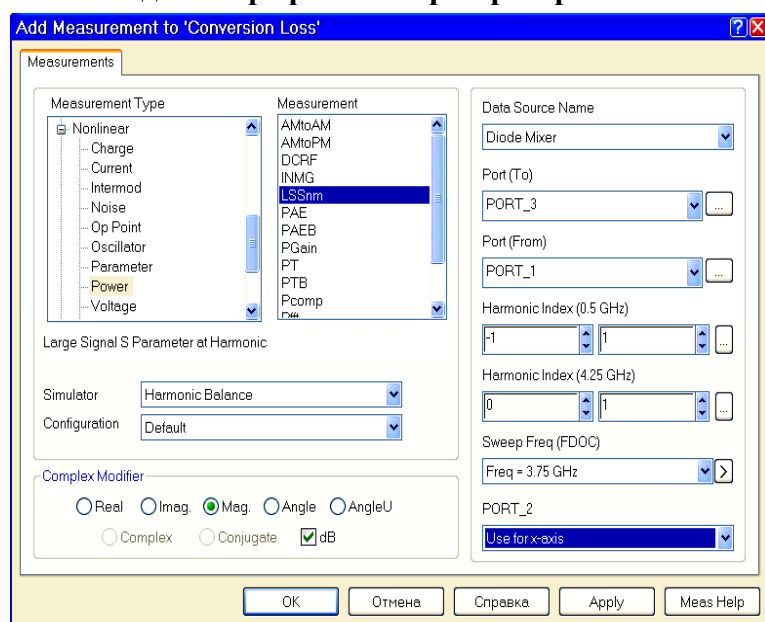


Рис. 4.42

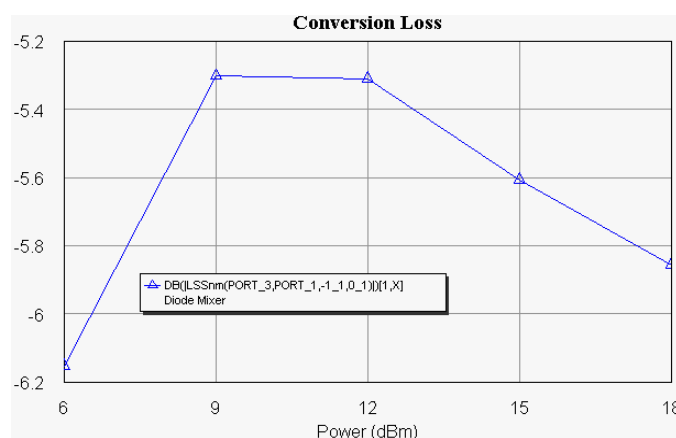


Рис. 4.43

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

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

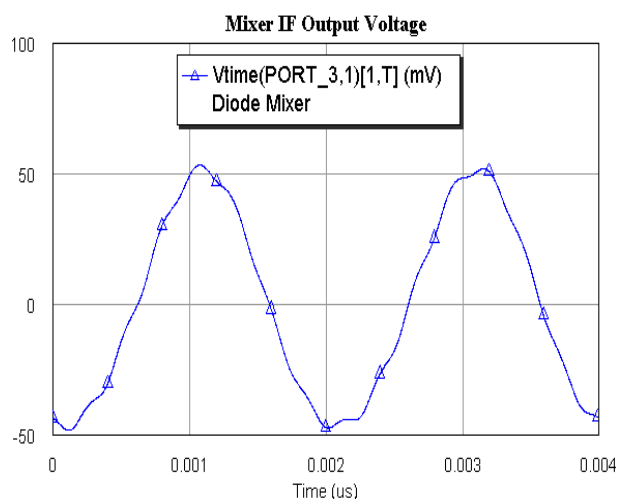


Рис. 4.44

1. Щёлкните левой кнопкой мышки по значку **Add New Graph** на панели инструментов и создайте прямоугольный график с именем **Conversion Loss**.
2. Щёлкните левой кнопкой мышки по значку **Add Measurement** на панели инструментов. Откроется диалоговое окно **Add Measurement** (Рис.4.42).
3. В окне списка **Measurement 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**.
4. Щёлкните левой кнопкой мышки по значку **Analyze** на панели инструментов. Рассчитанный график показан на рис. 4.43.

2. Щёлкните левой кнопкой мышки по значку **Add New Measurement** на панели инструментов. Откроется диалоговое окно **Add Measurement**.

3. В окне списка **Measurement Type** отметьте **Nonlinear>Voltage**, в окне списка **Measurement** отметьте **Vtime**, в поле ввода **Data Source Name** введите **Diode Mixer**, в поле ввода **Measurement Component** введите **PORT_3**, в поле ввода **Offset** введите **None**, в поле ввода **Sweep Freq (FDOC)** введите **Freq=3.75 GHz**, в поле **PORT_2** введите **Select with tuner**, чтобы сразу подключить настройку, нажмите **Apply** и **OK**.

4. Щёлкните левой кнопкой мышки по значку **Analyze** на панели инструментов. Рассчитанный график показан на рис. 4.44.

- 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**.

4.2.9. Спектральный анализ.

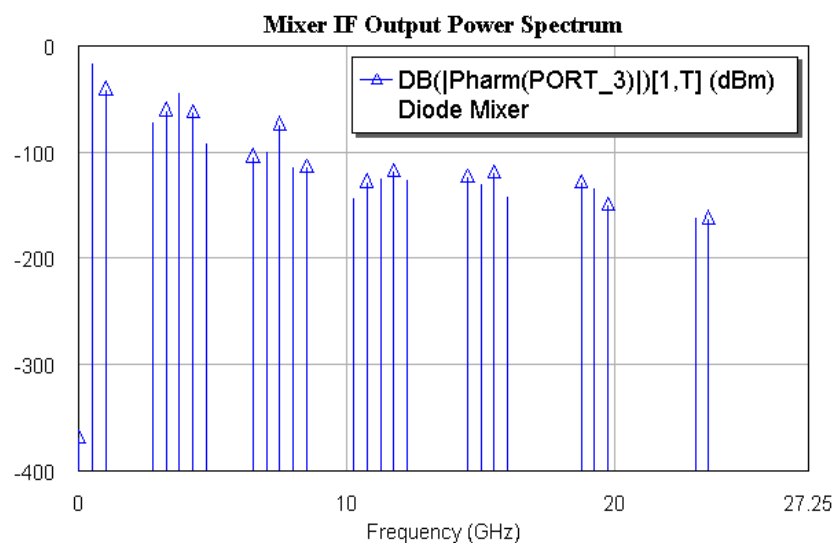


Рис. 4.45

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. 4.45.
- 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**.

- Щёлкните левой кнопкой мышки по значку **Add New Graph** на панели инструментов и создайте прямоугольный график с именем **Mixer IF Output Power Spectrum**.
- Щёлкните по значку **Add New Measurement** на панели инструментов.
- В окне списка **Measurement Type** отметьте **Nonlinear>Power**, в окне списка **Measurement** отметьте **Pharm**, в поле ввода **Data Source Name** введите **Diode Mixer**, в поле ввода

5. 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 (MMIC) 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.

Чтобы создать новый проект:

1. Выберите в меню **File>New Project**.
2. Выберите в меню **File>Save Project As**. Откроется диалоговое окно **Save As**.
3. Наберите имя проекта **Layout** и нажмите **Сохранить**.

5.1. 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**.

5.2. Импортирование файла слоя.

Файл оформления слоя (LPF – Layer Process File) определяет установки по умолчанию для представления топологии, включая рисунок слоёв, соединения между слоями, информацию о 3-х мерном отображении топологии и отображении электромагнитных структур. Чтобы импортировать файл *.lpf:

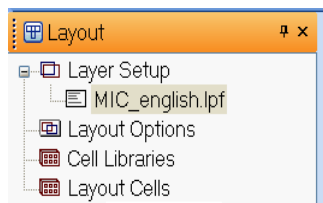


Рис. 5.1

1. Щёлкните левой кнопкой мышки по панели **Layout** (Топология) в нижней части левого окна, чтобы открыть менеджер топологии (Layout Manager).
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\\AWR2009 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. 5.1. В нижней части окна менеджера топологии отображаются слои черчения в том случае, если на рабочем поле открыто окно схемы.

5.3. 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.

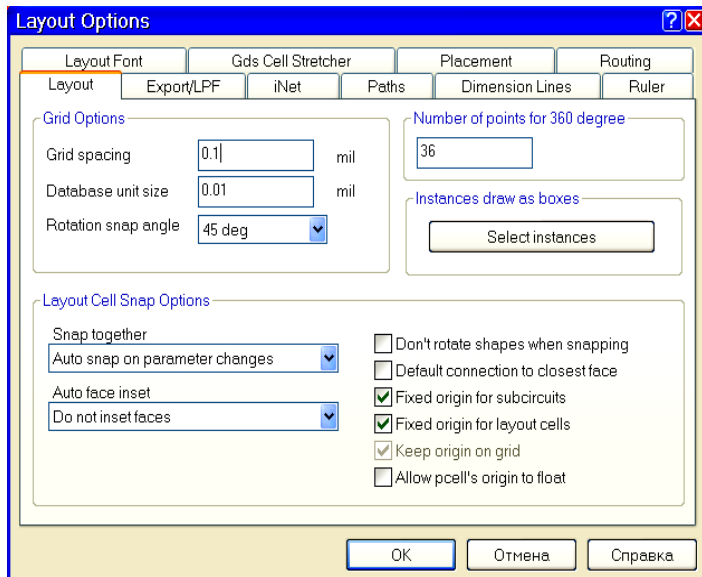


Рис. 5.2

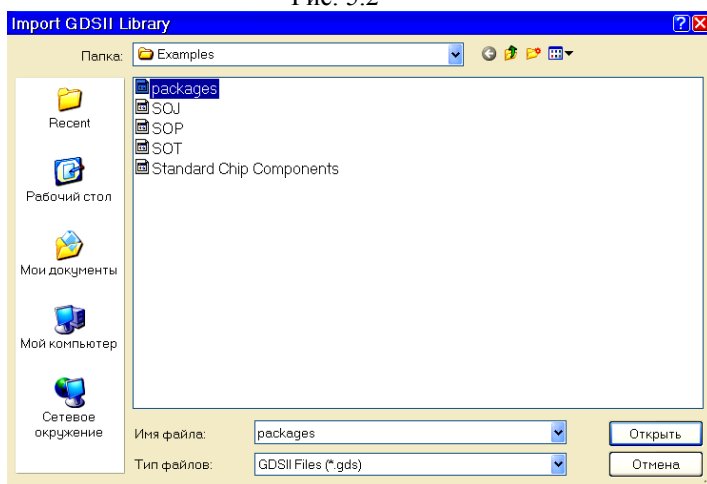


Рис. 5.3

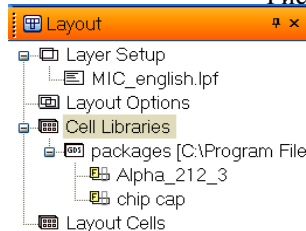


Рис. 5.4

кой мышкой по файлу **packages.gds**, чтобы импортировать этот файл.

3. Если откроется окно предупреждений, нажмите **OK**. Импортированная библиотека будет отображена в окне менеджера топологии, как показано на рис. 5.4.

5.5. Импортирование файла данных.

Чтобы импортировать файл данных:

1. Щелкните мышкой по **Project** в нижней части левого окна.

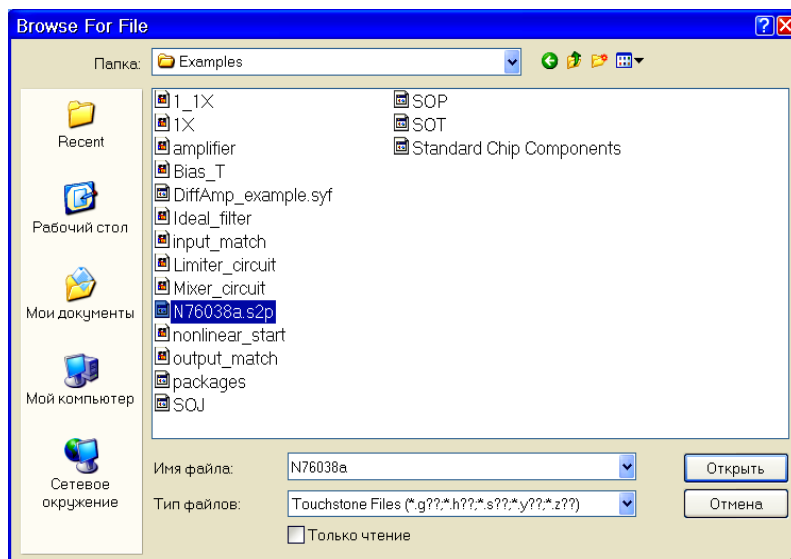


Рис. 5.5

2. В открывшемся окне опций топологии на вкладке **Layout** (рис. 5.2) в поле **Grid spacing** (Интервал сетки) введите **0.1 mil**, в поле **Database unit size** (Размер базовой единицы измерения) введите **0.01 mil**. В поле **Snap together** введите **Auto snap on parameter changes** (Автопривязка при изменении параметра). Нажмите **OK**.

5.4. Импортирование библиотеки элементов GDSII.

Библиотеки элементов топологии 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 схем (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. 5.3).

2. Откройте папку **... \AWR \AWR2009 \Examples** и дважды щёлкните левой кнопкой мышки по файлу **packages.gds**, чтобы импортировать этот файл.

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. 5.5).

3. Откройте папку **... \AWR \AWR2009 \Examples** и дважды щёлкните по файлу **N76038a.s2p**, чтобы импортировать его. Или выделите этот файл и нажмите кнопку **Открыть**.

5.6. 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 **Add New Schematic** на панели инструментов.
2. В открывшемся окне введите имя схемы **qs layout** и нажмите **OK**.

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

Как только вы импортировали файл данных, он появляется в группе **Data Files** в окне просмотра проекта

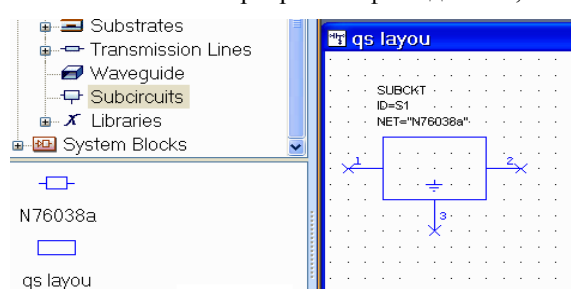


Рис. 5.6

и как элемент подсхемы **Subcircuits** в окне просмотра элементов, как показано на рис. 5.6. 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, которая 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:

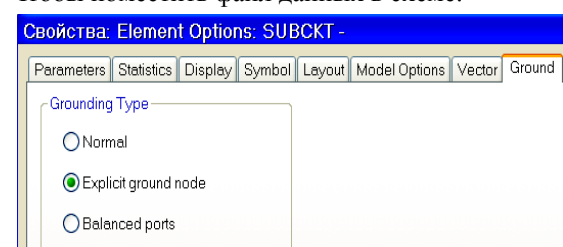


Рис. 5.7

1. Щёлкните мышкой по панели **Elements** в нижней части левого окна, чтобы открыть окно просмотра элементов.
2. Щёлкните левой кнопкой мышки по группе **Subcircuits** (Подсхемы). Модели подсхем отображаются в нижней части левого окна.
3. Нажмите левой кнопкой мышки на модель **N76038a** и, не отпуская кнопки мышки, перетяните 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**.

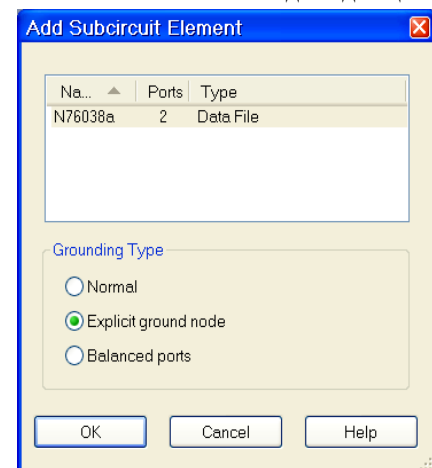


Рис. 5.8

5. В открывшемся окне свойств элемента откройте вкладку **Ground** (рис. 5.7). В области **Grounding Type** отметьте **Explicit ground node** и нажмите **OK**. Элемент подсхемы будет выглядеть, как показано на рис. 5.6.

Второй способ, возможно, более удобный, поскольку не требуется переходить в окно просмотра элементов, заключается в следующем:

1. Щёлкните левой кнопкой мышки по значку **SUB** на панели инструментов.
2. Откроется окно **Add Subcircuit Element** со списком всех имеющихся в проекте подсхем (рис. 5.8).
3. Отметьте **N76038a** в списке подсхем, затем отметьте **Explicit ground node** и нажмите **OK**. Результат будет таким же, как показано на рис. 5.6.

5.8. Замена символа элемента.

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

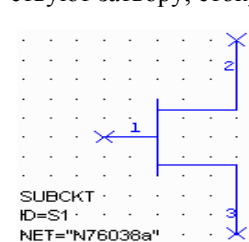


Рис. 5.9

1. Дважды щёлкните левой кнопкой мышки по элементу подсхемы в окне схемы. Откроется диалоговое окно **Element Options**.
2. 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. 5.9.

5.9. 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:

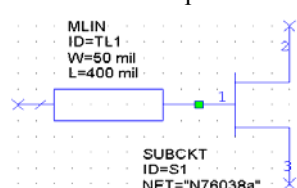


Рис. 5.10

1. Дважды щёлкните левой кнопкой мышки по подгруппе **Microstrip** в окне просмотра элементов.
2. Щёлкните левой кнопкой мышки по подгруппе **Lines**. Модели линий отображаются в нижней части левого окна.
3. Нажмите левой кнопкой мышки на модель **MLIN** и, не отпуская кнопки мышки, перетащите элемент в окно схемы, поместите элемент на узел **1** подсхемы **N76038a** и щёлкните левой кнопкой мышки, чтобы зафиксировать его (Рис.5.10).

4. Теперь щёлкните левой кнопкой мышки по подгруппе **Junctions** (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.

5. 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. 5.11 и щёлкните левой кнопкой мышки, чтобы зафиксировать его.

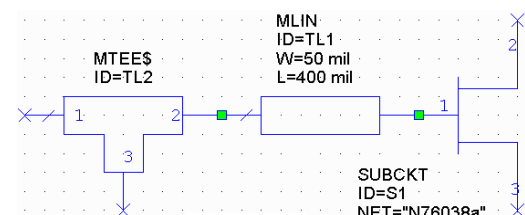


Рис. 5.11

6. 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.
7. 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. 5.12).

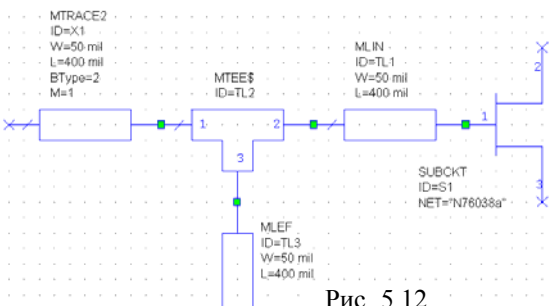


Рис. 5.12

параметры следующим образом. Для элемента **MLIN** введите **W=10 mil, L=100 mil**. Для элемента **MLEF** введите **W=20 mil, L=150 mil**.

10. Щёлкните левой кнопкой мышки по подгруппе **Substrates** (Подложки) в окне просмотра элементов. Модели подложек отображаются в нижней части левого окна.

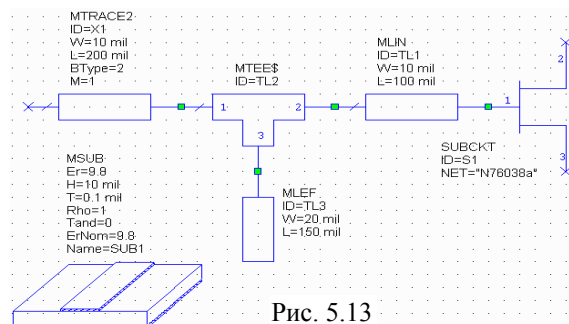


Рис. 5.13

11. 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.5.13 и щёлкните левой кнопкой мышки, чтобы зафиксировать.
12. 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 **Port** на панели инструментов, переместите курсор в окно схемы, поместите порт на левом узле элемента **MTRACE**, как показано на рис. 5.14 и щёлкните левой кнопкой мышки, чтобы зафиксировать.

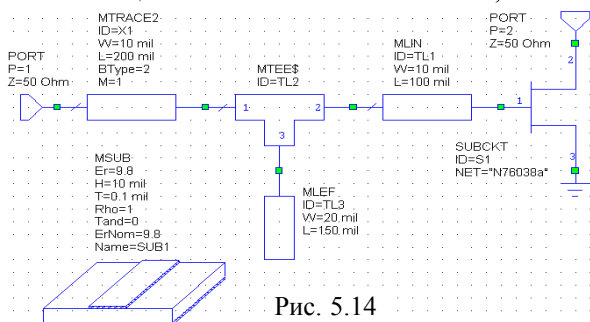


Рис. 5.14

- Снова щёлкните левой кнопкой мышки по значку **Port** на панели инструментов, переместите курсор в окно схемы, щёлкните три раза правой кнопкой мышки, чтобы разvernуть 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. 5.14).

5.10. Назначение топологического чертежа ячейки элементу схемы.

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

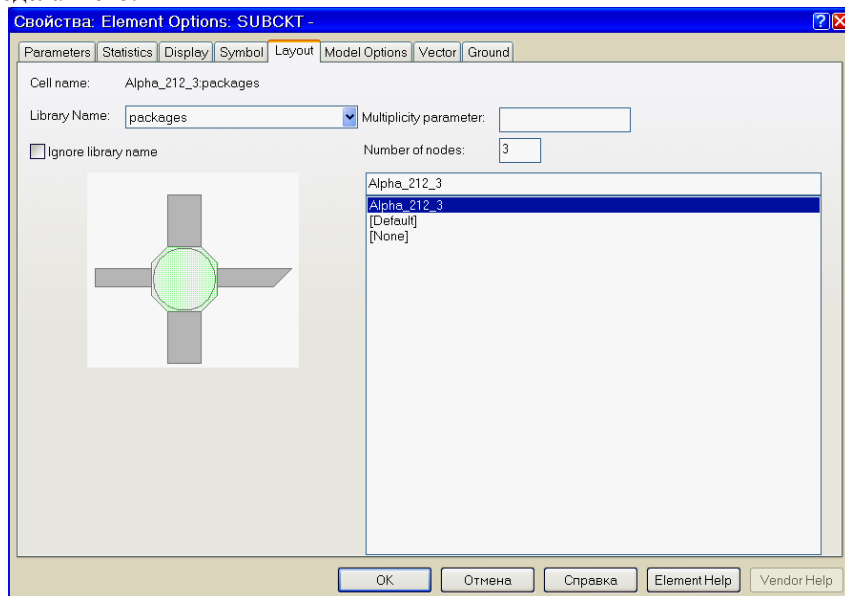


Рис. 5.15

- Дважды щёлкните по элементу **N76038a** в окне схемы, чтобы открыть диалоговое окно **Element Options**.
- Откройте вкладку **Layout** этого окна (рис. 5.15).
- 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**.

5.11. Просмотр топологии.

Чтобы просмотреть топологию:

- При активном окне схемы выберите в меню **View>View Layout** или щёлкните левой кнопкой мышки по значку **View Layout** на панели инструментов. Топология будет показана в окне топологии на рабочем поле. Она может отображаться в беспорядочном виде, где правильные соединения отдельных топологических элементов показаны красными линиями. В

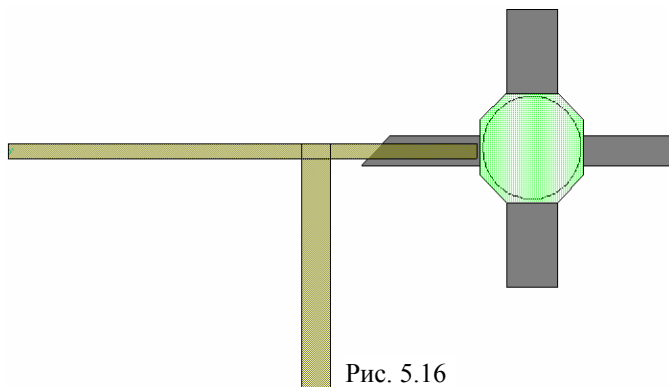


Рис. 5.16

- в таком случае сделайте следующее:
- 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.
- Выберите в меню **Edit>Snap Together** (Редактировать>Связать вместе) или щёлкните по значку

Snap Together на панели инструментов, чтобы связать вместе все элементы топологии и тем самым упорядочить топологию. Созданная топология показана на рис. 5.16.

5.12. 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 воз-

можно два варианта такого закрепления: **Anchor** (Прикрепить) и **Freeze** (Зафиксировать). Если использовать закрепление **Anchor**, то при любых изменениях в расположении элементов в схеме или 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.

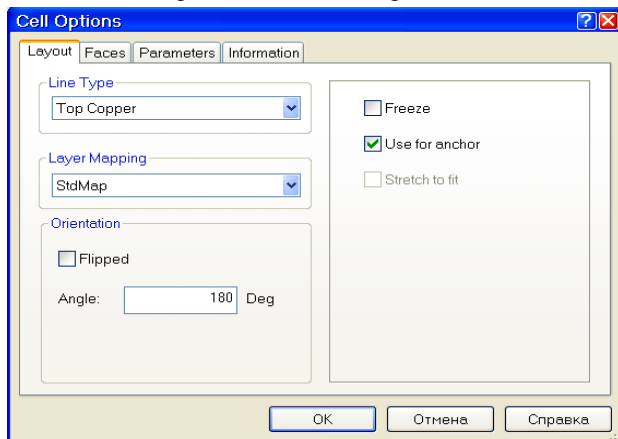


Рис. 5.17

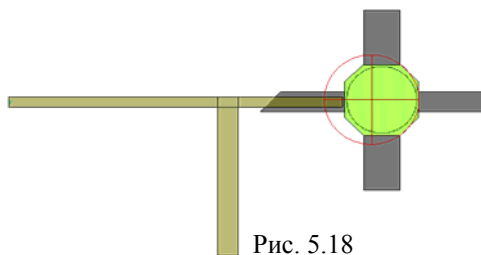


Рис. 5.18

Элемент топологии теперь закреплён и отображается в топологии с символом закрепления, как показано на рис. 5.18.

5.13. 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).

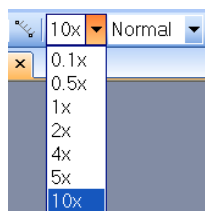


Рис. 5.19

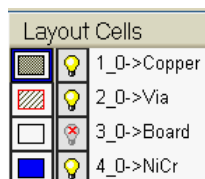


Рис. 5.20

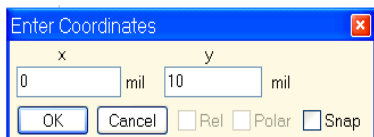


Рис. 5.21

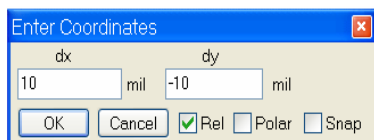


Рис. 5.22

деляет слой для показа или скрытия).

6. Щёлкните левой кнопкой мышки по окну черчения на рабочем поле, чтобы сделать его активным.
7. Выберите в меню **Draw>Rectangle** (Чертить>Прямоугольник) или щёлкните по значку **Rectangle** на панели инструментов.
8. Переместите курсор в окно черчения, затем нажмите клавишу **Tab** на клавиатуре. Откроется диалоговое окно **Enter Coordinates** (Ввод координат, рис. 5.21).
9. Введите значения **0** и **10** в поля **x** и **y** соответственно и нажмите **OK**.
10. Нажмите клавишу **Tab** снова, чтобы открыть диалоговое окно **Enter Coordinates** (рис. 5.22).

- Введите значения **10** и **-10** в поля **dx** и **dy** соответственно и нажмите **OK**. Полученный рисунок показан на рис. 5.23.

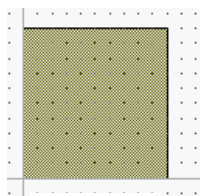


Рис. 5.23

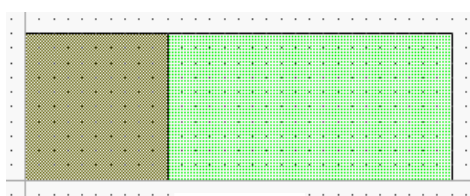


Рис. 5.24

- Щёлкните левой кнопкой мышки по квадрату **10_0->Footprint** (Контур) в нижней части окна менеджера, чтобы создать контур пустого прямоугольника на плате.

- Выберите в меню **Draw>Rectangle** или щёлкните

по значку **Rectangle** на панели инструментов.

- Переместите курсор в окно черчения, затем нажмите клавишу **Tab** или **Space** 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. 5.24.

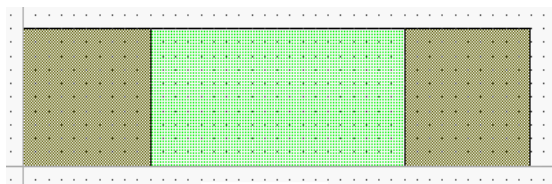


Рис. 5.25

- 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 пустого прямоугольника топологии и щёлкните левой кнопкой мышки, чтобы зафиксировать. Полученная топология показана на рис. 5.25.

5.14. 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.

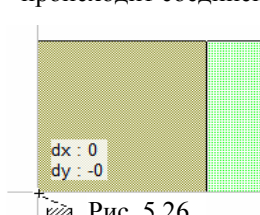


Рис. 5.26

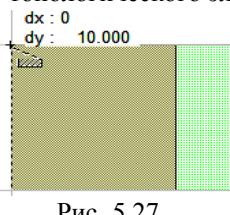


Рис. 5.27

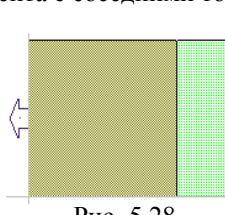


Рис. 5.28

Чтобы добавить порты к созданному элементу топологии:

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

ментов.

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

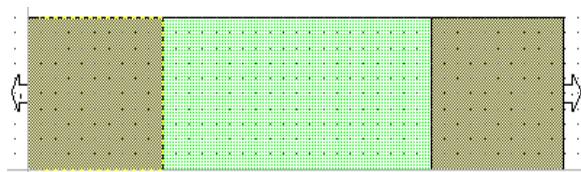


Рис. 5.29

- Не отпуская клавишу **Ctrl**, нажмите левую кнопку мышки (соответствующее изображение показано на рис. 5.26) и, не отпуская её, двигайте курсор к верхнему левому углу проводника, пока другой квадрат не появится на этом углу (рис. 5.27). Отпустите кнопку мышки и клавишу **Ctrl**. Щёлкните мышкой на свободном

месте в окне черчения. Добавленный порт показан на рис. 5.28.

- 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.
- Закройте окно черчения. Будет выведен запрос, хотите ли вы сохранить нарисованный элемент. Нажмите **Yes**, чтобы сохранить. Полученная топология показана на рис. 5.29.

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

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

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

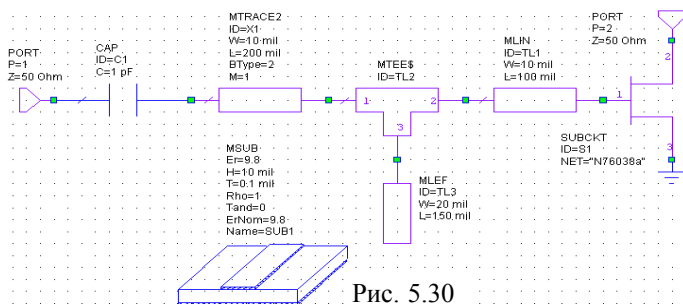


Рис. 5.30

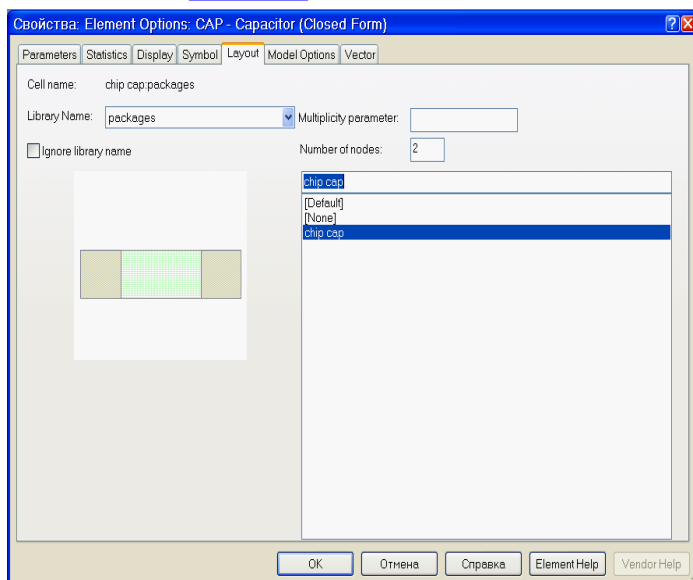


Рис. 5.31

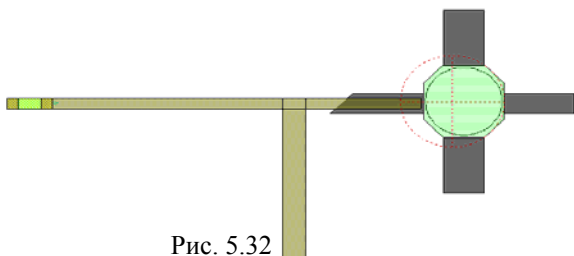


Рис. 5.32

5.16. 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 **MCTTRACE** – это элемент, топология которого может быть отредактирована, чтобы иметь изгибы со скруглёнными краями.

Чтобы выполнить трассировку топологии элемента **MTRACE2**:

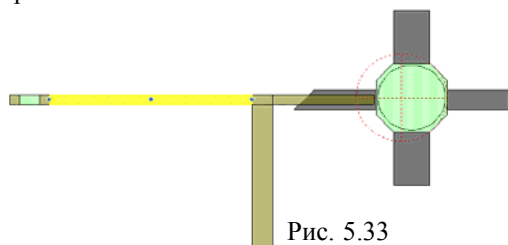


Рис. 5.33

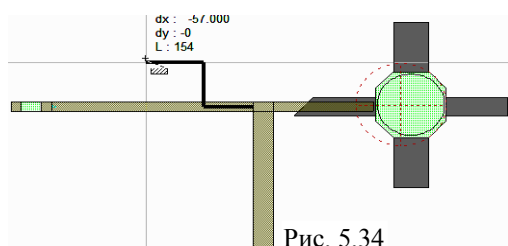


Рис. 5.34

виши **Esc** отменяет процесс трассировки).

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. 5.30.
6. Дважды щёлкните левой кнопкой мышки по элементу **CAP** в окне схемы. Откроется окно **Element Options** (Опции элемента).
7. В этом окне откройте вкладку **Layout**.
8. В поле **Library Name** введите **packages** и в списке элементов отметьте **chip cap** (рис. 5.31). Нажмите **OK**.
9. Выберите в меню **View>View Layout** (Показать>Показать топологию) или щёлкните по кнопке **View Layout** на панели инструментов. Новая топология будет отображена на рабочем поле (рис. 5.32).
10. Если топологические элементы не соединены 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.

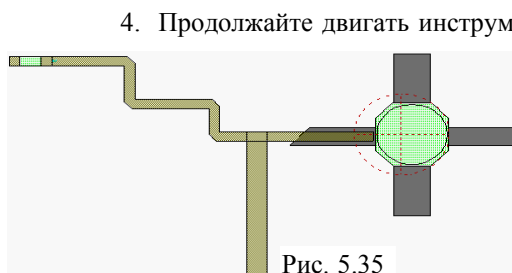


Рис. 5.35

Щёлкните по значку **Snap Together** на панели инструментов.

5.17. Опции привязки элементов топологии.

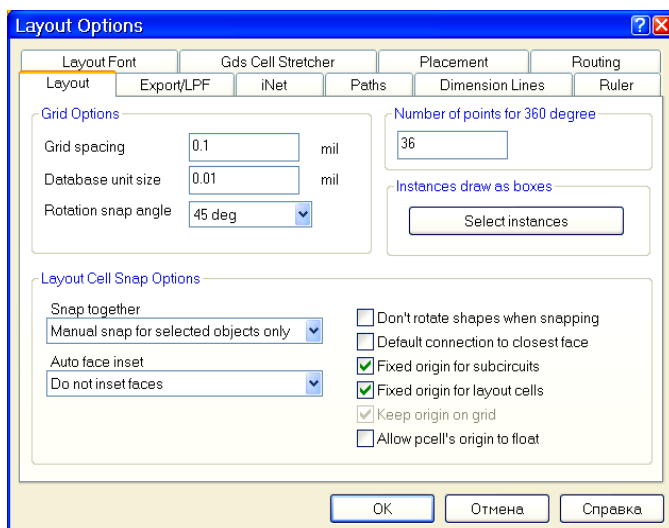


Рис. 5.36

этой установленной опции, изменим положение некоторых элементов топологии. Установите курсор на элемент топологии, соответствующий элементу схемы **MLEF**, нажмите ле-

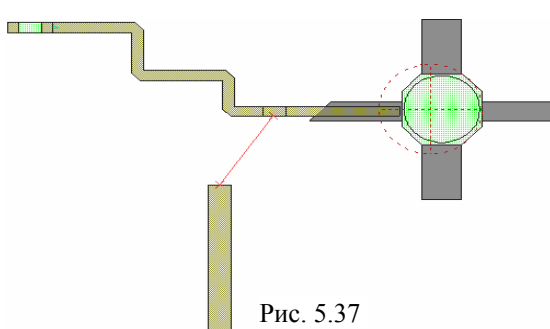


Рис. 5.37

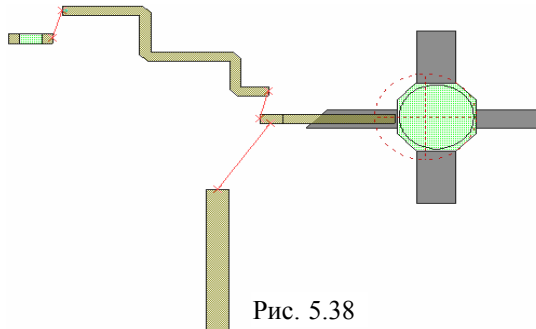


Рис. 5.38

вую кнопку мышки и переместите этот элемент, как показано на рис. 5.37.

- Повторите п. 3 для элементов **MTRACE2** и конденсатора **chip cap**, как показано на рис. 5.38. Красные линии показывают, что грани этих элементов не соединены.

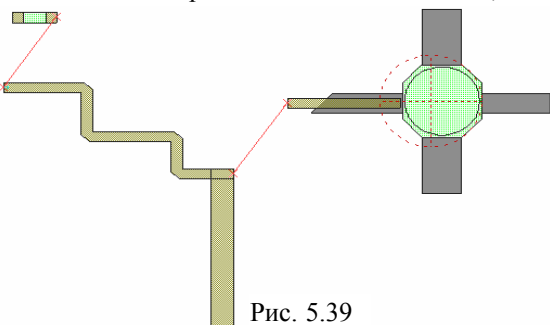


Рис. 5.39

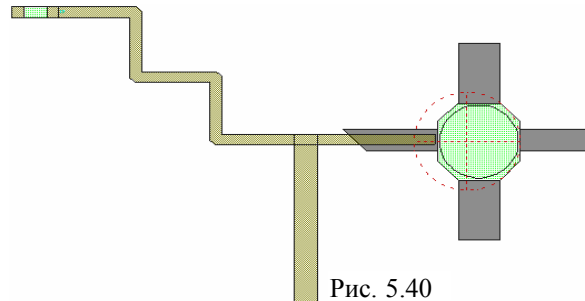


Рис. 5.40

- Чтобы соединить элементы, нажмите клавишу **Shift** и щёлкните мышкой по элементам **MLEF**, **MTRACE2** и **MTEES** в окне топологии.
- Щёлкните мышкой по значку **Snap Together** на панели инструментов. Результат показан на рис. 5.39. Заметьте, что не все элементы топологии соединены вместе.
- Нажмите клавиши **Ctrl+A**, чтобы выделить всю топологию.
- Щёлкните мышкой по значку **Snap Together** на панели инструментов. Вся топология будет соединена (рис. 5.40).

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

- Выберите в меню **Options>Layout Options**. Откроется диалоговое окно **Layout Options** (рис. 5.36).
- 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**.
- Чтобы просмотреть действие

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. 5.41.
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. 5.42.

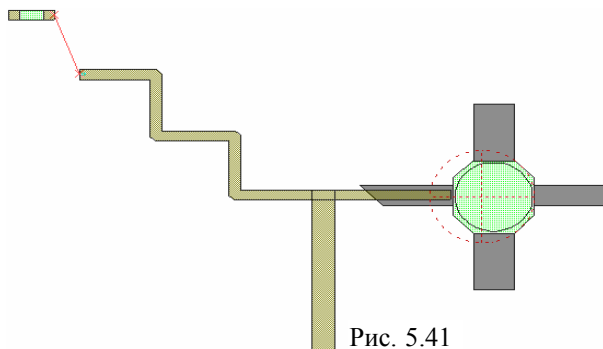


Рис. 5.41

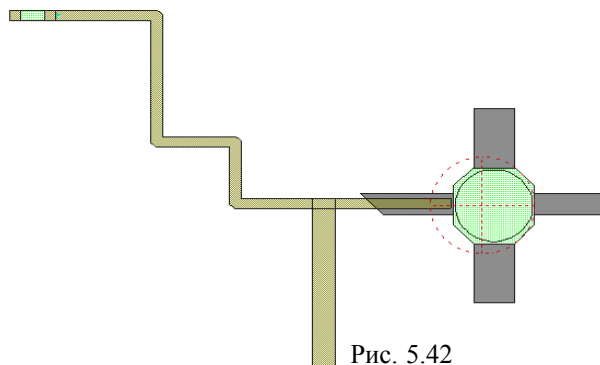


Рис. 5.42

5.18. Экспорт топологии.

Чтобы экспортировать топологию:

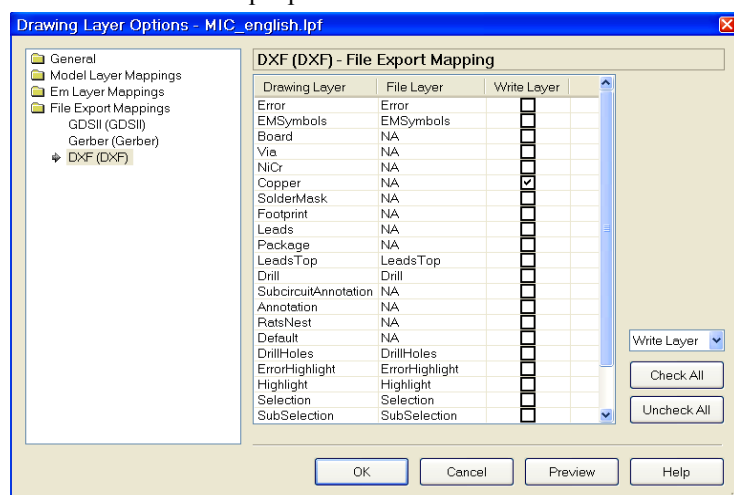


Рис. 5.43

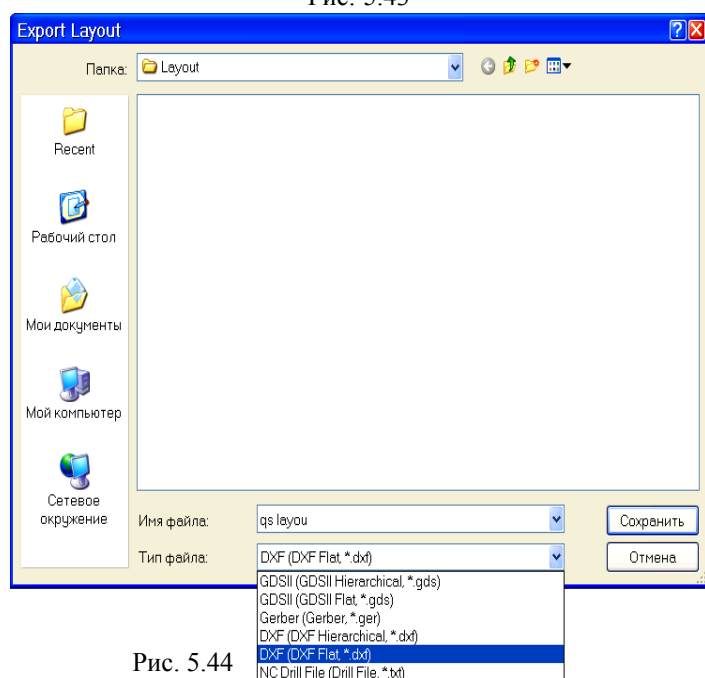


Рис. 5.44

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. 5.43). Нажмите **OK**.
3. Выберите в меню **Layout>Export** (Топология>Экспорт). Откроется диалоговое окно **Export Layout** (рис. 5.44).
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**.

6. Электромагнитное моделирование (EMSight)

Электромагнитное моделирование (EM) использует уравнения Максвелла для определения характеристик устройства по его заданной физической геометрии. Для выполнения электромагнитного моделирования можно использовать встроенные решающие устройства или решающие устройства из программных продуктов других производителей, поддерживающих интерфейс “EM Socked” (“Канал электромагнитного моделирования”).

Решающее устройство EMSight использует метод моментов для электромагнитного анализа электромагнитных структур. Могут анализироваться структуры с неограниченным количеством слоёв и с неограниченным числом портов. Структура анализируется в прямоугольном корпусе. При анализе автоматически создаётся электрическая сетка с различным размером ячеек. В местах, где плотность тока изменяется, создаются ячейки с малыми размерами. Там, где плотность тока не изменяется, устанавливаются ячейки с большими размерами. Пользователь может просмотреть автоматически созданную сетку и, при необходимости, изменить её плотность. Минимальный размер ячеек электрической сетки определяется размером ячеек геометрической сетки, которые задаются установкой параметров **Grid_X** и

Grid_Y в свойствах корпуса. Все топологические формы электромагнитной структуры должны совпадать с геометрической сеткой. Чем меньше размер ячеек сетки, тем точнее выполняется анализ, но тем больше времени требуется для анализа. Поэтому рекомендуется сначала выполнять анализ по возможности с крупными ячейками сетки, затем размер ячеек уменьшить. Хорошая точность анализа обеспечивается при размерах сетки меньше 1/10 длины волны на верхней частоте диапазона анализа. Кроме того, на размер ячеек электрической сетки влияют опции встраивания сетки, которые определены на вкладке **Mesh** диалогового окна **EM Options** (рис. 6.1). Чтобы открыть это окно выберите в меню **Options>Default EM Options**.

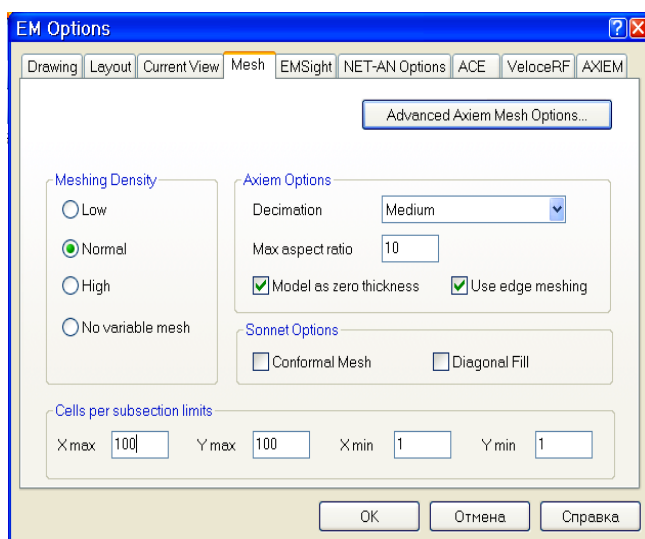


Рис. 6.1

встраиваемой сетки **Low** (Низкая), **Normal** (Нормальная), или **High** (Высокая). По умолчанию установлена плотность **Normal**. Если требуется очень высокая точность, можно использовать плотность **High** или **No Variable Mesh**. При выборе **No Variable Mesh** все ячейки сетки имеют одинаковый минимальный размер. Минимальные и максимальные установки внизу окна в области **Cells per subsection limits** определяют минимальный и максимальный размеры ячеек сетки.

Опции, установленные в окне рис. 6.1, действуют для всех электромагнитных структур в проекте. Для любой электромагнитной структуры в проекте вы можете установить эти опции, которые будут действовать только для выбранной структуры. Для этого щёлкните правой кнопкой мышки по имени структуры в окне просмотра проекта, выберите **Options**, откройте вкладку **Mesh** и снимите “галочку” в **Use default properties**. Более того, вы можете установить эти опции для любой топологической формы в любой электромагнитной структуре. Для этого щёлкните левой кнопкой мышки по выбранной топологической форме, чтобы выделить её. Затем щёлкните по ней правой кнопкой мышки, выберите **Shape Properties**, откройте вкладку **Mesh** и снимите “галочку” в **Use default properties**.

Просмотреть встраиваемую сетку до выполнения анализа можно, щёлкнув правой кнопкой мышки по имени структуры в окне просмотра проекта и выбрав **Add Annotation**. В диалоговом окне **Add Annotation** выберите **EM_MESH** в области **Measurement**. Сетка отображает только в 3-х мерном представлении структуры.

Для возбуждения электромагнитной структуры должны быть установлены порты. Порт представляет собой две клеммы для возбуждения входов и выходов устройства. Физически порт – это зазор, к которому подключается источник напряжения для возбуждения токов. Токи затем вычисляются при анализе электромагнитной структуры. Линейные параметры порта (например, S-параметры) определяются из вычисленных токов.

В EMSight имеется три вида портов: порты края (edge ports), порты переемычки (via ports) и внутренние порты (internal ports).

Порт края можно добавить только к краю проводника, который совпадает с краем корпуса. Чтобы добавить порт края, при активном окне электромагнитной структуры выберите в меню **Draw>Add Edge Port** или щёлкните по значку **Edge Port** на панели инструментов. Поместите курсор на край проводника, на который нужно установить порт, так, чтобы отображался небольшой прямоугольник, и щёлкните мышкой, чтобы закрепить порт. Нумерация портов делается автоматически по мере их установки. Если нужно изменить нумерацию портов, удалите все порты и затем снова установите их в

нужном порядке. Чтобы удалить порт, щёлкните

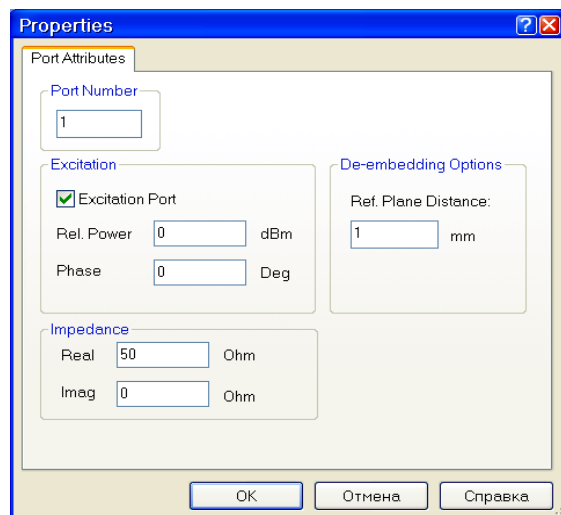


Рис. 6.2

по квадратику порта мышкой, чтобы выделить его, и нажмите клавишу **Delete**. Перенумеровать порты можно и не удаляя их. Просто дважды щёлкните по квадратику порта и в открывшемся окне **Properties** (рис. 6.2) в области **Port Attributes** введите новый номер порта в поле **Port Number**. После установки порта

референсная плоскость устанавливается на краю, на котором установлен порт. Чтобы сместить референсную плоскость, щёлкните мышкой по квадратику порта, установите курсор на сторону квадрата, которая лежит на грани корпуса так, чтобы курсор отображался в виде двойной стрелки, нажмите левую кнопку мышки и сместите курсор внутрь корпуса на нужную величину. Можно сместить референсную плоскость и иначе. В окне рис. 6.2 в области **De-embedding Options** в поле **Ref. Plane Distance** введите величину расстояния, на которое нужно сдвинуть референсную плоскость. Если на одной и той же стороне корпуса установлено несколько портов на разных проводниках, то при смещении референсной плоскости на лю-

бом из этих портов, референсная плоскость на такую же величину автоматически смещается у всех портов, установленных на этой стороне. Любой установленный порт может быть определён как порт возбуждения (excitation) или как оконечная нагрузка (termination). Вычисление S-параметров порта от этой установки не зависит, но вычисление плотности тока и анализ антенны зависит. Чтобы установить указанный характер порта установите или снимите “галочку” в **Excitation Port** в окне рис. 6.2. Для порта возбуждения вы можете определить относительную мощность и фазу в области **Excitation**, а также полный импеданс в области **Impedance**. Для порта оконечной нагрузки можно определить только полный импеданс в области **Impedance**. Возможность использовать порты оконечной нагрузки даёт возможность просмотреть анимацию токов падающей волны в структуре. Но для вычисления S-параметров всегда используется сопротивление порта 50 Ом. Если нужно выполнить анализ работы на другую нагрузку, вставьте электромагнитную структуру в схему в качестве подсхемы и там измените параметры порта схемы.

Порты перемычки используются, чтобы организовать ввод (или вывод) через верхнюю или нижнюю крышки корпуса. Например, такой порт может использоваться для возбуждения антенны через зонд.

Чтобы установить такой порт, в окне менеджера топологии отметьте **Via**. Затем в меню выберите **Draw>Add Via Port** или щёлкните по значку **Via Port** на панели инструментов. Затем поместите курсор мышки на элемент топологии, где нужно установить порт и начертите прямоугольник. После создания порта вы можете изменить его размеры, дважды щёлкнув мышкой по порту.

Внутренние порты являются самыми сложными и должны использоваться с осторожностью. Чтобы создать внутренний порт, щёлкните по многоугольнику, который должен быть отрицательной клеммой для внутреннего порта, чтобы его выделить, и затем выберите в меню **Draw>Add Internal Port**.

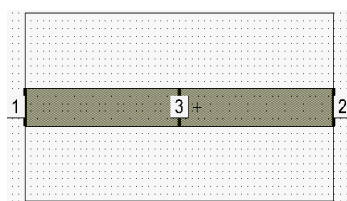


Рис. 6.3

Переместите курсор на сторону многоугольника, на которой должен быть расположен порт, и щёлкните левой кнопкой мышки. Положительная клемма будет обозначена знаком “+”.

Внутренние порты обычно используются для подключения в схеме сосредоточенных элементов (резисторов, диодов и др.), размеры которых должны быть много меньше длины волны. Каждый внутренний порт имеет свою собственную землю, не связанную с землёй всех других портов. Землёй для внутреннего порта является отрицательная клемма этого порта.

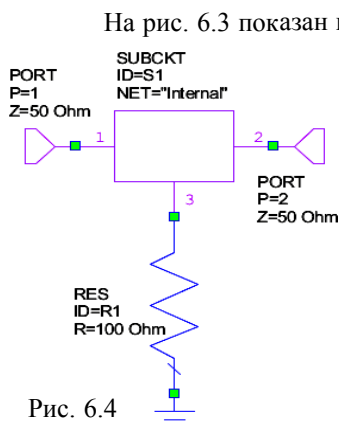


Рис. 6.4

На рис. 6.3 показан простейший пример внутреннего порта для подключения элементов с двумя клеммами. Должно быть два многоугольника, расположенных рядом. Внутренний порт должен быть установлен на общей стороне этих многоугольников. Устанавливать внутренний порт на свободной стороне многоугольника нельзя, т.к. результаты будут бессмысленными. На рис. 6.4. показано, как подключить резистор к внутреннему порту. Конец резистора, который должен быть подключён к отрицательной клемме внутреннего порта, должен быть соединён с землёй в схеме. Если выполнить анализ этой схемы на достаточно низкой частоте, на которой распределённая часть электромагнитной структуры мала, рассчитанные S-параметры будут такими, как будто резистор включён между портами 1 и 2. Т.е. между сторонами многоугольников как бы создаётся зазор, в который включается резистор.

Любой порт имеет неоднородность, на которой возбуждаются

высшие типы волн. Это вносит погрешность в результаты анализа. Чтобы устранить эту погрешность, используется процедура исключения неоднородности (de-embedding). Проще всего эту процедуру осуществить в порте края (**Edge Port**).

Имеется два метода исключения неоднородности порта: стандартный и быстрый.

При стандартном методе референсные плоскости должны быть расположены на достаточно большом удалении от края корпуса, чтобы возникающие в неоднородности порта высшие типы колебаний затухли до референсной плоскости. Обычно расстояние от порта до референсной плоскости рекомендуют брать примерно равным двум толщинам подложки. В этом методе отдельно выполняется полный анализ топологии и подводящих отрезков в корпусах разного размера. Длина корпуса для анализа подводящих линий берётся равной удвоенному расстоянию от порта до референсной плоскости. Затем из матрицы топологии исключаются результаты анализа подводящих отрезков. Таким образом, при процедуре исключения неоднородностей результирующая матрица получается для структуры между референсными плоскостями без подводящих отрезков. Если удаляемый отрезок имеет нулевую длину (т.е. референсная плоскость расположена в точке подключения порта), то устраняется только неоднородность порта. Этот метод может терпеть неудачу, если расстояние от порта до референсной плоскости равно четверти длины волны на анализируемой частоте. Стандартный метод является универсальным и используется при любом количестве портов на одной стороне корпуса.

Быстрый метод исключения неоднородности не требует отдельного анализа подводящих линий. Его недостаток в том, что этот метод можно использовать только, если на каждой стороне корпуса имеется только один порт. Если на одной стороне корпуса портов несколько, автоматически используется стандартный метод. При использовании быстрого алгоритма референсная плоскость не обязательно должна быть установлена далеко от края корпуса. Но если недалеко от порта имеется неоднородность, то полученные результаты будут иметь некоторую погрешность из-за взаимодействия этой неоднородности с неоднородностью порта. Этот метод может терпеть неудачу, если длина корпуса близка к половине длины волны на анализируемой частоте. Если такая ситуация встречается, выводится окно с предупреждением. По умолчанию быстрый метод исключения отключён. Чтобы его включить, выберите в меню

Options>Default EM Options или щёлкните правой кнопкой мышки по имени структуры в окне просмотра проекта, выберите **Options**. На вкладке **EMSight** (рис. 6.8) отметьте **Use fast de-embed (1 port/side)**.

Для портов переключки автоматического исключения неоднородности порта нет, и это влияет на результаты анализа. Однако в некоторых случаях исключить неоднородность можно вручную, создав дополнительную структуру и затем создав схему с обеими структурами.

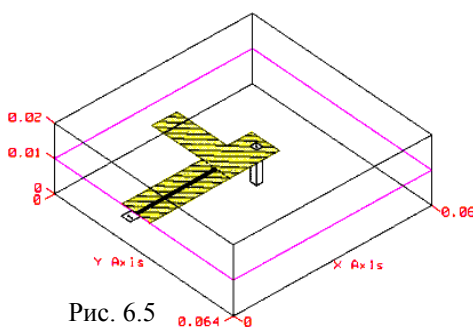


Рис. 6.5

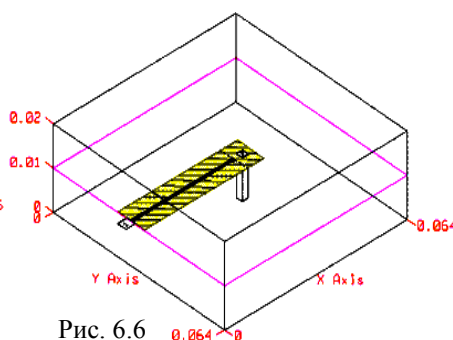


Рис. 6.6

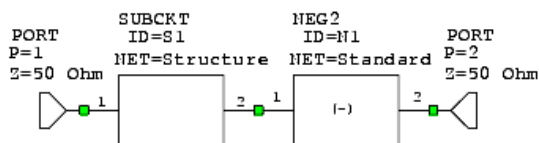


Рис. 6.7

Например, требуется выполнить анализ структуры **Structure**, показанной на рис. 6.5. Чтобы исключить неоднородность порта переключки, нужно создать структуру **Standard**, показанную на рис. 6.6, и затем создать схему, показанную на рис. 6.7.

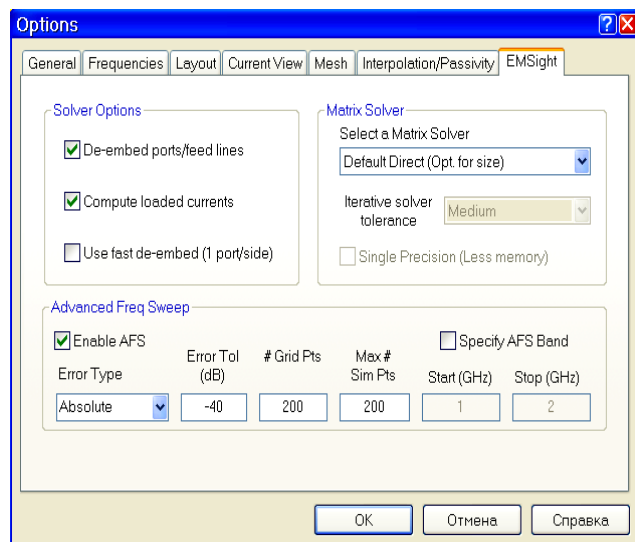


Рис. 6.8

Для ускорения анализа электромагнитных структур введено усовершенствованное свипирование частоты (Advanced Frequency Sweep – AFS). По умолчанию эта опция отключена. Чтобы включить AFS, выберите в меню **Options>Default EM Options** и на вкладке **EMSight** отметьте **Enable AFS**. Опция будет действовать для всех структур в проекте. Можно включить/отключить эту опцию для любой структуры в проекте. Для этого щёлкните правой кнопкой мышки по имени структуры в окне просмотра проекта, выберите **Options** и на вкладке **EMSight** отметьте **Enable AFS** (рис. 6.8).

Здесь можно установить следующие опции:

- Частотный диапазон (**Start, Stop**). По умолчанию частотный диапазон тот же, что определён для анализа электромаг-

нитной структуры. Но для AFS диапазон можно изменить, отметив **Specify AFS Band**.

- Количество точек сетки (**# Grid Pts**). Определяет качество вычислений, по умолчанию 200.
- Условие сходимости (**Error Tol (dB)**). Определяет допустимую ошибку аппроксимации. По умолчанию -40 dB.
- Метод определения погрешности сходимости (**Error Type**). Может быть абсолютным (**Absolute**) или относительным (**Relative**).

Алгоритм работы AFS следующий:

1. Вычисления производятся на частотах $f=f_{min}$, $f=1/2 (f_{min}+f_{max})$, и f_{max} .
2. Выполняется интерполяция 1-го порядка.
3. Если ошибка больше -10 dB, добавляются частотные точки в середине каждого промежутка между частотами и снова выполняется аппроксимация. Этот процесс выполняется, пока ошибка интерполяции будет меньше -10 dB.
4. Добавляется ещё две частотные точки, в которых наибольшая разность между итерациями k и $k-1$.
5. Делается новая итерация/экстраполяция с учётом добавленных точек, порядок итерации увеличивается на 1.
6. Ищется частота, на которой возможна наибольшая ошибка интерполяции. Выполняется анализ на этой частоте и делается переход к шагу 5.
7. Сравнивается интерполяция/экстраполяция в операциях k и $k-1$, используя абсолютный или относительный критерий сходимости.
8. Если критерий выполняется, анализ прекращается. В противном случае делается переход к шагу 4.

Можно добавить сколько угодно частот между f_{min} и f_{max} , чтобы, например, уточнить частоту резонанса. Это не увеличивает существенно время анализа.

Некоторые особенности моделирования в EMSight рассмотрим на следующих примерах.

6.1. 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:

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

6.1.1. 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**.

6.1.2. 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\AWR2009**).
3. Выберите **Blank.lpf** и нажмите **Открыть**, затем в следующем открывшемся окне нажмите **Да**, чтобы заменить существующий LPF.

6.1.3. Создание электромагнитной структуры.

Чтобы создать новую электромагнитную структуру:

1. Выберите в меню **Project>Add EM Structure>New EM Structure** или щёлкните левой кнопкой мышки по значку **Add 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. 6.9).

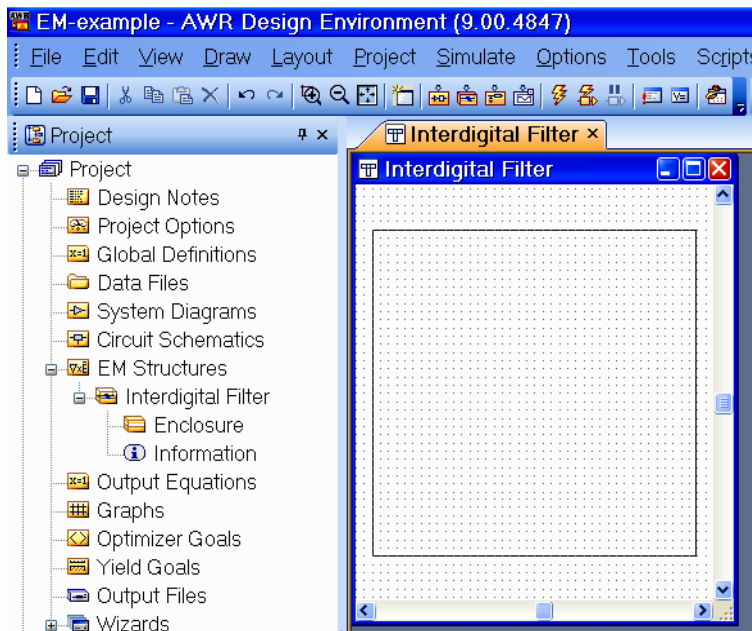


Рис. 6.9

смотря 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**.

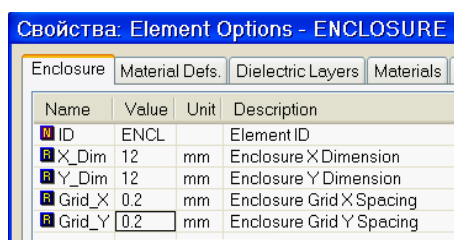


Рис. 6.10

Grid_X и **Grid_Y** введите **0.2**.

6. На вкладке **Material Defs** щёлкните мышкой по кнопке **Add** для **Dielectric Definitions**, чтобы добавить материал диэлектрика. Откроется дополнительное диалоговое окно **Add Dielectric** (рис. 6.11). 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**.

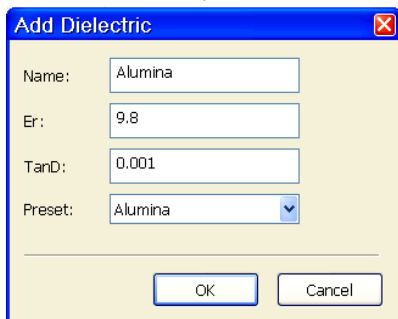


Рис. 6.11

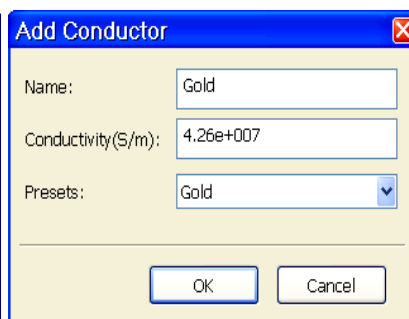


Рис. 6.12

7. Щёлкните мышкой по кнопке **Add** для **Conductor Definitions**, чтобы добавить материал проводника. Откроется дополнительное диалоговое окно **Add Conductor** (рис. 6.12). В поле **Presets** введите **Gold**, остальные поля этого окна заполнятся автоматически. Нажмите **OK**.
8. Дважды щёлкнув мышкой в соответствующих столбцах **Color**, можно изменить цвет, которым будут окрашиваться (заполняться) начерченные на этих слоях элементы топологии. Снова щёлкнув мышкой в столбцах **Color**, можно выбрать цвет заполнения. Вкладка **Material** окна свойств электромагнитной структуры должна выглядеть, как показано на рис. 6.13.

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.

6.1.4. 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 про-

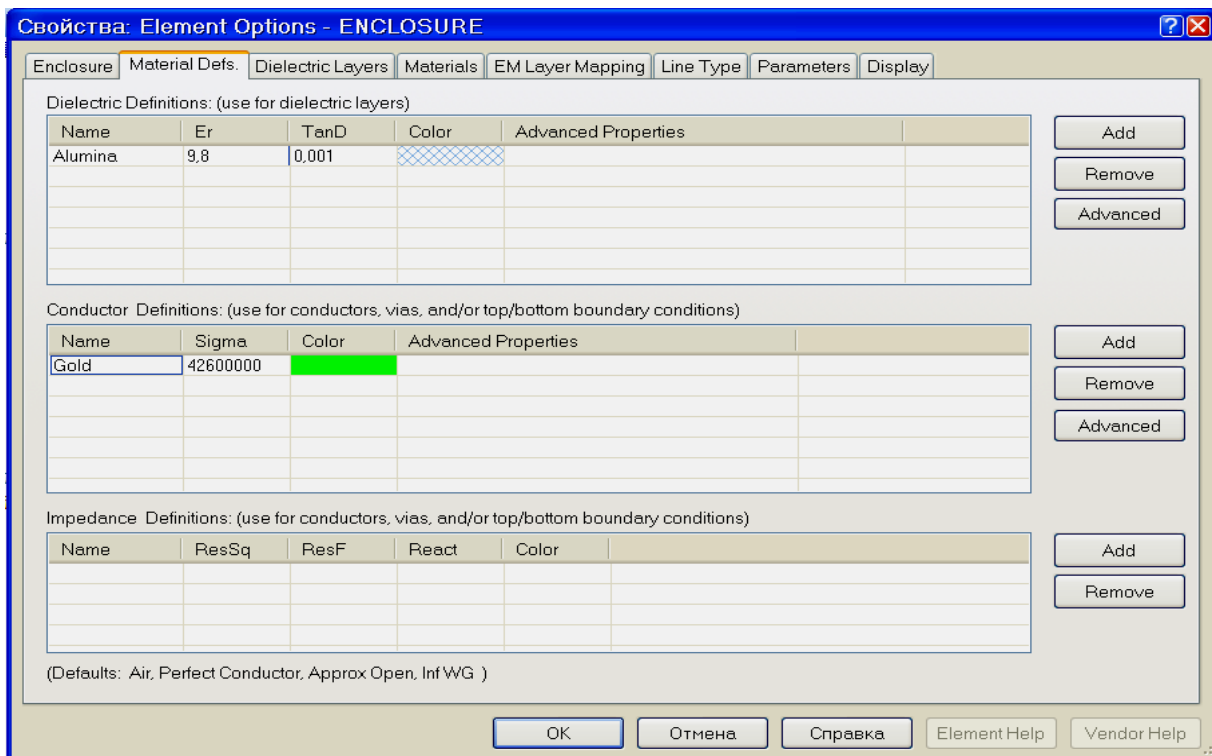


Рис. 6.13

9. 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. 6.14.

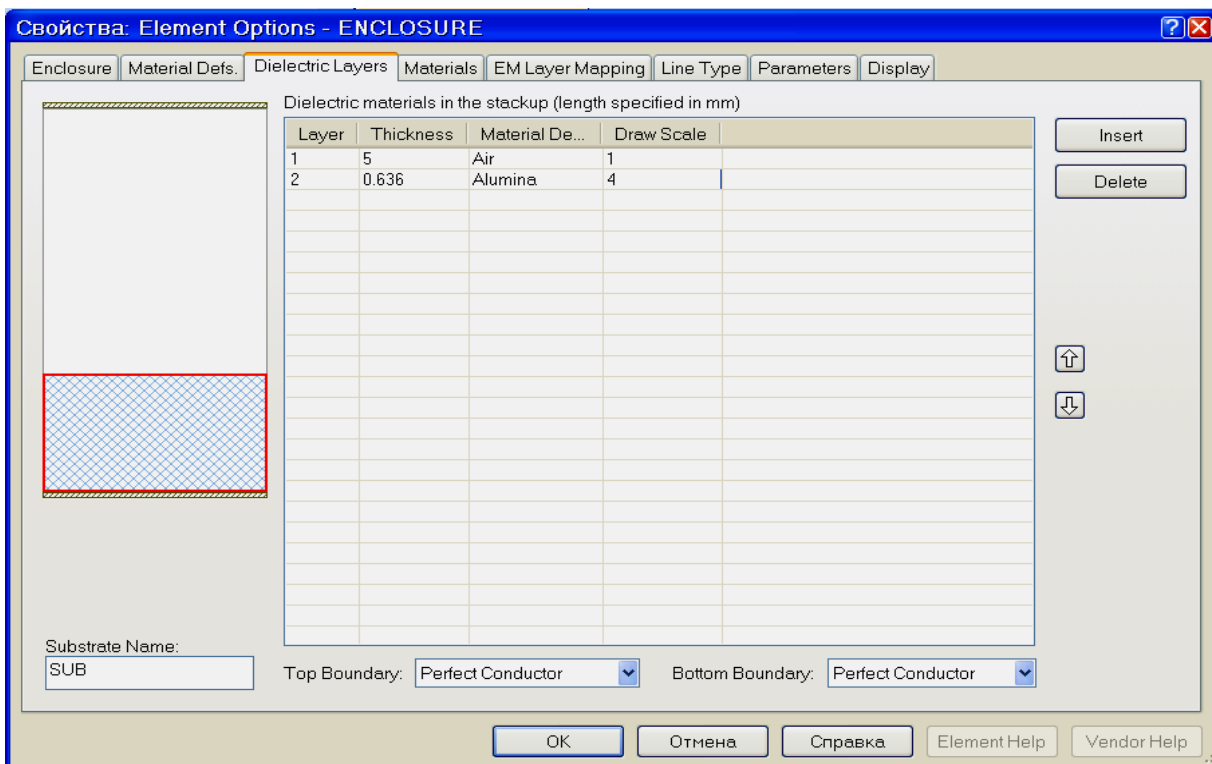


Рис. 6.14

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.

10. На вкладке **Materials** определяются материалы для проводников и межслойных перемычек. Щёлкните мышкой по кнопке **Insert** на этой вкладке. В столбце **Name** замените появившееся имя **Trace1** на **Gold Line**, в столбце **Material Definition** введите **Gold**, щёлкнув мышкой по этому полю, в столбце **Thickness** введите **0.001** (рис. 6.15). Нажмите **OK**.

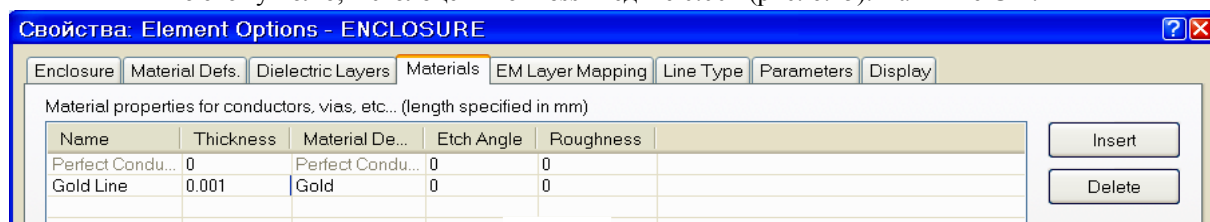


Рис. 6.15

6.1.5. 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.

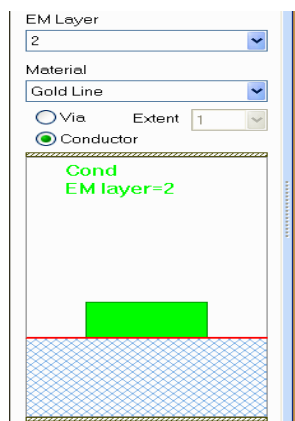


Рис. 6.16

Чтобы создать топологию:

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. 6.16).
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**

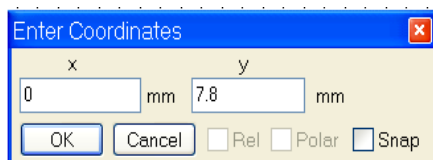


Рис. 6.17

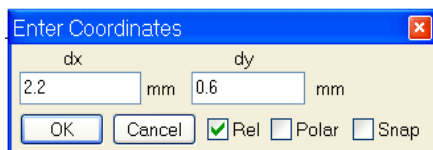


Рис. 6.18



Рис. 6.19

Coordinates (Ввод координат), показанное на рис. 6.17.

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

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. 6.18). 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. 6.19).

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

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

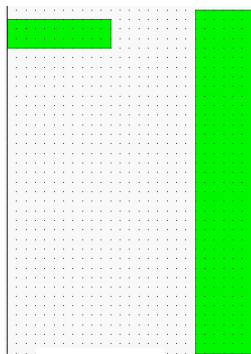


Рис. 6.20

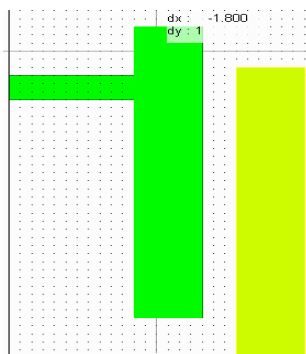


Рис. 6.21

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. 6.20).

- 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. 6.21.

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

6.1.6. 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:

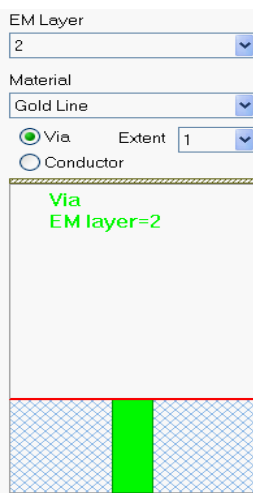


Рис. 6.22

- Откройте менеджер топологии.
- В менеджере топологии отметьте **Via**. В поле **EM Layer** введите **2**, в поле **Material** введите **Gold Line** и в поле **Extent** (Протяжённость) введите **1** (рис. 6.22).
- Щёлкните мышкой по значку **Rectangle** 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. Введите **0.4** в поле **dx**, **-0.8** в поле **dy** и нажмите **OK**. Выделенная прямоугольная перемычка появится на вертикальном проводнике (рис. 6.23).
- Выберите в меню **Edit>Copy** и затем выберите **Edit>Paste** или щёлкните мышкой по значку **Copy** 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. 6.24.

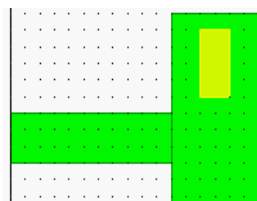


Рис. 6.23



Рис. 6.24

Замечание. Т.к. проводники и перемычки из одного материала и имеют один цвет, то перемычки, если они не выделены, не будут видны. Если подвести курсор мышки на перемычку, её контур будет отображаться пунктирной линией. Щелчок мышкой, когда курсор находится на перемычке, выделяет эту перемычку.

- 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) или щёлкните по значку **Union** на панели инструментов, чтобы объединить обе перемычки. Созданная перемычка будет выглядеть, как показано на рис. 6.25.

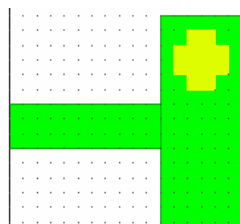


Рис. 6.25

Примечания. 1. Точность моделирования обычно будет достаточной, если цилиндрическое отверстие межслойного перехода аппроксимировать призмой в виде двух пересекающихся прямоугольников (рис. 6.25). Центр призмы должен совпадать с центром отверстия.

2. Межслойную перемычку можно сделать и круглой, используя инструмент **Ellipse**. Такой вариант перемычки используется в примере 6.4.

6.1.7. 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:

- 1 Выберите в меню **View>View 3D EM Layout** или щёлкните мышкой по значку **View 3D EM**

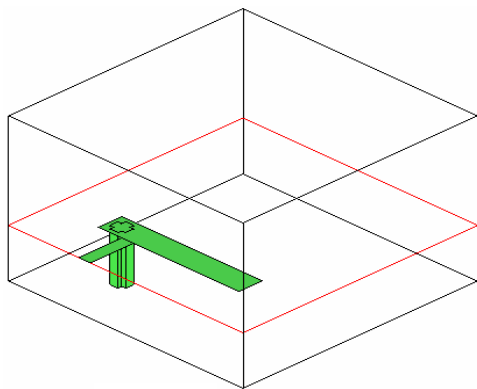


Рис. 6.26

Layout на панели инструментов. На рабочем поле появится трёхмерное изображение, как показано на рис. 6.26.

- 1 Выберите в меню **Window>Tile Vertical** (Окно>Не перекрывающееся вертикальное расположение) или **Window>Tile Horizontal**. Окна с 3-х мерным и 2-х мерным отображениями располагаются 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 **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.

6.1.8. 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.

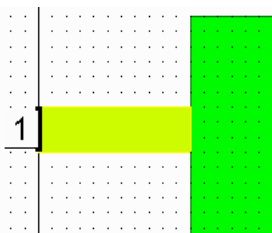


Рис. 6.27

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. 6.27).

Чтобы установить референсную плоскость для порта 1:

4. Щёлкните правой кнопкой мышки в окне электромагнитной структуры и выберите в меню **View Area** (Увеличить размер области) или нажмите значок **View 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.

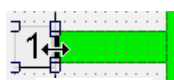


Рис. 6.28

6. Щёлкните левой кнопкой мышки по порту 1. По углам порта отобразятся четыре небольших квадрата.

7. Установите курсор мышки на правый край порта так, чтобы курсор отображался в виде двойной стрелки (рис. 6.28).

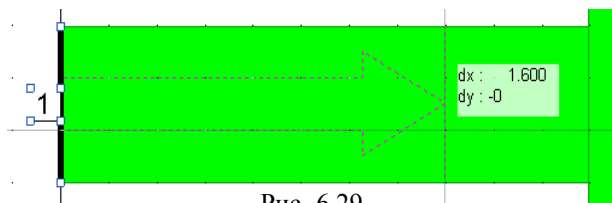


Рис. 6.29

8. Нажмите левую кнопку мышки и, не отпуская кнопки мышки, перетащите курсор вправо, пока не будет отображено **dx:1.6, dy:0** (рис. 6.29). Отпустите кнопку

мышки, чтобы зафиксировать референсную плоскость.

6.1.9. 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.

4. Снимите галочку (если она стоит) на переключателе **Use Project Frequency** (Использовать

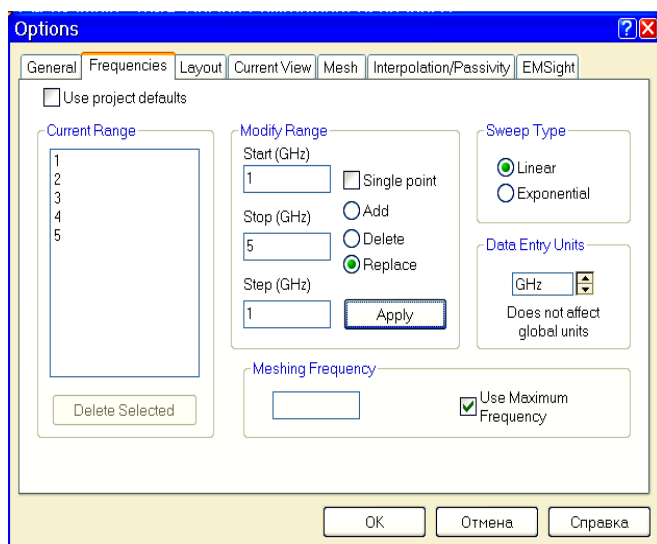


Рис. 6.30

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.

6.1.10. Просмотр ячеек сетки.

Структура сетки очень важна для моделирования, т.к. она влияет на время и точность моделиро-

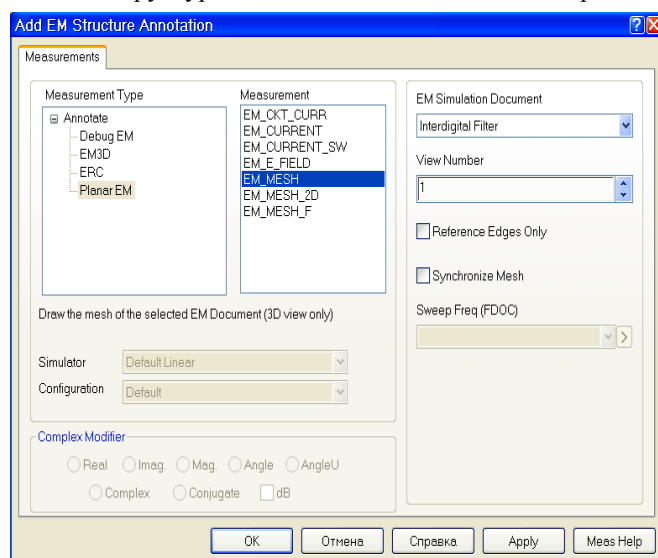


Рис. 6.31

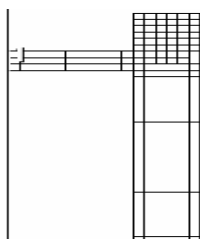


Рис. 6.32

6.1.11. 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:

1. 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. 6.33) 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**.

частоты проекта), чтобы локальные частоты имели преимущество перед глобальными частотами проекта (рис. 6.30).

5. Установите **GHz** в области **Data Entry Unit**, щёлкая по стрелкам в правом конце 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.

Рекомендуется начинать с грубой сетки и затем делать её более мелкой до тех пор, пока результаты анализа перестанут заметно изменяться при дальнейшем уменьшении ячеек сетки. Просмотреть сетку можно в трёхмерном отображении, добавив аннотацию к структуре.

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. 6.31) в списке **Measurement** отметьте **EM_MESH**, остальные параметры установите, как показано на рис. 6.31 и нажмите **OK**.
3. Щёлкните мышкой по значку

View EM 3D Layout  и затем

по значку **Top** (Вверх)  на панели инструментов. Сетка будет отображена, как показано на рис. 6.32.

4. 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.

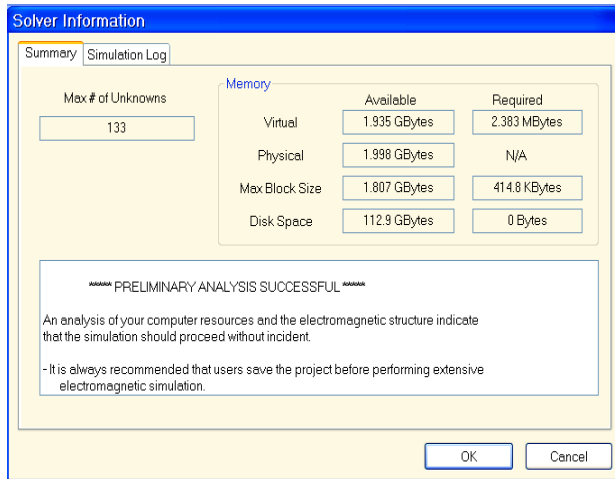


Рис. 6.33

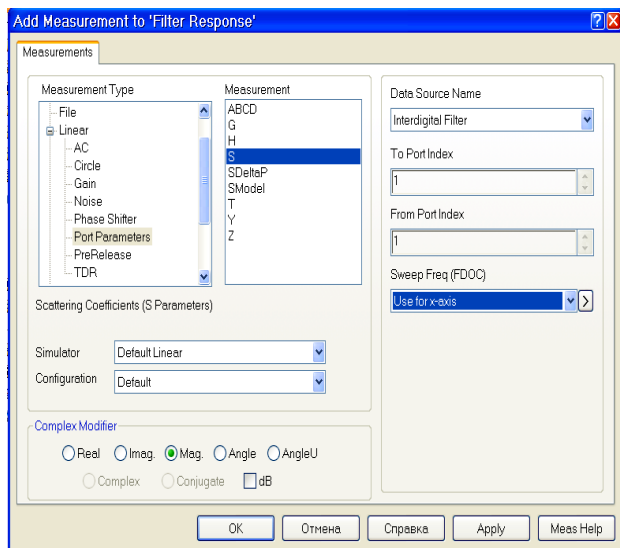


Рис. 6.34

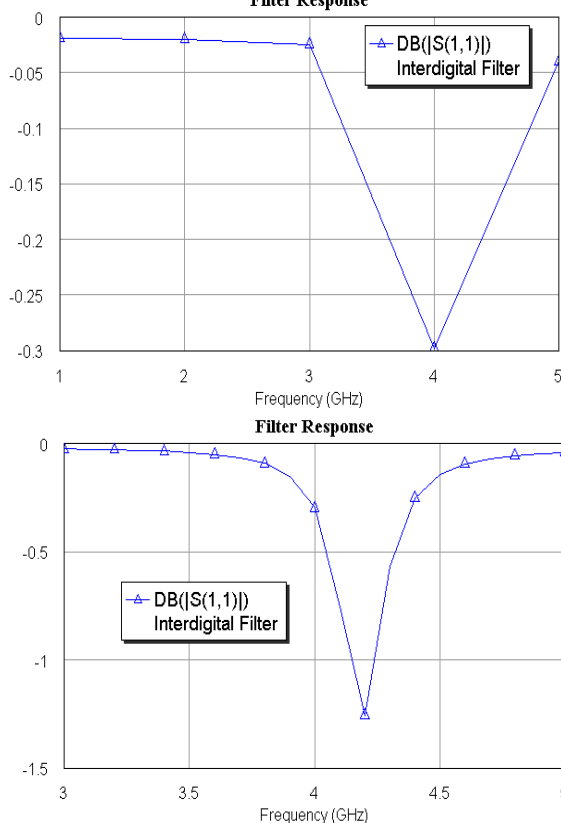


Рис. 6.36

2. 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.

6.1.12. Отображение результатов на графике.

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

1. Выберите в меню **Project>Add Graph** (Добавить график), или щёлкните правой кнопкой мышки по группе **Graphs** в окне просмотра проекта и выберите **New Graph**, или щёлкните левой кнопкой мышки по значку **Add New Graph** на панели инструментов. Откроется диалоговое окно **Create Graph** (Создать график).
2. 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.
3. 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 New Measurement** на панели инструментов. Откроется диалоговое окно **Add Measurement** (рис. 6.34).
4. В окне списка **Measurement Type** раскройте группу **Linear** и выберите **Port Parameters**. Выберите **S** в окне списка **Measurement** (Измеряемая величина), введите **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 6.35.

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. Отметьте **Replace**, 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.
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. 6.36.

6.1.13. Просмотр анимации токов и E – поля.

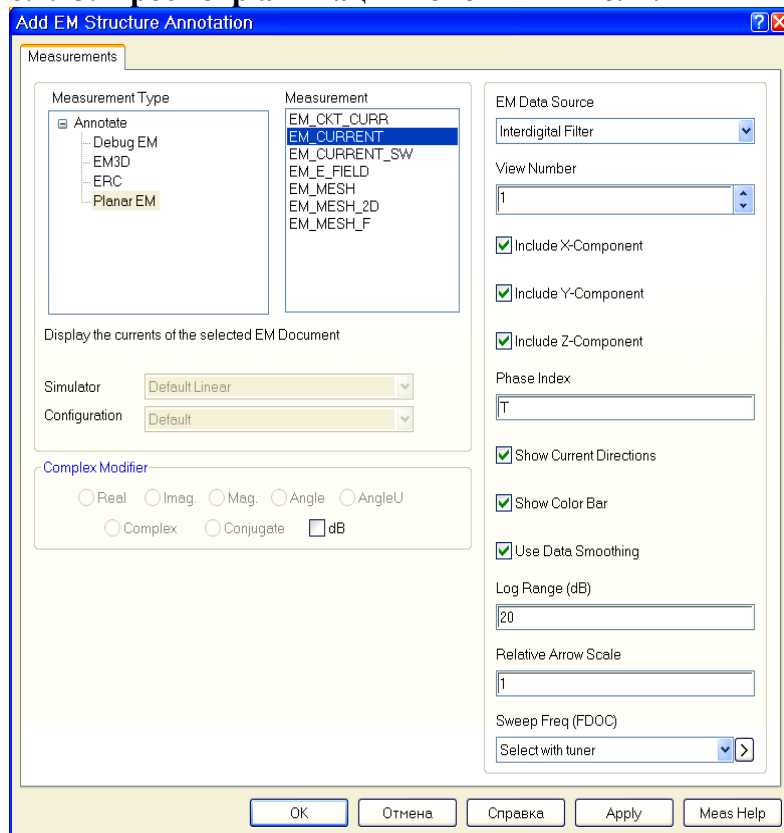


Рис. 6.37

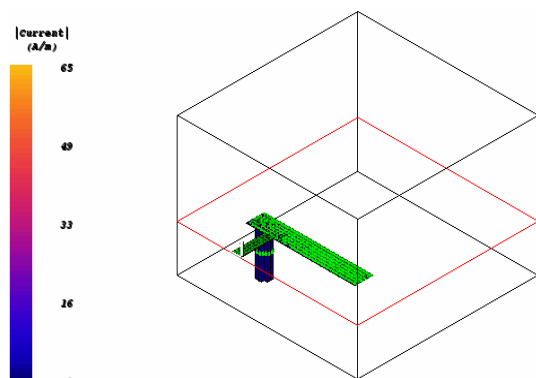


Рис. 6.38

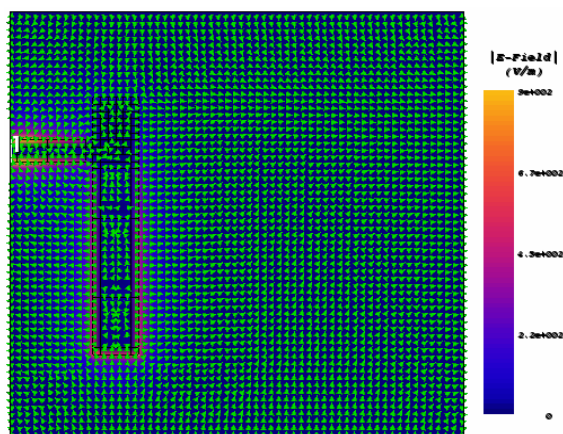


Рис. 6.39

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. 6.37) в списке **Measurement** отметьте **EM_CURRENT**, остальные параметры установите, как показано на рис. 6.37 и нажмите **OK**.
3. Сделайте активным окно электромагнитной структуры и щёлкните мышкой по значку **View EM 3D Layout** на панели инструментов.
4. Щёлкните мышкой по значку **Animate Play** на панели инструментов. Анимация токов в трёхмерном представлении будет отображена на рабочем поле (рис. 6.38).
5. Щёлкните левой кнопкой мышки по значку **Animate Stop** на панели инструментов, чтобы остановить анимацию.
6. 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:

1. Щёлкните правой кнопкой мышки по имени электромагнитной структуры **Interdigital Filter** в окне просмотра проекта и выберите **Add Annotation**.
2. В открывшемся окне в списке **Measurement** отметьте **EM_E_Field** и нажмите **OK**.
3. В окне просмотра проекта щёлкните правой кнопкой мышки по имени аннотации

Interdigital Filter:EM_CURRENT в группе **Annotations** и выберите **Toggle Enable**.

4. Выберите в меню **Simulate>Analyze** или щёлкните левой кнопкой мышки по значку **Analyze** на панели инструментов, чтобы вычислить электрические поля.
5. Выберите **Animate>Animate Play** в выпадающем меню или щёлкните левой кнопкой мышки по значку **Animate Play** на панели инструментов, чтобы просмотреть анимацию поля (рис. 6.39). Этот вид зависит от конфигурации вашего компьютера.
6. Щёлкните левой кнопкой мышки по значку **Animate Stop** на панели инструментов, чтобы остановить анимацию.
7. Чтобы прекратить вычисление и показ электрического поля, щёлкните правой кнопкой мышки по имени аннотации **Interdigital Filter:EM_E_Filed** в группе **Annotations** в окне просмотра проекта и выберите **Toggle Enable**.

6.1.14. Завершение топологии фильтра.

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

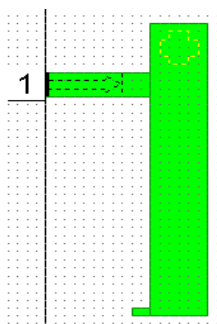


Рис. 6.40

Чтобы добавить небольшой проводник на конце входного резонатора:

1. Щёлкните по окну электромагнитной структуры **Interdigital Filter**, чтобы сделать его активным.
2. Выберите в меню **Draw>Rectangle** (Чертить>Прямоугольник) или щёлкните левой кнопкой мышки по значку **Rectangle** на панели инструментов.
3. Поместите курсор в окно **Interdigital Filter** и нажмите клавишу **Tab** на клавиатуре. Откроется диалоговое окно **Enter Coordinates** (Ввод координат).
4. Введите **2.2** в поле **x**, введите **2.4** в поле **y** и нажмите **OK**.
5. 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. 6.40).

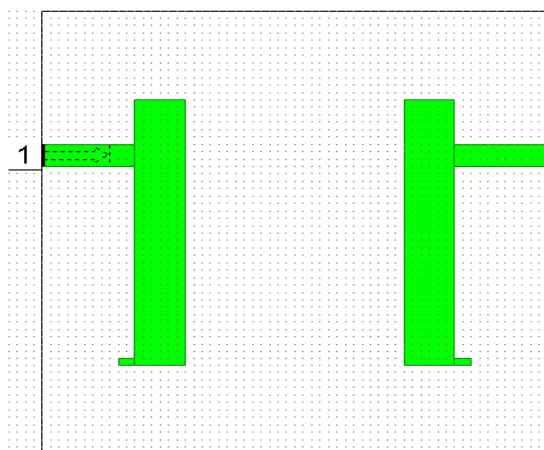


Рис. 6.41

Чтобы начертить выходной резонатор:

6. 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.
7. 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.

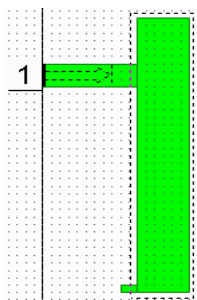


Рис. 6.42

Появится контур топологии.

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. 6.41)

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 (6.42).
10. Выберите в меню **Edit>Copy**, затем выберите **Edit>Paste**.
11. Двигайте курсор к середине окна электромагнитной структуры, чтобы переместить скопированный образец в середину окна, затем поверните образец на 180 градусов, дважды щёлкнув правой кнопкой мышки, чтобы заземляющая перемычка была в нижней части резонатора.
12. Нажмите клавишу **Tab**, чтобы открыть окно **Enter Coordinates**.

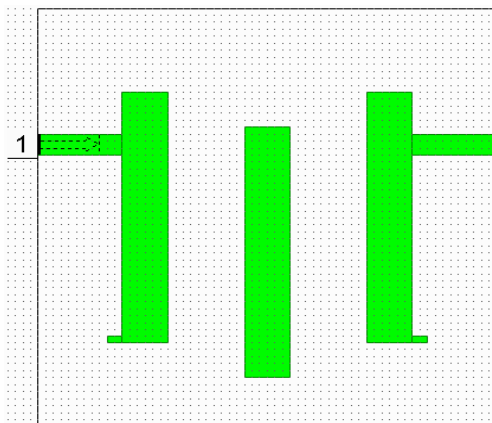


Рис. 6.43

и щёлкните левой кнопкой мышки, чтобы зафиксировать порт. Небольшой квадрат с цифрой 2 будет отображён на правом краю проводника.

4. Чтобы установить референсную плоскость порта:
5. Щёлкните левой кнопкой мышки по порту 2. В его углах отобразятся четыре квадрата.
6. Установите курсор на левый край порта так, чтобы он отображался в виде двойной стрелки.
7. Нажмите левую кнопку мышки и, не отпуская кнопки, переместите курсор влево, пока dx и dy получают значения $dx:-1.6$, $dy:0$. Отпустите кнопку мышки, чтобы зафиксировать положение референсной плоскости.

Установить референсную плоскость порта можно и другим способом. После добавления порта дважды щёлкните по нему мышкой. Откроется окно свойств порта рис. 6.44. В поле **Ref. Plane Distance** введите **1.6 mm** и нажмите **OK**. Законченная топология показана на рис. 6.45.

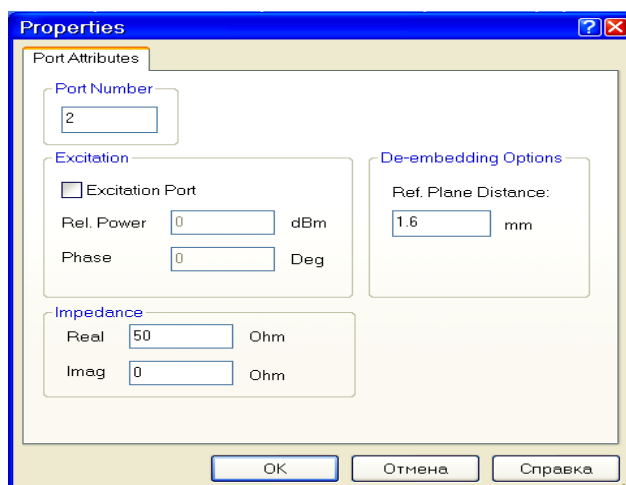


Рис. 6.44

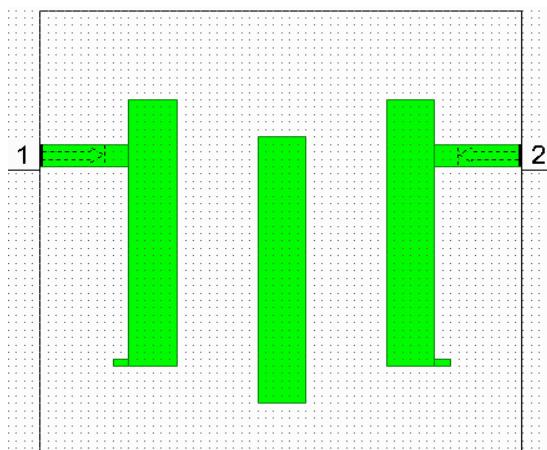


Рис. 6.45

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

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

Чтобы выполнить AFS:

1. В окне просмотра проекта щёлкните правой кнопкой мышки по имени электромагнитной структуры **Interdigital Filter** и выберите **Options**.
2. На вкладке **Frequencies** открывшегося окна опций в поля **Start**, **Stop** и **Step** введите **3**, **5** и **0.05** соответственно. Щёлкните мышкой по кнопке **Apply**, чтобы отобразить введённый диапазон в **Current Range**.
3. Щёлкните мышкой по кнопке **EM-Sight** в верхней части окна, чтобы открыть эту вкладку (рис. 6.46). В области **Advanced Freq Sweep** в левой

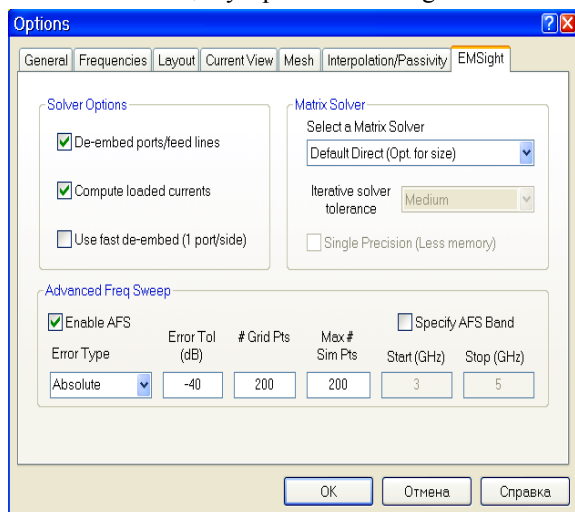


Рис. 6.46

нижней части окна отметьте **Enable AFS** (Включить AFS).

4. Нажмите **OK**.

5. В окне просмотра проекта щёлкните правой кнопкой мышки по имени графика **Filter Response** и выберите **Add Measurement**. Откроется диалоговое окно **Add Measurement** (рис. 6.47).

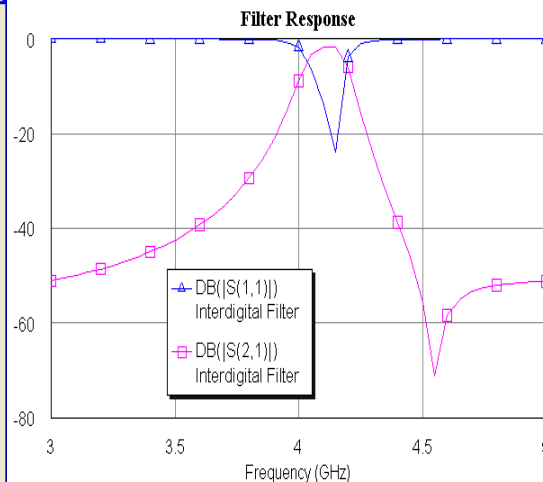
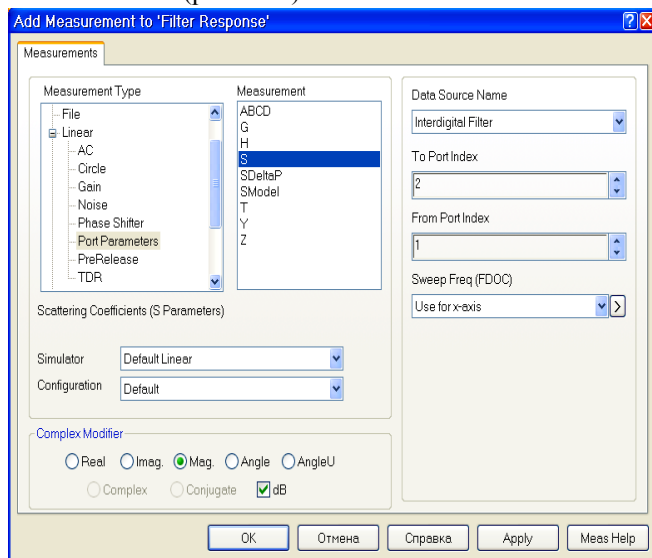


Рис. 6.48

Рис. 6.47

6. В окне списка **Measurement 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**.

7. Сделайте активным окно графика и щёлкните мышкой по значку **Analyze** на панели инструментов. Рассчитанный график показан на рис. 6.48.

6.1.16. Добавление электромагнитной структуры в схему и моделирование.

Вы можете добавить электромагнитную структуру в схему так же, как добавляется любая под-схема.

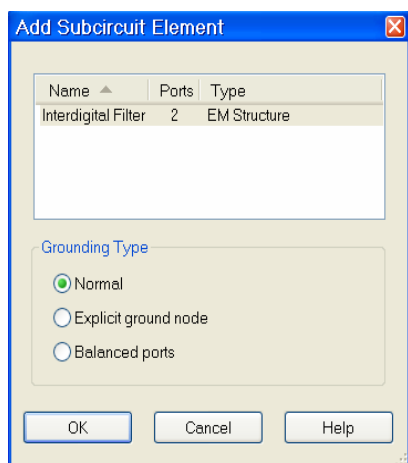


Рис.6.49

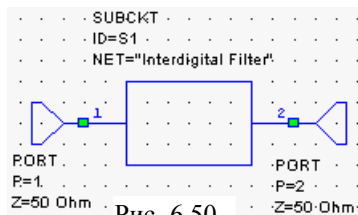


Рис. 6.50

1. Создайте новую схему, выбрав в меню **Project>Add Schematic>New Schematic** или щёлкнув мышкой по значку **Add New Schematic** на панели инструментов. В открывшемся окне введите имя схемы **Schematic using EM** и нажмите **OK**.

2. 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. 6.49).

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 развернуть порт на 180 градусов. Созданная схема должна иметь вид, показанный на рис. 6.50.

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**.

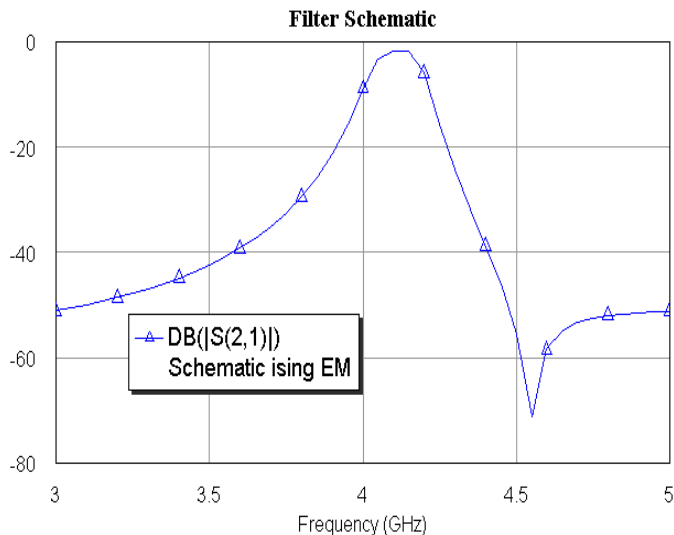


Рис. 6.51

ной структуры. При желании вы можете сохранить проделанную вами работу, выбрав в меню **File>Save Project**.

6.2. 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 3.3, 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.

6.2.1. 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**.

6.2.2. Создание электромагнитной структуры.

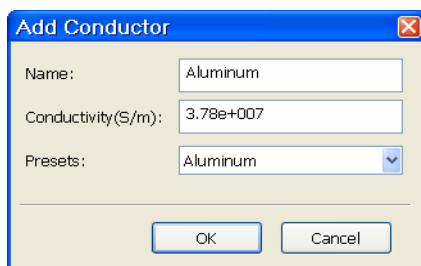


Рис. 6.52

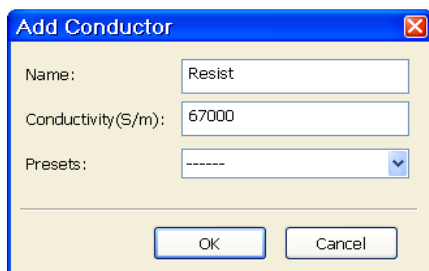


Рис. 6.53

в поле **Name** введите **Resist** (рис. 6.53), в поле **Conductivity (S/m)** введите **67000**. Дважды щёлкнув в столбцах **Color**, можно изменить цвет, которым будут отображаться слои металла в топологии. Щёлкнув в этих столбцах ещё раз, можно изменить штриховку слоёв. Нажмите **OK**. Вкладка **Material Defs** будет выглядеть, как показано на рис. 6.54.

9. При активном окне вновь созданного графика щёлкните мышкой по значку **Add New Measurement** на панели инструментов. В открывшемся окне введите такие же параметры, какие были введены при создании предыдущего графика рис. 6.47, только в поле **Data Source Name** введите **Schematic using EM**. Нажмите **Apply** и **OK**.
10. Щёлкните мышкой по значку **Analyze** на панели инструментов. Рассчитанный график показан на рис. 6.51. Он такой же, как и график электромагнитной структуры.
11. На этом заканчивается пример моделирования электромагнитной

1. Щёлкните левой кнопкой мышки по значку **Add New EM Structure** на панели инструментов.
2. 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.
3. 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**.
4. 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. 6.52). В поле **Presets** (Предварительные установки) введите **Aluminum**, щёлкнув по кнопке в правом конце этого поля, и нажмите **OK**. Снова щёлкните мышкой по кнопке **Add**,

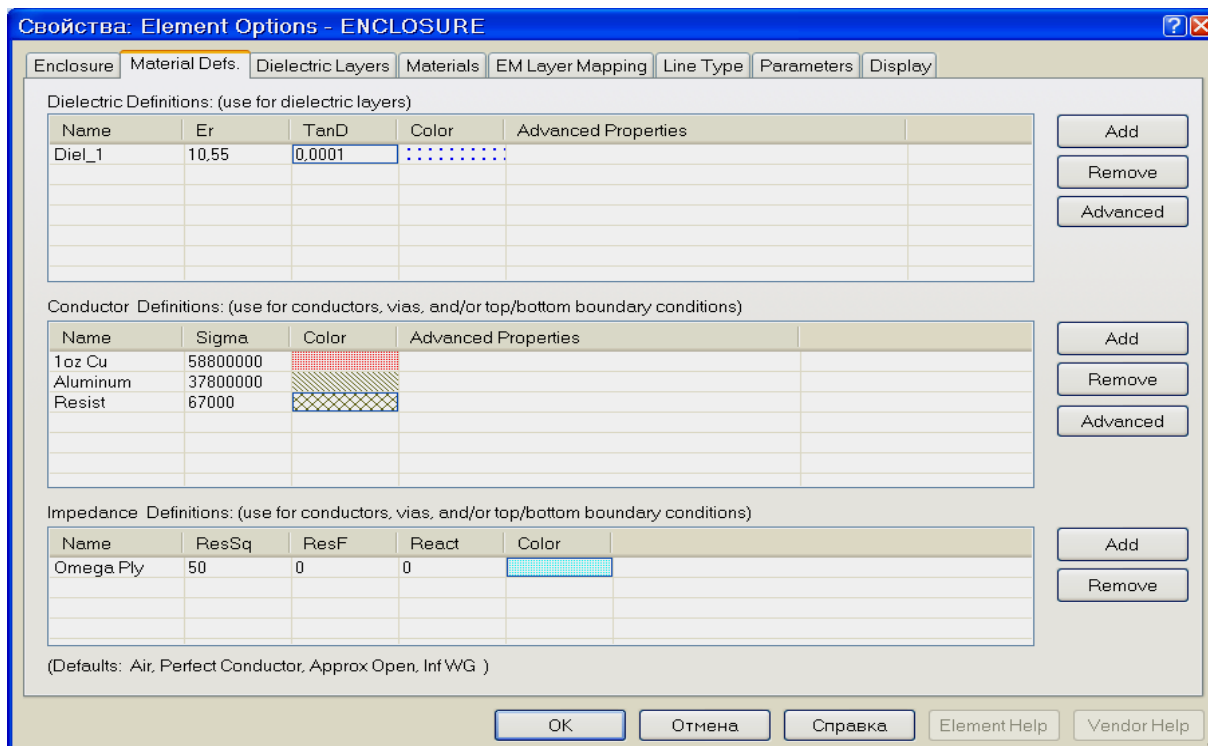


Рис. 6.54

- 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**.

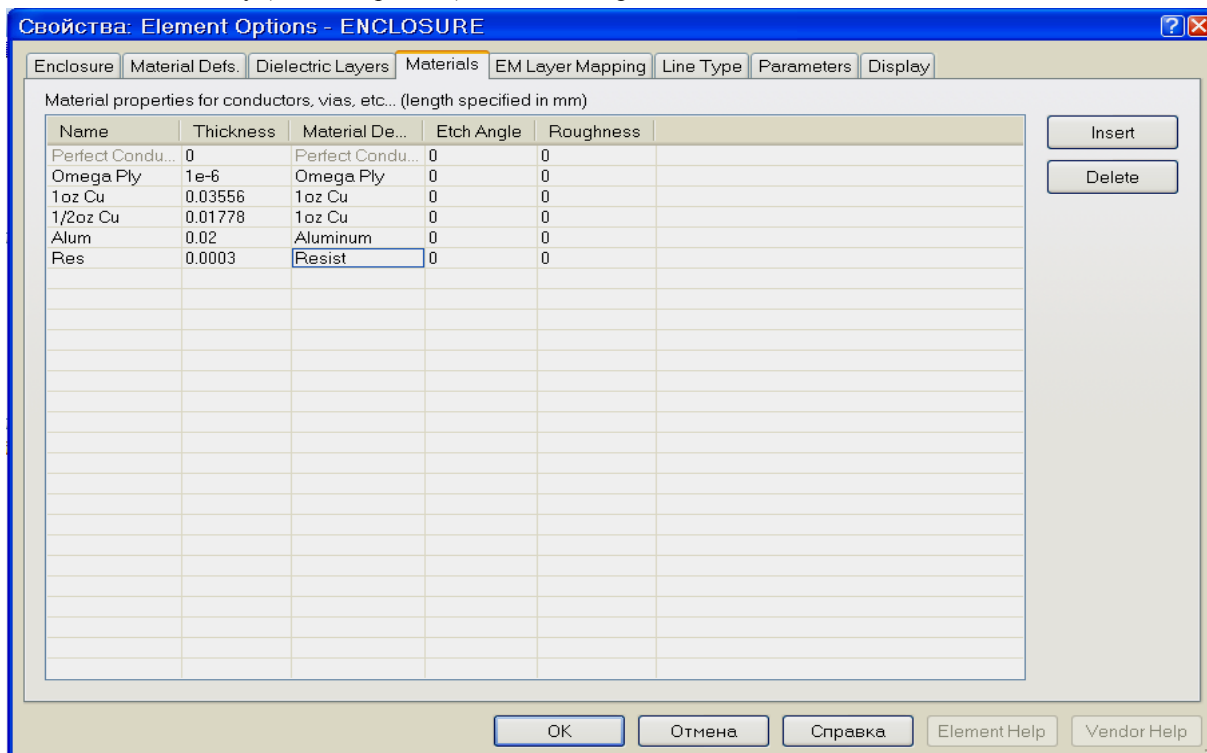


Рис. 6.55

- 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 **0.0003**, в столбце **Material Definition** введите **Resist**, щёлкнув мышкой по этому полю. Вкладка **Materials** будет выглядеть, как показано на рис. 6.55. Нажмите **OK**.

6.2.3. Создание топологии.

1. Щёлкните левой кнопкой мышки по значку **Rectangle**  на панели инструментов или выберите в меню **Draw>Rectangle**.
2. Поместите курсор в окно электромагнитной структуры и нажмите клавишу **Tab** на клавиатуре. Откроется диалоговое окно **Enter Coordinates** (Ввод координат).
3. Введите **0** в поле **x**, введите **3.2** в поле **y** и нажмите **OK**.
4. Нажмите клавишу **Tab** снова, чтобы открыть диалоговое окно **Enter Coordinates**. Установите флажок в переключателе **Rel**, чтобы активизировать относительные координаты. Введите **3** в поле **dx**, **0.5** в поле **dy** и нажмите **OK**. Проводник прямоугольного сечения отображается в окне электромагнитной структуры.
5. Повторите пункты с 1-го по 4-ый, но введите **3** в поле **x**, **3.25** в поле **y**, **0.5** в поле **dx** и **0.4** в поле **dy**.
6. Повторите пункты с 1-го по 4-ый, но введите **3.5** в поле **x**, **2.95** в поле **y**, **2** в поле **dx** и **1** в поле **dy**.
7. Повторите пункты с 1-го по 4-ый, но введите **5.5** в поле **x**, **3.25** в поле **y**, **0.2** в поле **dx** и **0.4** в поле **dy**.
8. Повторите пункты с 1-го по 4-ый, но введите **5.7** в поле **x**, **2.5** в поле **y**, **2** в поле **dx** и **1.9** в поле **dy**.
9. Повторите пункты с 1-го по 4-ый, но введите **7.7** в поле **x**, **3.25** в поле **y**, **0.2** в поле **dx** и **0.4** в поле **dy**.
10. Повторите пункты с 1-го по 4-ый, но введите **7.9** в поле **x**, **2.95** в поле **y**, **2** в поле **dx** и **1** в поле **dy**.
11. Повторите пункты с 1-го по 4-ый, но введите **9.9** в поле **x**, **3.25** в поле **y**, **0.5** в поле **dx** и **0.4** в поле **dy**.
12. Повторите пункты с 1-го по 4-ый, но введите **10.4** в поле **x**, **3.2** в поле **y**, **3** в поле **dx** и **0.5** в поле **dy**.

6.2.4. Добавление портов и установка референсных плоскостей.

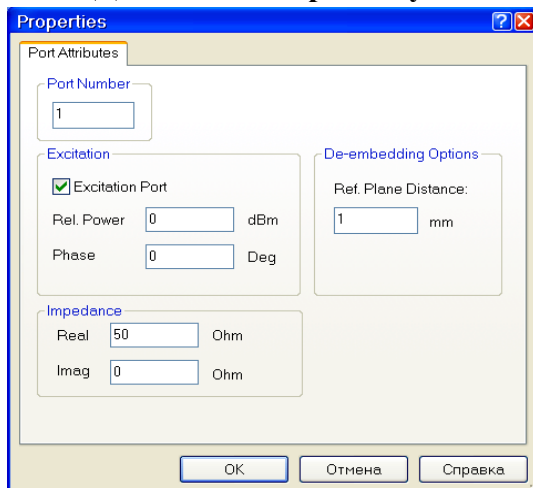


Рис. 6.56

1. Щёлкните левой кнопкой мышки по входному проводнику, чтобы выделить его.
2. Щёлкните левой кнопкой мышки по значку **Edge Port** на панели инструментов.
3. Поместите курсор на левый край входного проводника, пока не отобразится квадрат, и щёлкните левой кнопкой мышки, чтобы зафиксировать порт.
4. Дважды щёлкните левой кнопкой мышки по порту **1**. Откроется окно свойств порта (рис. 6.56). В поле **Ref. Plane Distance** введите расстояние **1 mm**, на которое нужно сдвинуть референсную плоскость. Нажмите **OK**.
5. Снова щёлкните левой кнопкой мышки по значку **Edge Port** на панели инструментов и установите порт **2** на выходной проводник. Сдвиньте референсную плоскость на **1 mm**, как описано в п.4.

6.2.5. Назначение материала проводникам.

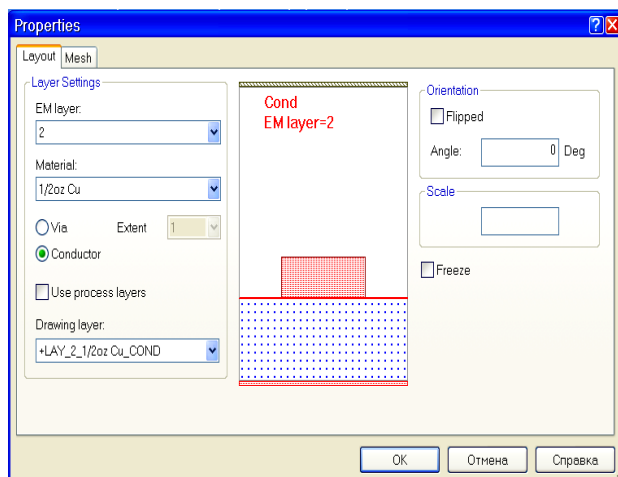


Рис. 6.57

поле **Material** введите **Res**.

1. Щёлкните левой кнопкой мышки по окну топологии, чтобы сделать его активным.
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..** Откроется окно **Properties** (рис. 6.57).
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

Окончательный вид структуры аттенюатора показан на рис. 6.58.

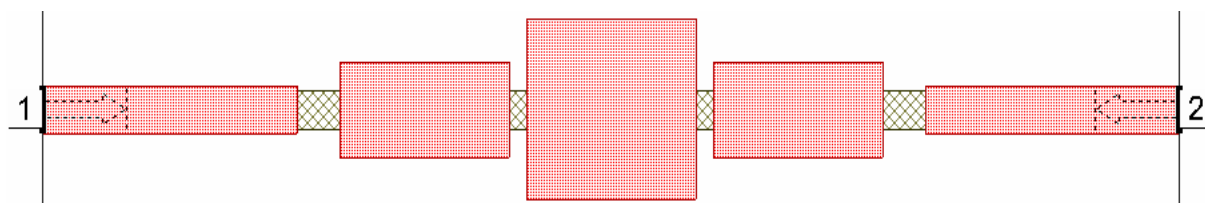


Рис. 6.58

6.2.6. 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** или щёлкните по значку **Output Equation**  на

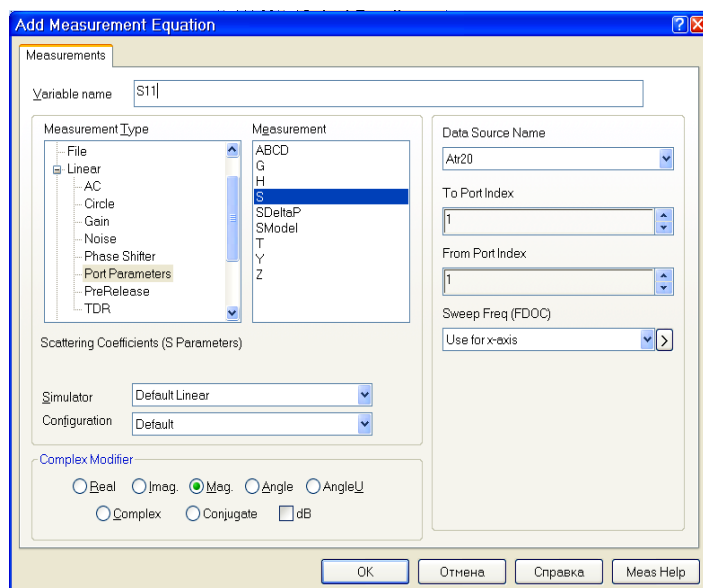


Рис. 6.59

окна уравнений и щёлкните левой кнопкой мышки. Появится выражение

$$S11 = \text{atr20}: |S(1,1)|$$

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 **Measurement 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 поле **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 переключателе **dB**, если она установлена, 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

$$S21 = \text{atr20}: |S(2,1)|$$

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**.

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

панели инструментов. Откроется диалоговое окно **Measurements** (Измеряемые величины). В текстовом поле **Variable name** (Имя переменной) введите S11, в списке **Measurement 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 переключателе **dB**, если она установлена, нажмите **OK** (рис.6.59). В окне уравнений появится поле ввода с курсором в виде крестика. Двигая мышку, установите это поле в верхней части

$S11 = \text{Atr20}:\text{S}(1,1)$
 $S21 = \text{Atr20}:\text{S}(2,1)$
 $\text{KstU} = (1 + S11) / (1 - S11)$
 $\text{LdB} = 20 * \log_{10}(1 / S21)$

8. Введите в поле вода уравнение:

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

Рис. 6.60

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

Добавленные уравнения будут выглядеть, как показано на рис. 6.60.

6.2.7. 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), ведите **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**.

6.2.8. Создание графика, добавление измеряемых величин и анализ.

1. Щёлкните по значку **Add 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**.

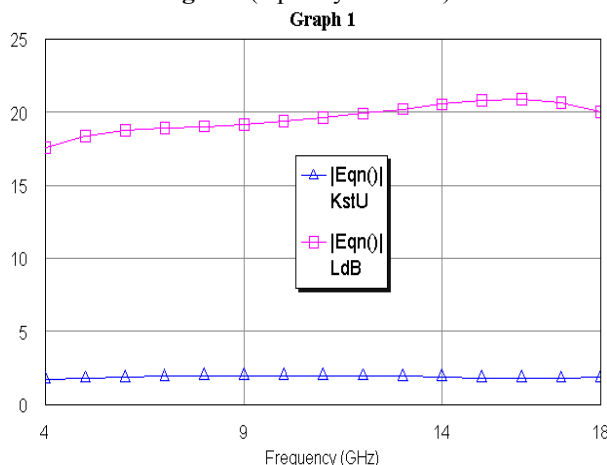


Рис. 6.61

3. Щёлкните правой кнопкой мышки по подгруппе **Graph 1** в окне просмотра проекта и выберите **Add Measurement**.
4. Выберите **Output Equations** в списке **Measurement 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**. Нажмите **OK**.
6. Щёлкните левой кнопкой мышки по значку **Analyze** на панели инструментов.

Результаты анализа отображаются на графике рис. 6.61.

6.2.9. Вывод результатов в файл.

1. Щёлкните правой кнопкой мышки по группе **Output Files** (Выходные файлы).
2. Выберите **Add Output File**, откроется окно **New Output File**, показанное на рис. 6.62. Отметьте **Port Parameter** и нажмите **OK**.
3. В открывшемся окне рис. 6.63 выберите **S Parameter** в области **Data Type** (Тип данных). В области **Format** выберите формат данных, сохраняемых в файле, например, **Mag/Ang**.

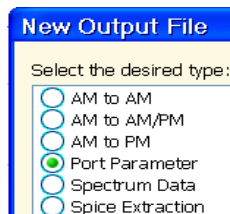


Рис. 6.62

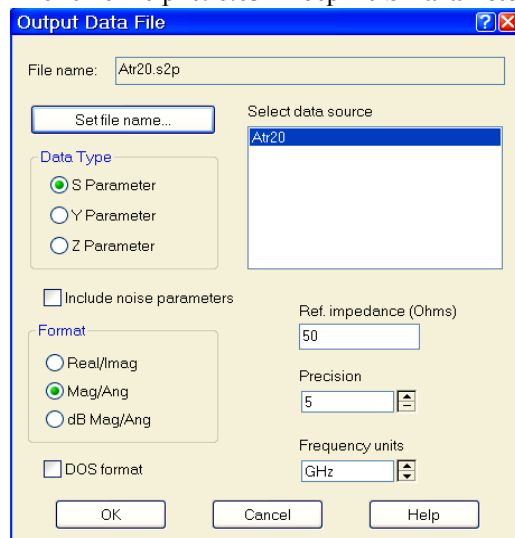


Рис. 6.63

области **Format** выберите формат данных, сохраняемых в файле, например, **Mag/Ang**.

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.

6.2.10. 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

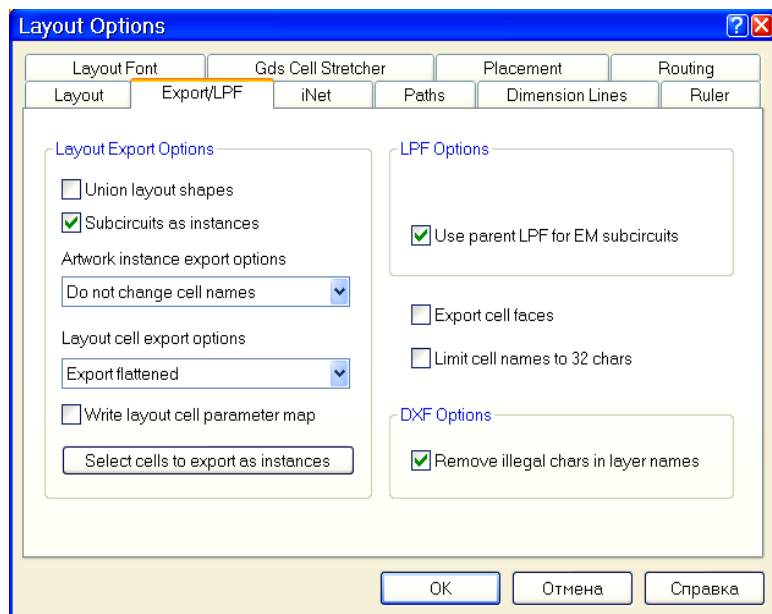


Рис. 6.64

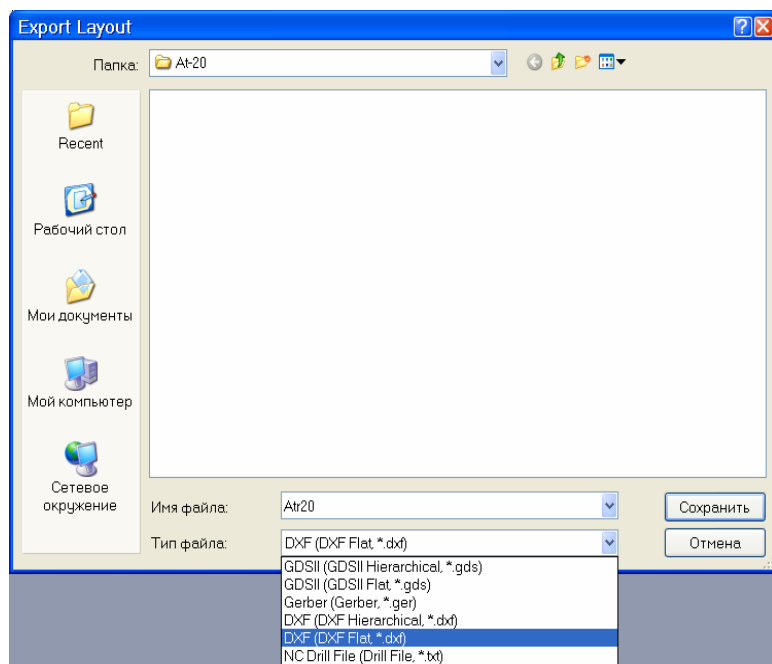


Рис. 6.65

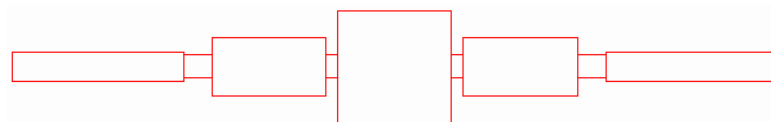


Рис. 6.66

рис. 6.66. Обратите внимание, что экспортирована только топология без контура платы. При необходимости можно экспортировать не только одну топологию проводников, но и контур платы. Для этого на всю плату нужно также нанести слой черчения, который в файле default.lpf (этот файл загружен в проект по умолчанию) определён для экспорта, но не влияет на результаты анализа. Таким слоем является слой черчения **Error**.

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. 6.57). 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 Layout, то dxf файл будет создан. Но AutoCAD прочесть его не сможет и выдаст сообщение, что в файле имеется строка с недопустимым именем слоя. Чтобы устранить эту проблему, нужно включить опцию исправления имени слоёв, которая отключена по умолчанию. Чтобы сделать это:

1. Выберите в меню **Options>Layout Options**. Откроется окно опций топологии (рис. 6.64).
2. Откройте вкладку **Export/LPF**. В области **DXF Options** отметьте **Remove illegal chars in layer names** (Удалить недопустимые символы в именах слоёв) и нажмите **OK**.

Теперь можно выполнять экспорт топологии. Для этого щёлкните правой кнопкой по имени электромагнитной структуры **Atr20** в окне просмотра проекта и выберите **Export Layout**. В открывшемся окне установите тип файла **DXF(DXF Flat, *.dxf)** и нажмите **Сохранить** (рис. 6.65).

Топология, загруженная в AutoCAD из созданного dxf файла, будет выглядеть, как показано на

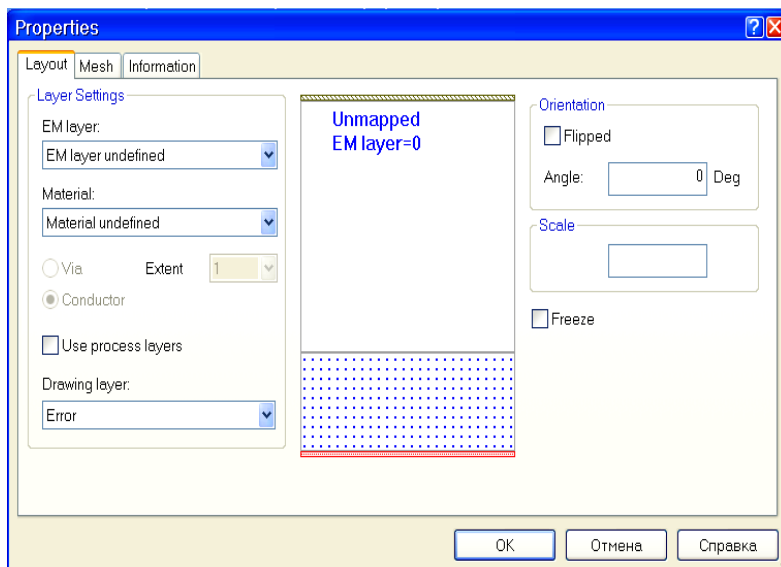


Рис. 6.67

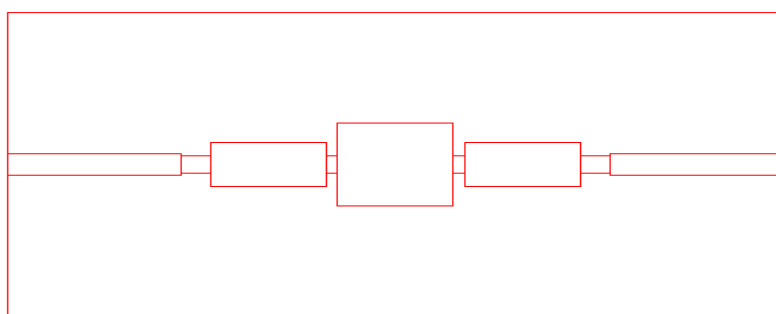


Рис. 6.68

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 **Attenuator**, 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. 6.69.

Выполните экспорт созданной электромагнитной структуры. В AutoCAD она будет выглядеть, как показано на рис. 6.70.

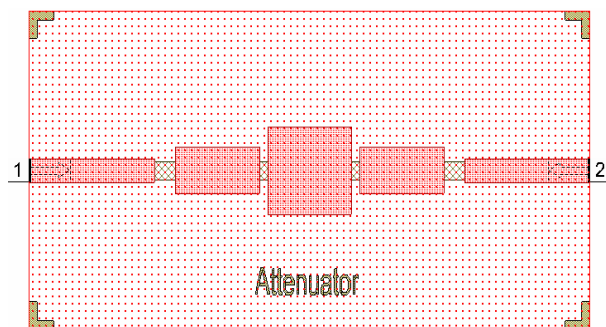


Рис. 6.69

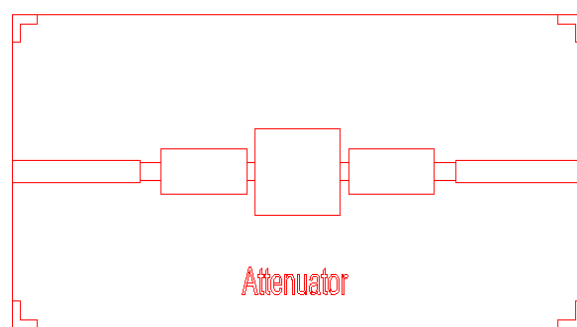


Рис. 6.70

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

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 введите **Error** в поле **Drawing Layer**, оставив значения остальных полей по умолчанию (рис. 6.67). Нажмите **OK**.

Щёлкните по значку **Analyze**, чтобы убедиться, что характеристики структуры не изменились.

Выполните экспорт, как описано выше. Теперь топология, загруженная в AutoCAD, будет выглядеть, как показано на рис. 6.68.

При необходимости на созданном слое **Error** можно нанести дополнительные топологические элементы, например реперные знаки и строки текста.

Щёлкните мышкой по значку **Polygon** на панели инструментов. Установите курсор на левый верхний

6.3 Моделирование микрополоскового двухсекционного делителя мощности.

Создайте новый проект и сохраните его, присвоив имя **Divider**, как описано в примере 6.2.

Создайте электромагнитную структуру, как описано в примере 6.2, 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 **Dielectric Definitions** введите **10.55** в поле **Er**, введите **0.0001** в поле **TanD**. Для области **Conductor Definitions**, щёлкая мышкой по кнопке **Add**, добавьте материалы проводника **Aluminum** и **Resist**, как описано в примере 6.2.

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 6.2.

6.3.1. Создание топологии входного проводника.

1. Щёлкните по значку **View Area** на панели инструментов и выделите среднюю часть платы возле левого края так, чтобы хорошо была видна сетка. Это облегчит черчение.
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:
 - о двигайте курсор вправо, пока будет **dx:0.1 dy:0**;
 - о двигайте курсор вниз, пока будет **dx:0 dy:-0.15**;
 - о двигайте курсор влево, пока будет **dx:-0.1 dy:0**;
 - о нажмите клавишу **Tab**, в открывшемся окне в поле **dx** введите **-0.4**, в поле **dy** введите **-0.25**, нажмите **OK**;
 - о нажмите клавишу **Tab**, в открывшемся окне в поле **dx** введите **0.4**, в поле **dy** введите **-0.25**, нажмите **OK**;
 - о двигайте курсор вправо, пока будет **dx:0.1 dy:0**;
 - о двигайте курсор вниз, пока будет **dx:0 dy:-0.15**;
 - о двигайте курсор влево, пока будет **dx:-0.1 dy:0**;
 - о нажмите клавишу **Tab**, в открывшемся окне в поле **dx** введите **-0.3**, в поле **dy** введите **0.15**, нажмите **OK**;
 - о 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.

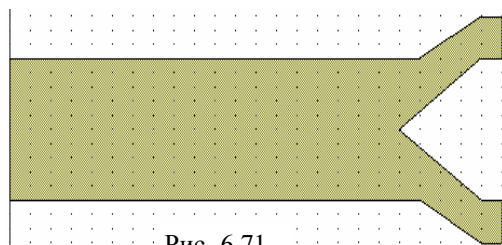


Рис. 6.71

8. 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 и равными 2.3 мм. В противном случае поместите курсор на созданный проводник, нажмите левую кнопку мышки и, двигая проводник, поместите его симметрично относительно стенок корпуса.

Полученная топология входного проводника показана на рис. 6.71.

Примечание. Если дважды щёлкнуть левой кнопкой по проводнику, в серединах ограничивающих проводник линиях появятся тёмно-синие ромбики, а в углах – тёмно-синие квадратики. Поместив курсор на такой ромбик или квадратик так, чтобы он отображался в виде двойной стрелки, можно, нажав левую кнопку мышки, двигать линию или угол топологии и, таким образом, редактировать топологию. Если установить курсор на вершину многоугольника и перемещать её с нажатой кнопкой мышки, то будет перемещаться и сторона, прилегающая к этой вершине. Если при перемещении вершины нажать клавишу **Shift**, то будет перемещаться только вершина.

6.3.2. Создание топологии проводников плеч делителя.

1. Щёлкните левой кнопкой мышки по значку **Rectangle** на панели инструментов.
2. Поместите курсор в окно электромагнитной структуры и нажмите клавишу **Tab** на клавиатуре. Откроется диалоговое окно **Enter Coordinates**.
3. Введите **2.4** в поле **x**, введите **2.95** в поле **y** и нажмите **OK**.
4. 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**.
5. 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.
6. 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**.
7. Выделите созданный проводник, если он не выделен, щёлкните по значку **Copy** и затем по

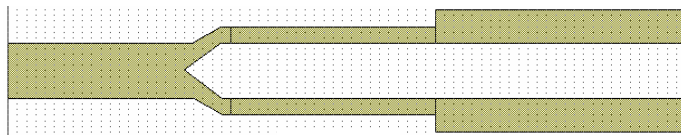


Рис. 6.72

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. 6.72.

6.3.3. Создание топологии выходных проводников.

1. Щёлкните левой кнопкой мышки по значку **Auto View** на панели инструментов, чтобы отобразить всю плату.
2. Щёлкните левой кнопкой мышки по значку **Zoom Area** на панели инструментов и выделите правую часть обоих последних проводников делителя так, чтобы была видна сетка.
3. Щёлкните левой кнопкой мышки по значку **Rectangle** на панели инструментов.
4. 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**.
5. Выделите созданный проводник, если он не выделен, щёлкните по значку **Copy** и затем по

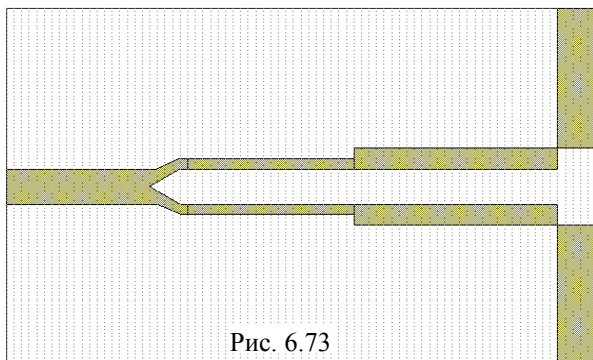


Рис. 6.73

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. 6.73.

6. Щёлкните левой кнопкой мышки по значку **Polygon** на панели инструментов.
7. Поместите курсор на правый нижний угол верхнего выходного проводника, щёлкните левой кнопкой мышки, пере-

местите курсор на **0.5** мм влево, щёлкните левой кнопкой мышки, переместите курсор на **0.3** мм вниз и дважды щёлкните левой кнопкой мышки.

8. 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. 6.74.

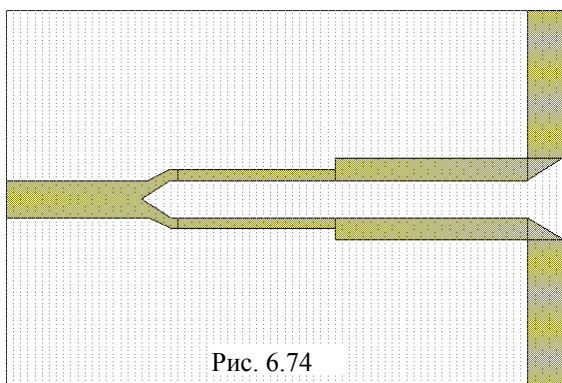


Рис. 6.74

9. 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**.

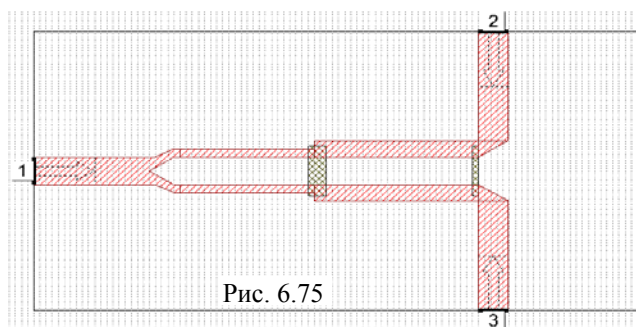
- Щёлкните правой кнопкой мышки по любому выделенному проводнику и выберите **Shape Properties**. В открывшемся окне в поле **Material** введите **1/2oz Cu** и нажмите **OK**.

6.3.4. 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 поочерёдно 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**.

6.3.5. Добавление портов и установка референсных плоскостей.

Добавьте порты к входному проводнику, и затем к верхнему и нижнему выходным проводникам, как описано в примере 6.2 и сдвиньте их референсные плоскости на 1 мм внутрь электромагнитной структуры. Должна получиться топология, показанная на рис. 6.75.



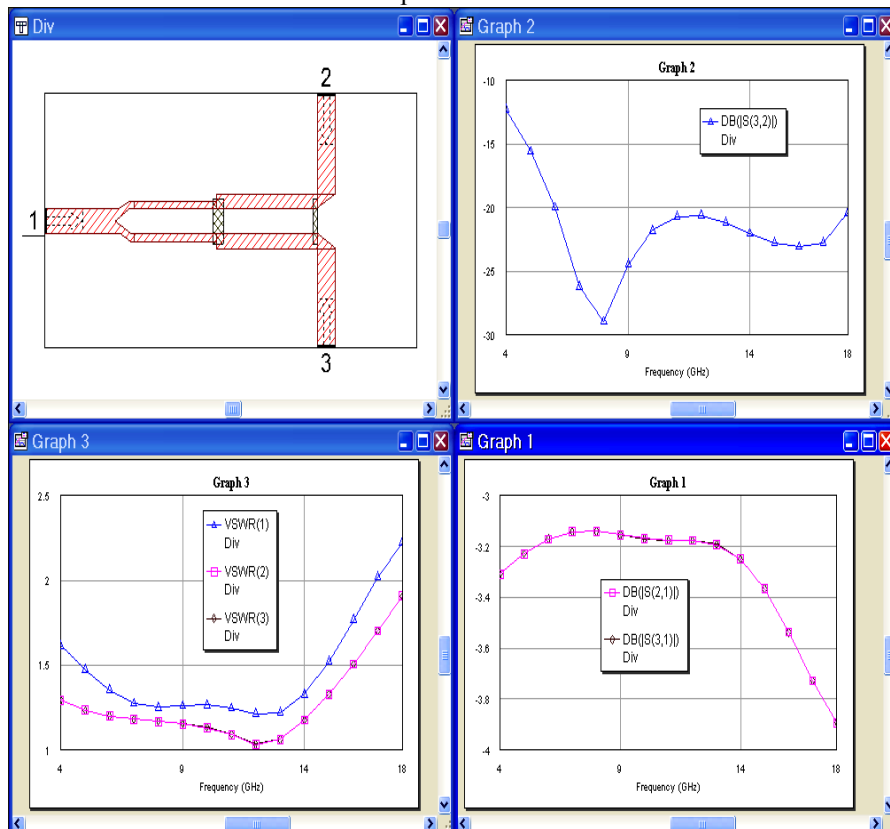
6.3.6. Определение частот для моделирования.

Определите частоты для моделирования, как описано в примере 6.2, но введите **4** в поле **Start**, **18** в поле **Stop** и **1** в поле **Step**.

6.3.7. Создание графиков, добавление измеряемых величин и анализ.

Создайте прямоугольный график **Graph 1** и добавьте к нему измеряемые величины, как описано в примере 6.2. В окне **Add Measurement** выберите **Port Parameter** в списке **Measurement 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**.

Создайте прямоугольный график **Graph 2** и добавьте к нему следующую измеряемую величину. В окне **Add Measurement** выберите **Port Parameter** в списке **Measurement Type**, **S** в списке **Measurement**, **Div** 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**.



Создайте прямоугольный график **Graph 3** и добавьте к нему следующую измеряемую величину. В окне **Add Measurement** выберите **Linear** в списке **Measurement Type**, **VSWR** в списке **Measurement**, **Div** в поле **Data Source Name**, **1** в поле **Port Index**, снимите отметку **dB**. Нажмите **Apply**. Введите **2** в поле **Port Index** и нажмите **Apply**. Введите **3** в поле **Port Index** и нажмите **Apply**. Нажмите **OK**.

Щёлкните левой кнопкой мышки по значку **Analyze** на панели инструментов. Выберите в меню **Window>Tile Vertical**. Результаты анализа отображаются на графиках рис. 6.76.

6.3.8. Экспорт топологии в DXF файл.

В предыдущем примере экспорт топологии выполнялся непосредственно из окна электромагнитной структуры. Другим вариантом экспорта топологии при установках по умолчанию может быть предварительное копирование в окно топологии схемы.

1. Щёлкните мышкой по значку **Add New Schematic** и создайте схему с именем **Div_Schematic**. Откроется пустое окно схемы.
2. Щёлкните мышкой по значку **View Layout** 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**.
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.
6. По умолчанию слой черчения для всех элементов топологии при копировании назначен с именем **Error**. Пользуясь тем, что dxf файл не содержит никакой информации о материале топологических элементов, мы для экспорта можем назначить всем топологическим элементам слой черчения, который уже имеется в lpf файле. В файле default.lpf такими слоями

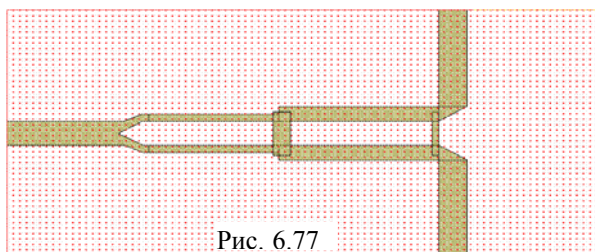


Рис. 6.77

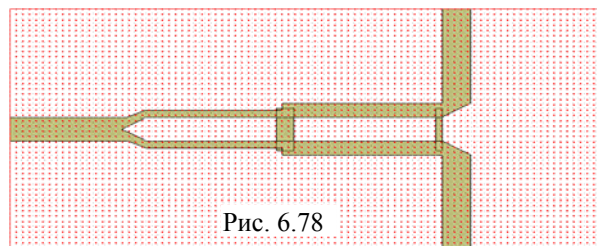


Рис. 6.78

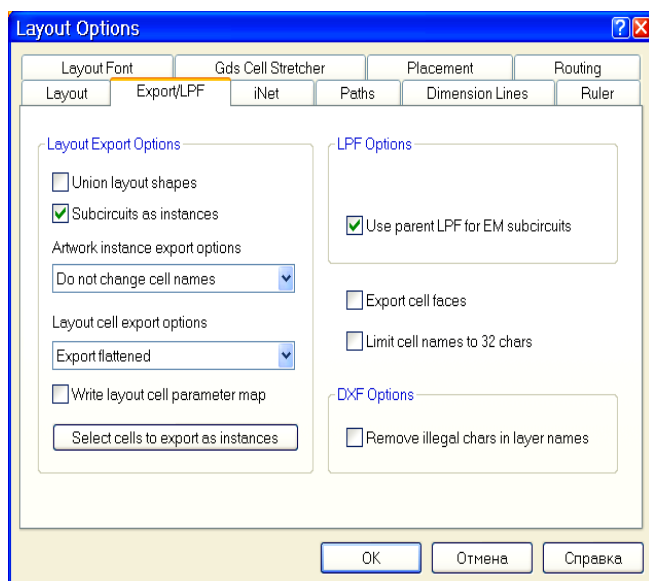


Рис. 6.79

тип файла **DXF(DXF Flat, *.dxf)** и нажмите **Сохранить**.

являются слои **Error** и **Copper**. Поэтому можно оставить для всех элементов слой **Error**. Но для удобства отображения назначим элементам топологии делителя слой **Copper**. Установите курсор левее и выше прямоугольника топологии, нажмите левую кнопку мышки и переместите курсор правее и ниже топологии, но не правее кнопки мышки и выберите **Shape Properties**. В открывшемся окне в поле **Draw Layers** введите **Copper** и нажмите **OK**. Должна получиться топология, показанная на рис. 6.77.

7. В Microwave Office имеется опция, которая позволяет объединить все элементы топологии в один элемент в процессе экспорта. В нашем случае нежелательно объединять элементы проводников и резисторов делителя. Поэтому эту функцию необходимо отключить. Можно объединить проводники делителя, но это нужно сделать до экспорта структуры. Нажмите клавишу **Shift** и щёлкните мышкой поочередно по всем проводникам делителя, чтобы выделить их. Затем щёлкните по значку **Union** на панели инструментов. Топология будет иметь вид рис. 6.78.
8. Выберите в меню **Options>Layout Options**. На вкладке **Export/LPF** открывшегося окна снимите “галочку” возле опции **Union layout shapes** в области **Layout Export Options** (рис. 6.79) и нажмите **OK**.
9. Выберите в меню **Layout>Export**. В открывшемся окне установите

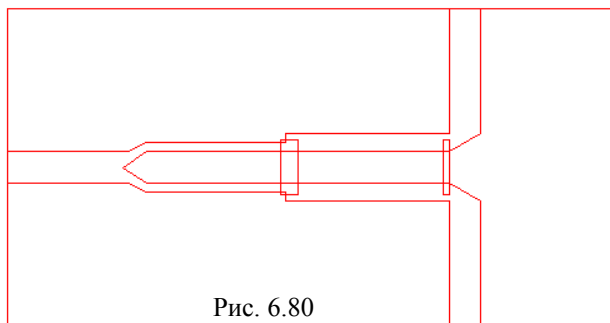


Рис. 6.80

В AutoCAD топология из созданного DXF файла будет выглядеть, как показано на рис. 6.80.

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, а просто скопировать топологию делителя.

6.3.9. Импорт топологии из DXF файла.

В Microwave Office 2009, в отличие от 7-ой версии, топологию можно импортировать непосредственно в электромагнитную структуру. Т.к. в каталоге AWR нет DXF файлов, будем использовать файл, созданный в этом примере.

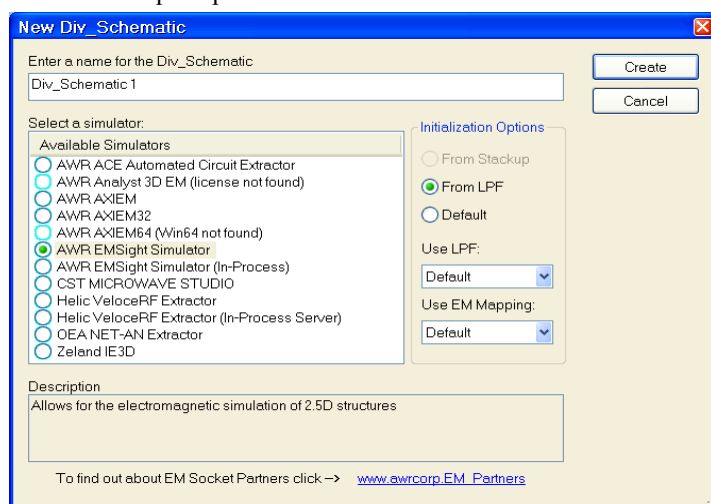


Рис. 6.81

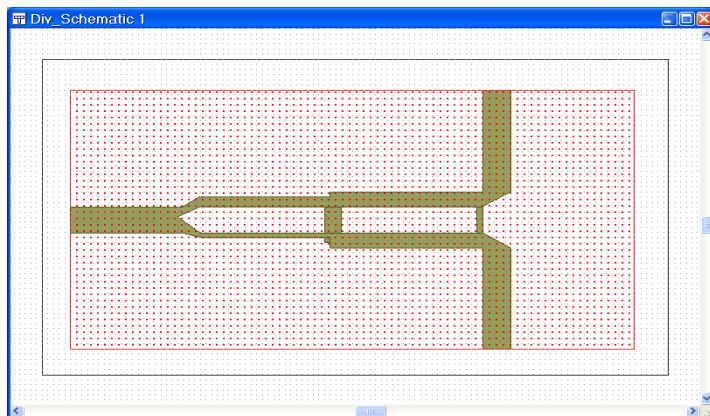


Рис.6.82

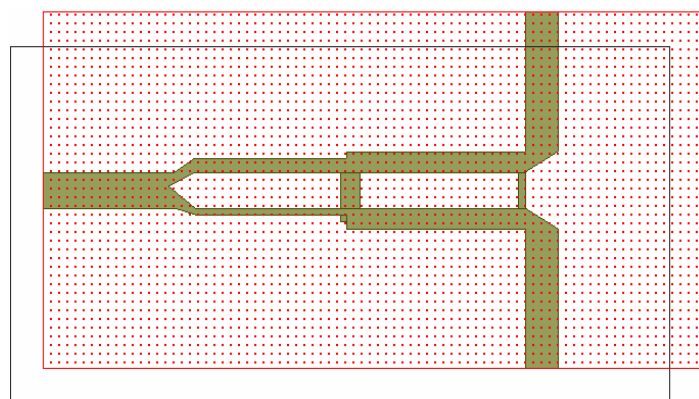


Рис.6.83

1. Создайте новый проект, выбрав в меню **File>New Project**, и сохраните его под именем **Divider-Import**, выбрав в меню **File>Save Project As**.
2. Щёлкните правой кнопкой мышки по группе **EM Structures** в окне просмотра проекта и выберите **Import DXF**. В открывшемся окне найдите файл **Div_Schematic** и загрузите его в проект. Откроется окно с запросом, какие единицы измерения использовать. Введите **mm** и нажмите **OK**. В следующем окне будет сообщение, какие слои будут сгенерированы автоматически. Нажмите **OK**. Откроется окно **New Div_Schematic** (рис. 6.81). В этом окне введите имя создаваемой структуры или оставьте по умолчанию. Отметьте **AWR EMSight Simulator** и нажмите **Create**. Импортированная структура показана на рис. 6.82. Созданный по умолчанию корпус больше импортированной структуры.
3. Щёлкните по значку **Substrate Information** на панели инструментов. Откроется окно свойств электромагнитной структуры.
4. На вкладке **Enclosure** введите **10** в поле **X_Dim**, **5.1** в поле **Y_Dim**, **0.1** в поле **Grid_X** и **0.05** в поле **Grid_Y**. На всех вкладках окна свойств электромагнитной структуры введите те же параметры, которые были введены в начале этого примера. Структура может выглядеть, как показано на рис. 6.83. Т.е. импортированная топология может не совпадать с созданным корпусом.

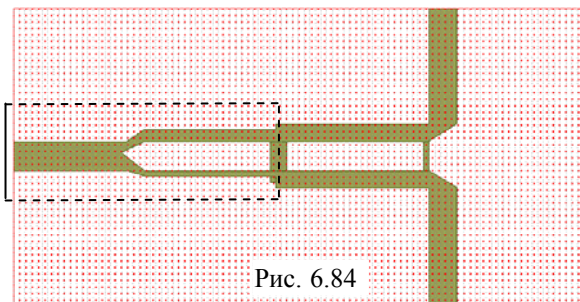


Рис. 6.84

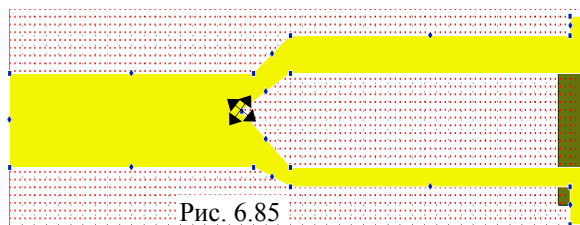


Рис. 6.85

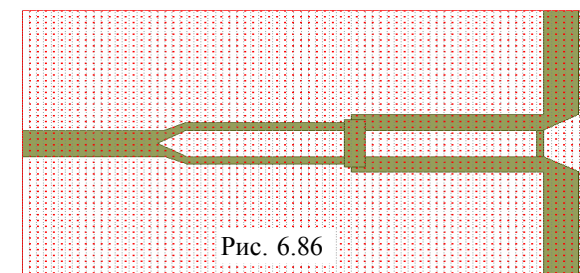


Рис. 6.86

верхней стороны верхнего проводника делителя так, чтобы он отображался в виде двойной стрелки. Нажмите левую кнопку мышки, нажмите клавишу **Shift** и сдвиньте эту сторону на 0.05 мм вниз, чтобы ширина проводника была 0.15 мм.

12. Аналогично сдвиньте нижнюю сторону нижнего проводника на 0.5 мм вниз. Топология будет выглядеть, как показано на рис. 6.86.

13. Выделите проводники топологии, кроме резисторов, щёлкните по 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.

Теперь можно определить частоты, создать графики и выполнять моделирование.

Другой способ импорта топологии заключается в том, что сначала топологию нужно импортировать в редактор топологического чертежа **Artwork Editor**, затем копировать и вставить 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.

1. Откройте менеджер топологии, щёлкнув мышкой о панели **Layout** в левом нижнем углу окна проекта.

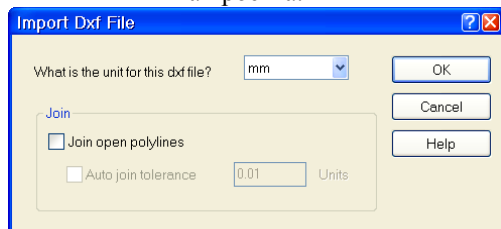


Рис.6.87

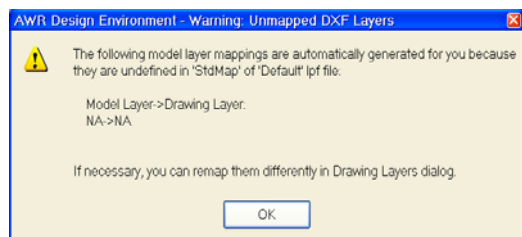


Рис. 6.88

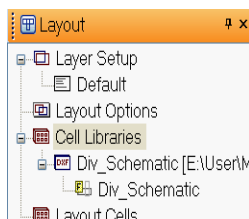


Рис.6.89

5. Установите курсор выше и левее топологии, переместите курсор правее и ниже топологии так, чтобы вся топология попала в образовавшийся прямоугольник, отпустите кнопку мышки.

6. Установите курсор на топологию, нажмите левую кнопку мышки и переместите топологию в корпус (рис. 6.84).

7. Проводники в первой секции делителя импортированы с ошибкой (ширина верхнего проводника 0.2, а нижнего – 0.1 мм). Возможно, это связано с различной точностью размеров в AutoCAD и в Microwave Office или по другой причине. В таких случаях требуется редактирование топологии.

8. Щёлкните по значку **View Area** на панели инструментов и увеличьте отображение части делителя, указанной на рис. 6.84.

9. Дважды щёлкните по проводнику делителя. Установите курсор на квадратик в точке разветвления проводника так, чтобы он отображался в виде перекрещенных стрелок (рис. 6.85).

10. Нажмите левую кнопку мышки и сместите эту точку виз на 0.05 мм (**dy:-0.05**), чтобы точка разветвления располагалась по центральной оси входного проводника.

11. Установите курсор на ромбик посередине

2. Щёлкните правой кнопкой мышки по **Cell Libraries** и выберите **Import DXF Library**.

3. 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. 6.87). Введите **mm** и нажмите **OK**. Откроется следующее окно, в котором сообщается, какие слои будут созданы автоматически (рис. 6.88), нажмите **OK**. В окне менеджера топологии появится имя библиотеки элементов

элементов **Div_Schematic** (с указанием пути к DXF файлу) и в этой библиотеке будет ячейка с таким же именем (рис. 6.89).

4. Дважды щёлкните мышкой по имени ячейки в появившейся библиотеке элементов. Откроется окно редактора ячейки с импортированной топологией (рис. 6.90).

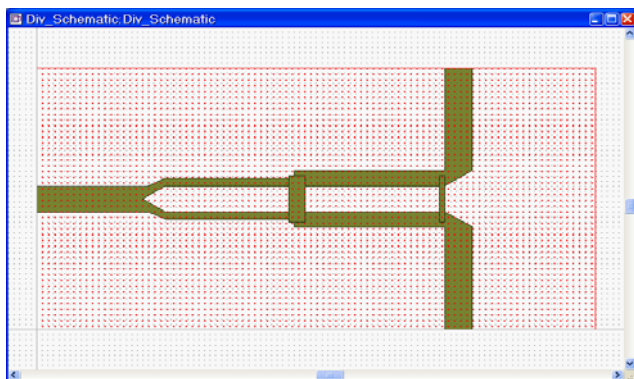


Рис. 6.90

5. Выберите в меню **Options>Project Options** или дважды щёлкните мышкой по **Project Options** в левом окне просмотра проекта. Откроется диалоговое окно **Project Options**.
6. На вкладке **Global Units** этого окна в поле **Frequency** введите **GHz**, в поле **Length type** введите **mm** и нажмите **OK**.
7. Выберите в меню **Edit>Select All**, чтобы выделить всю топологию и затем щёлкните по значку **Copy** на панели инструментов, чтобы скопировать топологию.

8. Щёлкните по значку **Add New EM Structure** на панели инструментов и создайте электромагнитную структуру с именем **Div_EM**.
9. Щёлкните по значку **Substrate Information** на панели инструментов. Определите параметры корпуса и материалов, как описано выше.
10. Щёлкните по значку **Paste** на панели инструментов и вставьте скопированную структуру в корпус. Электромагнитная структура будет выглядеть, как показано на рис. 6.90.
11. 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.

Заметим, что в этом способе импортирования, ошибок при импорте топологии не было.

Замечание. При импорте dxf-файла непосредственно в электромагнитную структуру, автоматически топология импортируется одновременно и в редактор **Artwork Editor**. Причём иногда импорт в электромагнитную структуру не производится, но топология появляется в **Artwork Editor**. Поэтому, если в электромагнитную структуру топология импортирована с ошибкой (или вообще не импортирована), её можно вместо редактирования просто удалить и скопировать из **Artwork Editor**.

6.4. Моделирование микрополоскового двухсекционного симметризованного направленного ответвителя.

В этом примере введём 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 идею на простом примере структуры с двумя слоями диэлектрика (т.е. всего будет три слоя вместе со слоем воздуха).

6.4.1. Создание нового проекта.

1. Выберите **File>New Project** (Файл>Новый проект) в выпадающем меню.
2. Выберите **File>Save Project As** (Файл>Сохранить проект как) в выпадающем меню. Откроется диалоговое окно **Save As**.
3. Наберите **NO** 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**.

6.4.2. Добавление слоёв черчения 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. 6.91) с перечнем слоёв черчения, имеющихся в LPF файле. Альтернативно это окно можно вызвать, выбрав в меню **Options>Drawing Layers**.

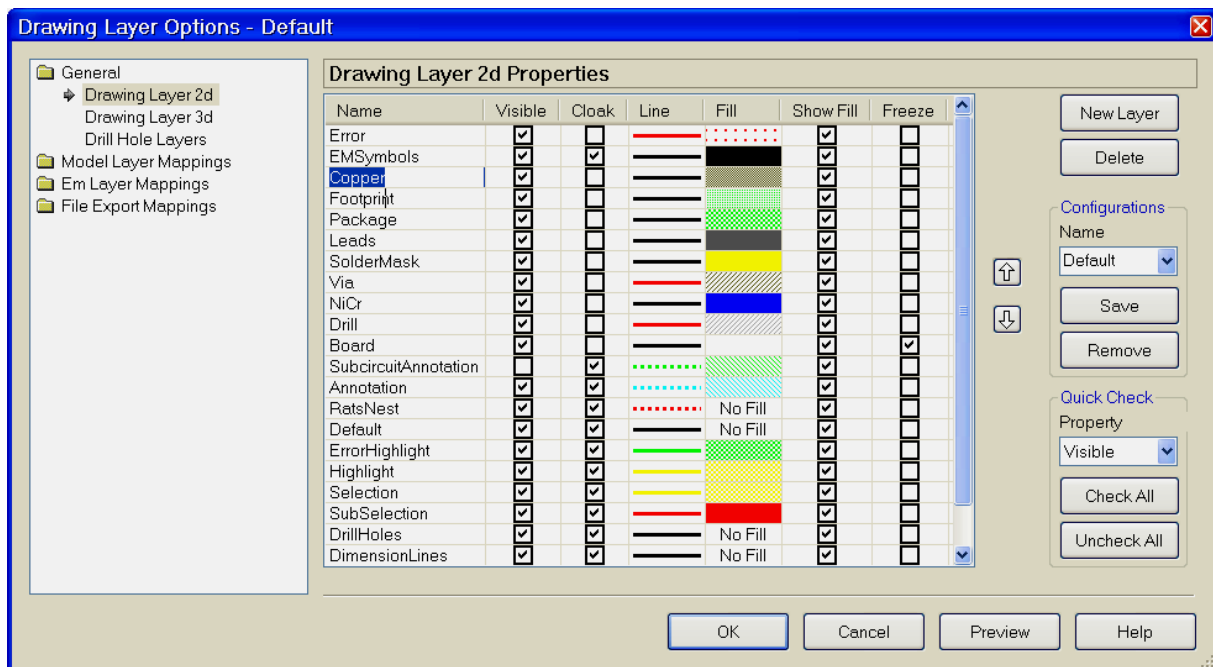


Рис. 6.91

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:

- o **Drawing Layer 2d** – слои черчения для двухмерного представления структуры;
- o **Drawing Layer 3d** – слои для трёхмерного отображения структуры;
- o **Drill Hole Layers** – слои для черчения отверстий.
- o В правой части окна на странице **Drawing Layer 2d Properties** (Свойства слоёв черчения в двухмерном представлении) имеются следующие столбцы:
 - o **Name** – имя слоя;
 - o **Visible** (Видимость) – если отмечено, слой будет отображаться в структуре;
 - o **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);
 - o **Line** – дважды щёлкнув мышкой в этом столбце, можно выбрать тип линии и её цвет для черчения топологических элементов;
 - o **Fill** (Заполнение) – дважды щёлкнув мышкой в этом столбце, можно выбрать тип и цвет заполнения (штриховки) вычерчиваемых топологических форм.
 - o **Show Fill** (Показать заполнение) – если отмечено, топологическая форма в окне топологии схемы будет отображаться заполненной, в противном случае будет отображаться только её контур.
 - o **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.

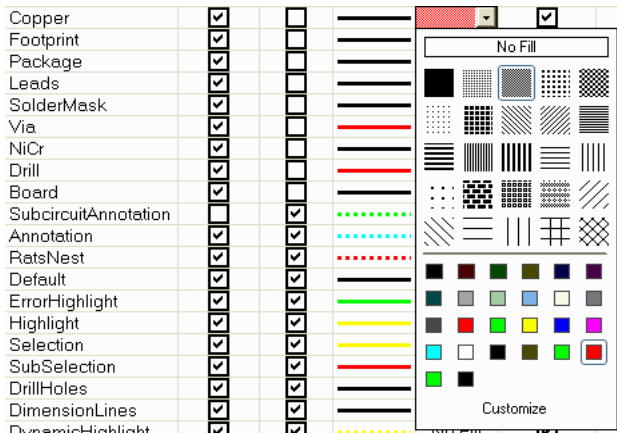


Рис. 6.92

красный цвет для заполнения. Снова щёлкните в столбце **Fill** и выберите тип заполнения, отличный от заполнения слоя **Copper**. Отметьте **Show Fill**. На этом слое будем вычерчивать медные проводники на 2-м слое, т.е. на верхнем слое диэлектрика.

1. Дважды щёлкните в строке **Copper** в столбце **Fill**. Откроется дополнительное окно рис. 6.92. В верхней части этого окна можно определить тип заполнения, а в нижней – цвет. Оставьте тип заполнения по умолчанию, отметьте красный цвет. Этот слой будем использовать для черчения медных проводников на нижнем слое диэлектрика, т.е. на 3-м слое.
2. Щёлкните по кнопке **New Layer**. Под слоем **Copper** появится слой **Layer1**. Переименуйте этот слой в **Copper1**. Отметьте **Visible**. Дважды щёлкните в столбце **Fill** и выберите

- Щёлкните по кнопке **New Layer**. Под слоем **Copper1** появится слой **Layer1**. Переименуйте этот слой в **Res**. Отметьте **Visible**. Дважды щёлкните в столбце **Fill** и выберите тип и цвет для заполнения. Отметьте **Show Fill**. На этом слое будем вычерчивать резисторы.
- У нас будет два слоя диэлектрика, поэтому потребуется два слоя платы. Отметьте слой **Board** и щёлкните по кнопке **New Layer**. Переименуйте новый слой в **Board 1**. Для слоёв платы отметьте **Visible**, и **Show Fill**. Дважды щёлкните мышкой в столбце **Fill** и выберите сплошное заполнение (чёрный квадратик в левом верхнем углу верхней части выпадающего окошка на рис. 6.92) и белый цвет в нижней части окошка. Обычно эти значения установлены по умолчанию. Слои платы используем только для наглядного отображения структуры при её трёхмерном отображении. Для создания электромагнитной структуры и анализа они не требуются. Окно свойств слоёв для 2-х мерного черчения будет выглядеть, как показано на рис. 6.93.

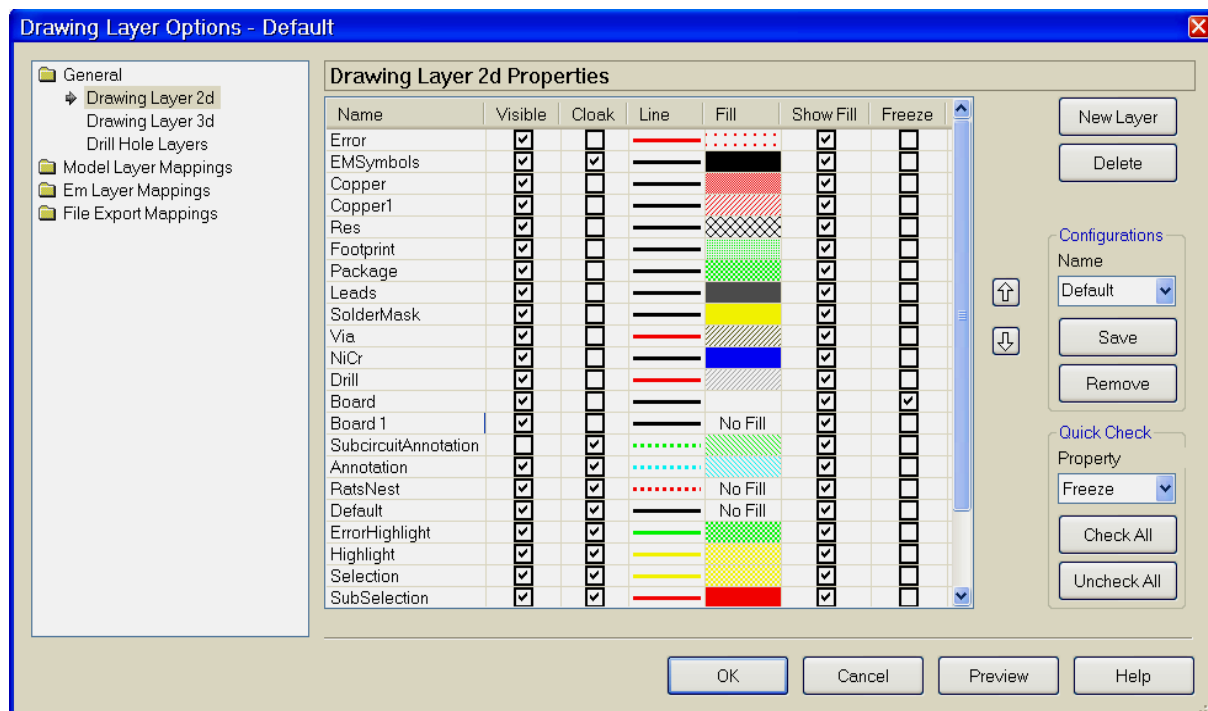


Рис. 6.93

- 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 (рис. 6.94).

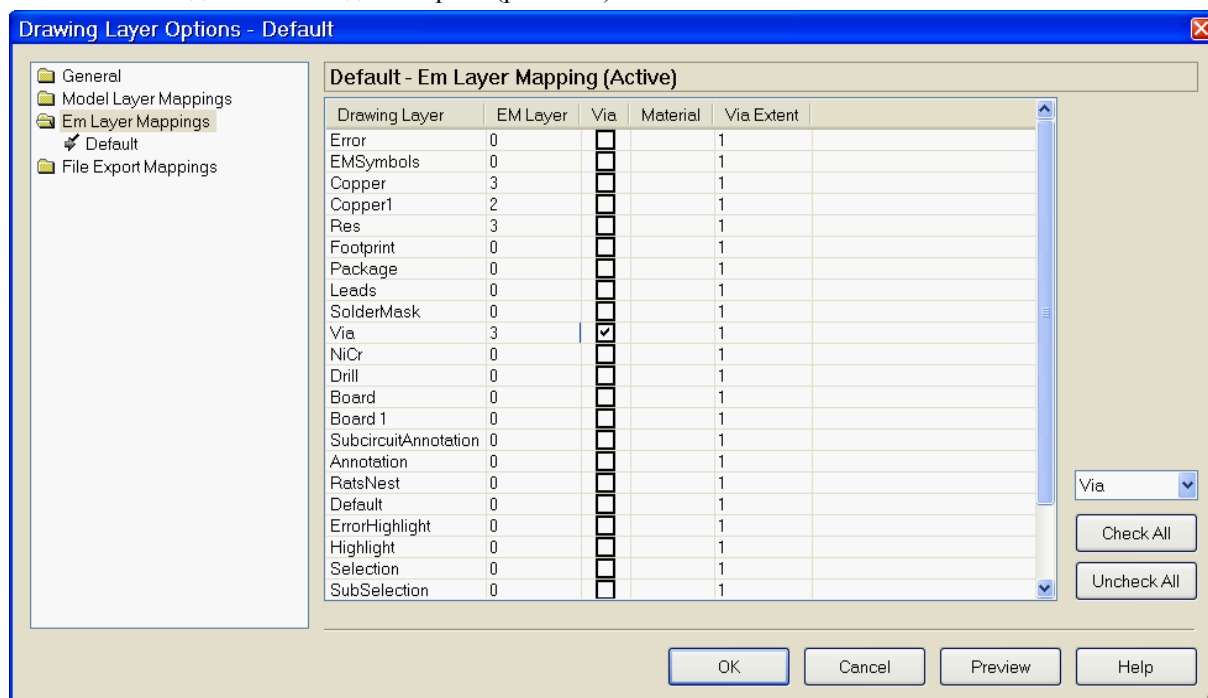


Рис. 6.94

- Для слоя черчения **Copper** установите третий слой диэлектрика, введя **3** в столбце **EM Layer**. Для слоя черчения **Copper 1** установите второй слой диэлектрика, введя **2** в столбце **EM Layer**. Для слоя черчения **Res** установите третий слой диэлектрика, введя **3** в столбце **EM Layer**. Для слоя черчения перемычки **Via** установите третий слой диэлектрика, введя **3** в столбце **EM Layer**, отметьте столбец **Via** и в столбце **Via Extent** введите **1**. Это будет означать, что перемычка начинается на слое **3** и её протяжённость будет вниз на один слой.
- Щёлкните мышкой по папке **File Export Mappings** и затем по **DXF (DXF)**. В открывшейся таблице определяется, какие слои должны быть записаны в DXF файл при экспорте топологии в этом формате. Эту таблицу будем использовать для экспорта топологии с третьего слоя диэлектрика. Поэтому отметьте слои **Copper**, **Res** и **Via**. В этом случае будет экспортироваться только топология проводников без контура платы. Чтобы экспортировать контур платы отметьте также **Board**. Снимите отметки у остальных слоёв. В столбце **File Layer** указывается, под каким именем каждый слой будет записан в DXF файл. Обычно это не имеет значения и можно оставить имена слоёв в файле по умолчанию. Но при необходимости вы можете присвоить свои имена. Если предполагается выполнить экспорт топологии со всех слоёв или нескольких, то нужно создать таблицы для каждого экспортируемого слоя. Щёлкните правой кнопкой мышки в левой части окна и выберите **New DXF File Export Mapping**. В левой части окна появится имя новой таблицы **FileMap1 (DXF)**. В правой части окна щёлкните по кнопке **Uncheck All**, чтобы снять отметки у всех слоёв, и затем отметьте **Copper1** и **Board1** (рис. 6.95).
- Нажмите **OK**.

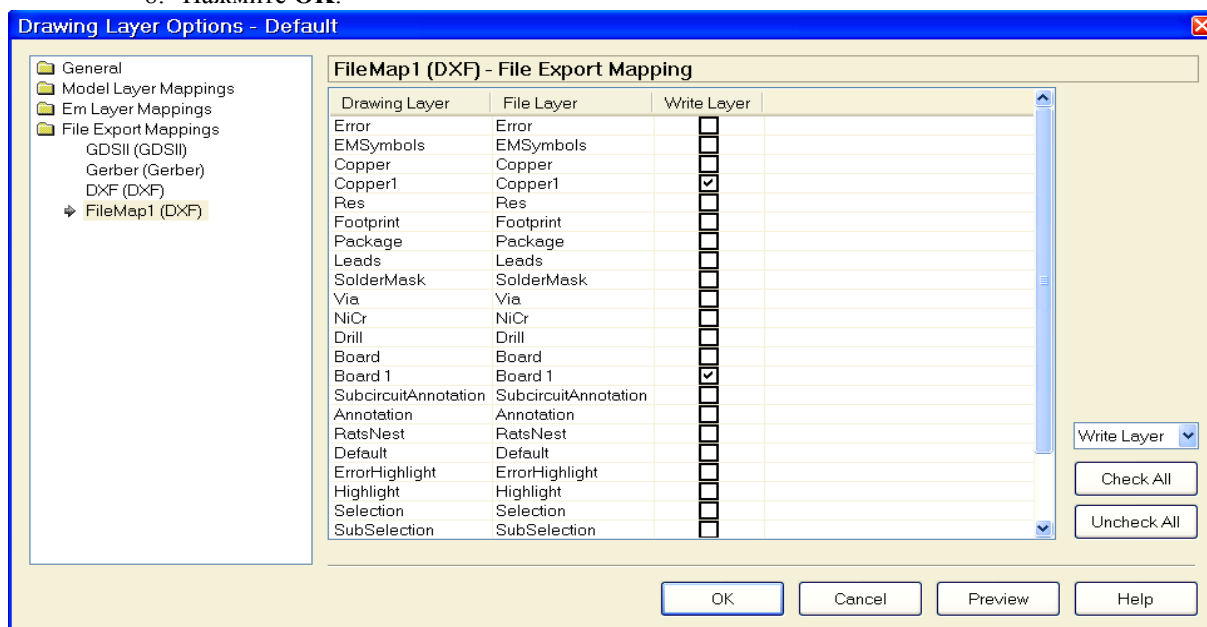


Рис. 6.95

Заметим, что все указанные установки должны быть сделаны до создания электромагнитной структуры. Если в проекте требуется создать несколько электромагнитных структур с различными установками, нужно сделать установки для всех предполагаемых структур.

Теперь создадим электромагнитную структуру.

6.4.3. Создание электромагнитной структуры.

- Щёлкните левой кнопкой мышки по значку **Add New EM Structure** на панели инструментов.
- Наберите **no** в поле **Enter a name for the EM Structure**, отметьте **AWR EMSight Simulator**

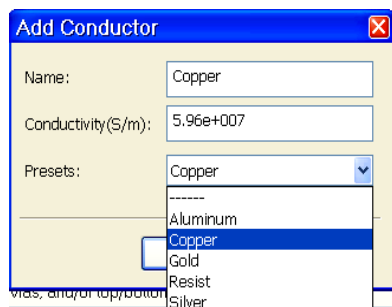


Рис. 6.96

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. 6.96). В поле **Name** нужно ввести имя материала проводника, а в поле **Conductivity(S/m)** его проводимость. Или можно вы-

брать материал из имеющихся материалов по умолчанию. Для этого щёлкните мышкой по кнопке в правом конце поля и выберите **Copper**. Нажмите **OK**. Аналогично добавьте материал **Resist** с проводимостью **67000** (рис. 6.97).

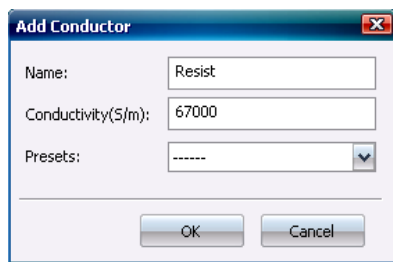


Рис. 6.97

5. В столбце **Color** для проводника **Copper** дважды щёлкните мышкой и выберите красный цвет. Для **Resist** выберите чёрный цвет. Этими цветами будут отображаться соответствующие элементы топологии при черчении в двухмерном отображении топологии. Вкладка **Material Defs** будет выглядеть, как показано на рис. 6.98.

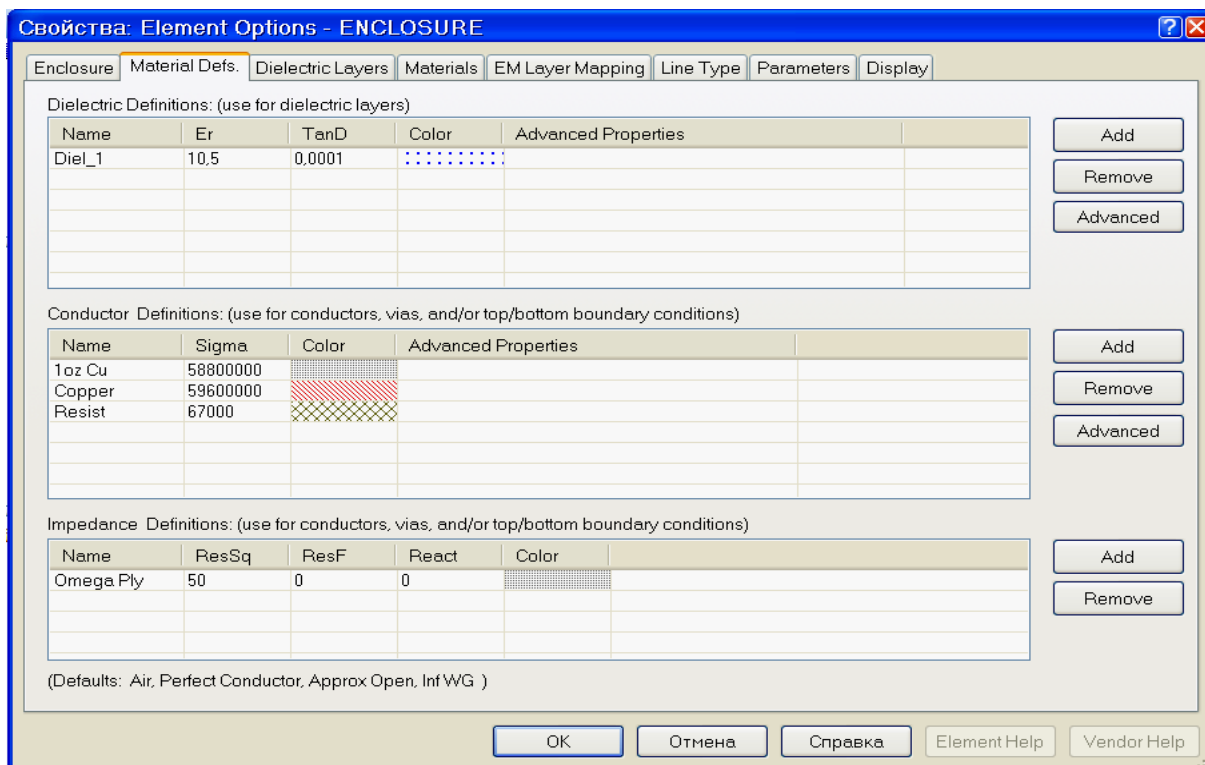


Рис. 6.98

6. 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**.

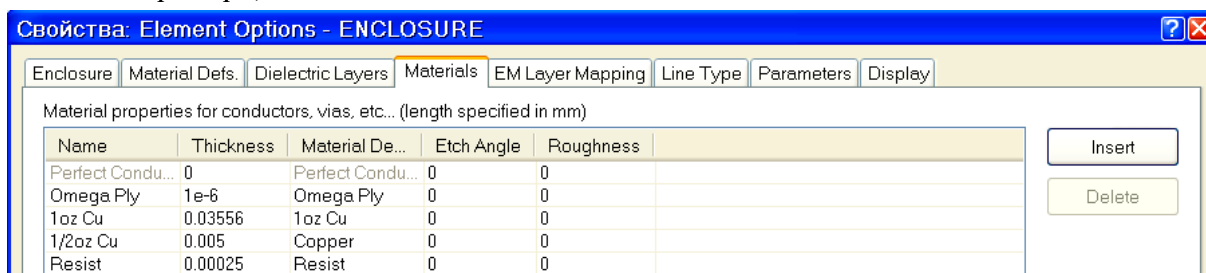


Рис. 6.99

7. На вкладке **Materials** для имеющего по умолчанию материала **1/2oz Cu** в столбце **Thickness** введите **0.005**, в столбце **Material Definition** введите **Copper**, щёлкнув мышкой по этому полю. 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. 6.99.
8. На вкладке **EM Layer Mapping** устанавливается соответствие слоёв черчения и слоёв диэлектрика. Это соответствие мы уже установили выше (рис. 6.94), однако здесь дополнительно устанавливается соответствие между слоями и материалами. В столбце **Material** для слоёв **Copper**, **Copper 1** и **Via** введите материал **1/2oz Cu**, щёлкая мышкой по этому столб-

цу. Для слоя **Res** введите материал **Resist.** Окно будет выглядеть, как показано на рис. 6.100.

9. Нажмите **OK**.

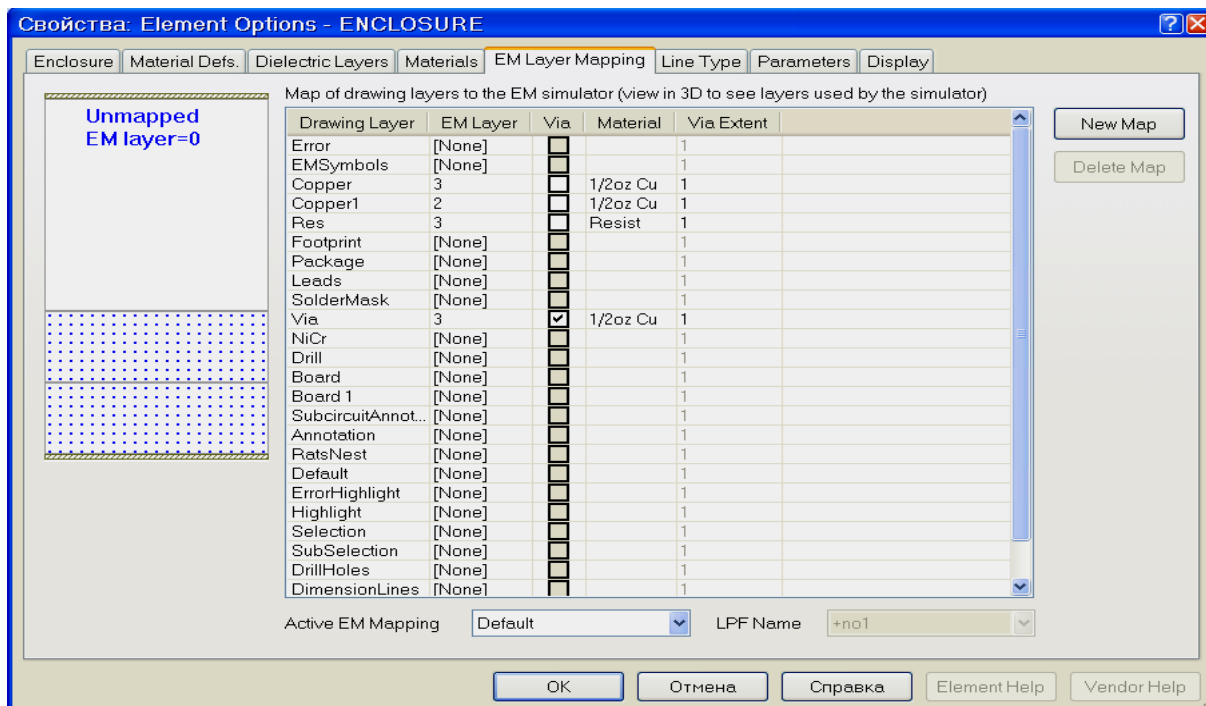


Рис 6.100

6.4.4. Создание топологии.

1. В поле **EM Layer** (Слой электромагнитной структуры) менеджера топологии введите **3**. В поле **Material** введите **1/2oz Cu**. Отметьте **Conductor**. Электромагнитная структура будет выглядеть, как показано на рис. 6.101. В нижней части окна менеджера топологии отображается структура слоёв и слой, на котором будет выполняться черчение.

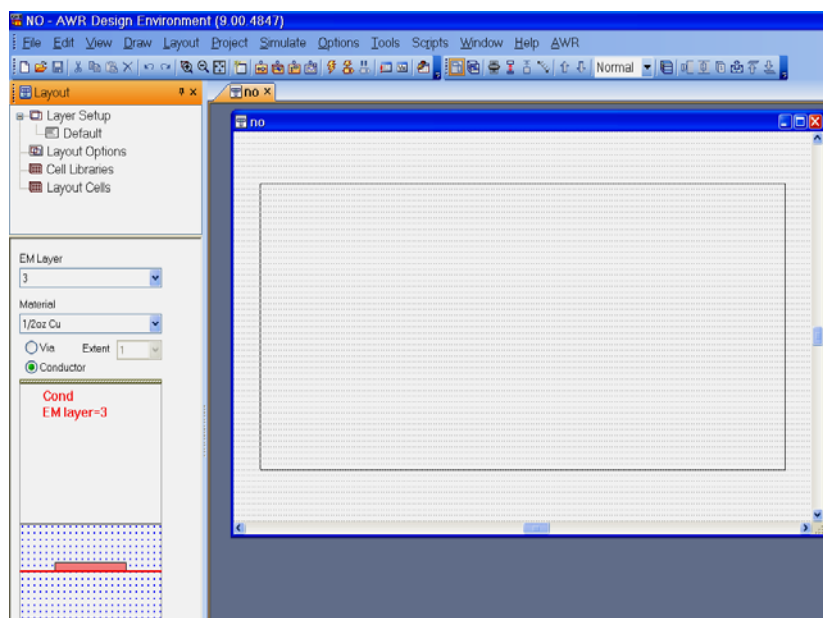


Рис. 6.101

визировать 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.

5. 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**.

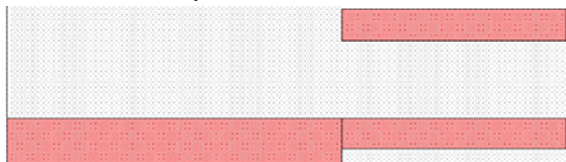


Рис. 6.102

2. Щёлкните левой кнопкой мышки по значку **Rectangle** на панели инструментов или выберите в меню **Draw>Rectangle**.

3. Поместите курсор в окно электромагнитной структуры и нажмите клавишу **Tab** на клавиатуре. Откроется диалоговое окно **Enter Coordinates**.

4. 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 активировать относительные координаты.

6. 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. 6.102.

7. 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**.

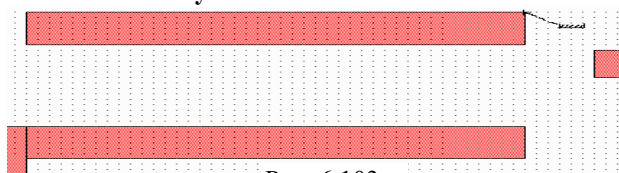


Рис. 6.103

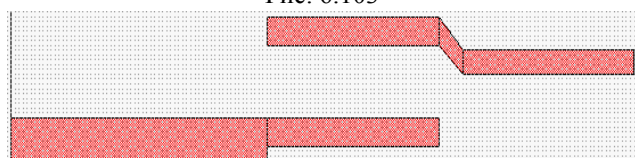


Рис. 6.104

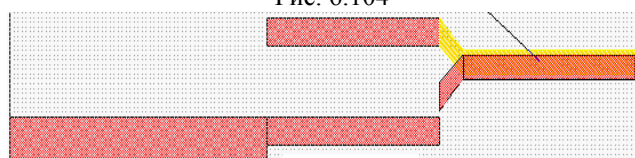


Рис. 6.105

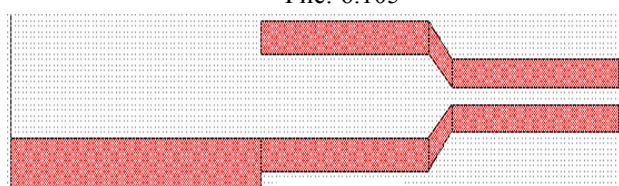


Рис. 6.106

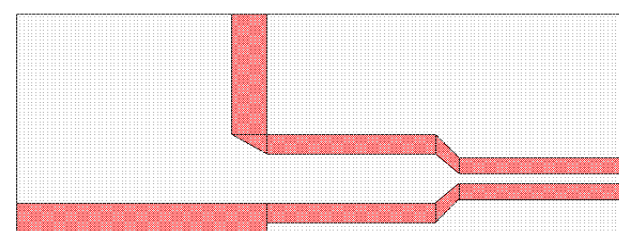


Рис. 6.107

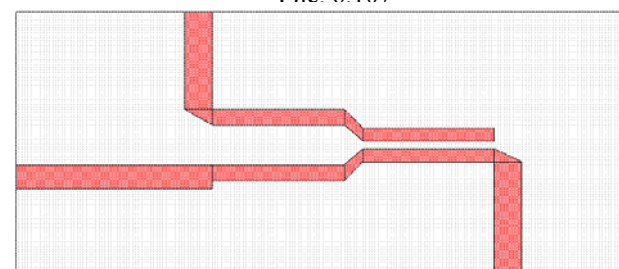


Рис. 6.108

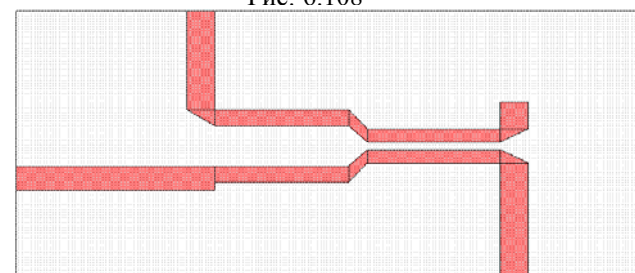


Рис. 6.109

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. 6.108).

15. 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. 6.109).

8. Щёлкните по значку **Polygon** на панели инструментов. Поместите курсор на правый верхний угол первого верхнего проводника и щёлкните левой кнопкой мышки, чтобы зафиксировать эту точку (рис. 6.103). Переместите курсор на правый нижний угол первого верхнего проводника и щёлкните мышкой. Переместите курсор на левый нижний угол второго верхнего проводника и щёлкните мышкой. Переместите курсор на левый верхний угол второго верхнего проводника и щёлкните мышкой. Нажмите клавишу **Tab**, введите **-0.3** в поле **dx**, введите **0.35** в поле **dy** и нажмите **OK**. Должна получиться топология, показанная на рис. 6.104.

9. Нажмите клавишу **Shift** и щёлкните левой кнопкой мышки по изгибу и подключённому к нему нижнему 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. 6.105).

10. Установите курсор на скопированные проводники, нажмите левую кнопку мышки и подключите их нижнему проводнику (рис. 6.106).

11. 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**.

12. 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. 6.107).

13. 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**.

14. Щёлкните по значку **Polygon** на панели инструментов. Поместите курсор на правый верхний угол вновь созданного

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. 6.110).

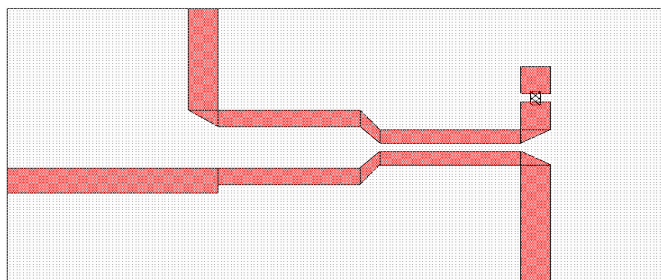


Рис. 6.110

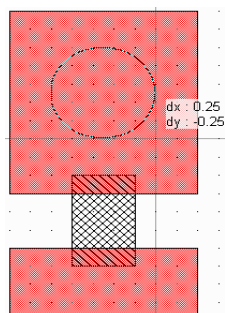


Рис. 6.111

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. 6.111. 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. 6.112.

Щёлкните правой кнопкой мышки по значку **New Schematic 3D View**, чтобы просмотреть 3-х мерное изображение и убедиться, что топология создана правильно (рис. 6.113). Если некоторые проводники окажутся не на третьем слое, выделите их в электромагнитной структуре рис. 6.112, щёлкните правой кнопкой мышки, выберите **Shape Properties** и в поле **EM Layer** введите **3**.

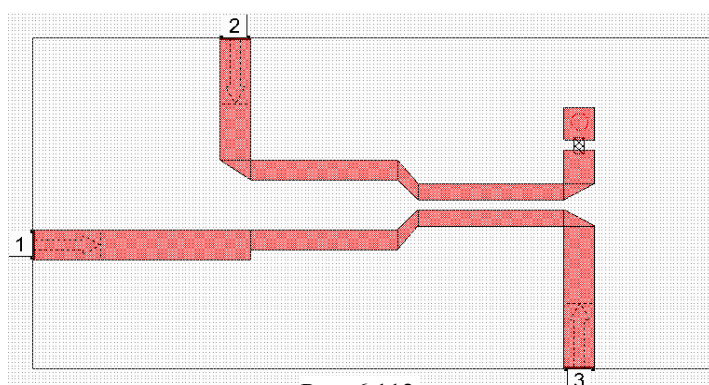


Рис. 6.112

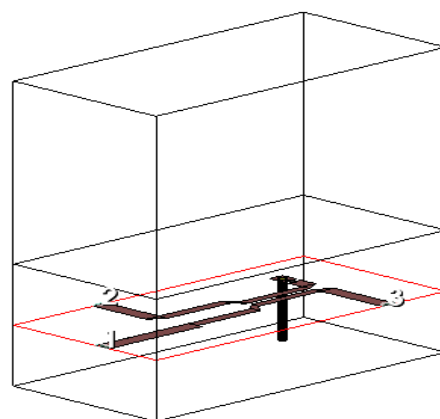


Рис. 6.113

6.4.5. Создание графика и добавление измеряемых величин.

1. Щёлкните по кнопке **Project**, чтобы в левом окне открыть окно просмотра проекта.
2. Щёлкните по значку **Add New 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 **Mag** и **dB** в области **Complex Modifier**, нажмите **Apply**.

Graph 1		
Frequency (GHz)	DB(S(2,1)) no1	DB(S(3,1)) no1
4	-11.791	-0.36484
5	-11.262	-0.4632
6	-11.333	-0.60556
7	-11.746	-0.77606
8	-12.085	-0.89259
9	-11.949	-0.87362
10	-11.31	-0.74084
11	-10.519	-0.63255
12	-9.956	-0.66984
13	-9.7838	-0.81405
14	-10.021	-0.92382
15	-10.724	-0.91438
16	-12.047	-0.8039

Рис. 6.114

6. Введите **3** в поле **To Port Index** и нажмите **Apply**.
7. Нажмите **OK**.

6.4.6. Определение частот для моделирования и анализ.

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. 6.114.

6.4.7. Экспорт топологии в DXF файл из окна электромагнитной структуры.

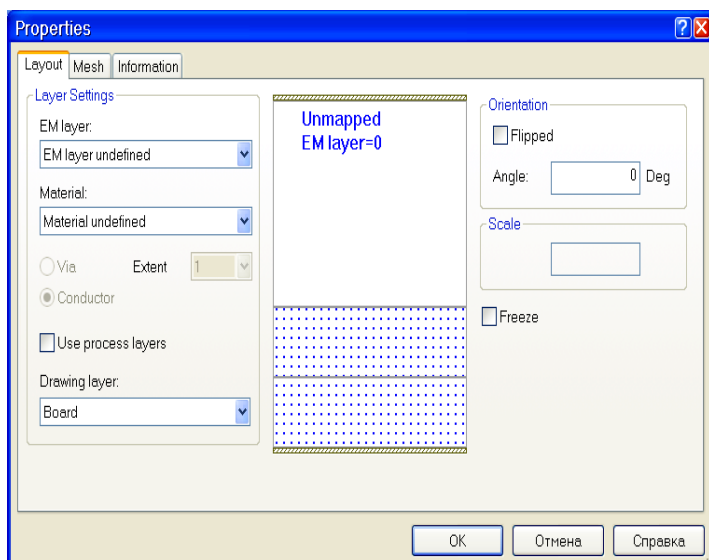


Рис. 6.115

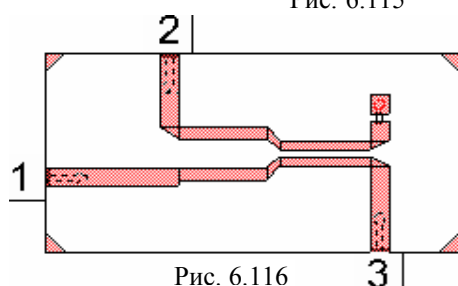


Рис. 6.116

мышки и выберите **Shape Properties**. В поле **Drawing Layer** введите **Board** (рис. 6.115) и нажмите **OK**. Щёлкните мышкой за пределами электромагнитной структуры. На созданной плате можно начертить дополнительные топологические элементы, например, реперные знаки. В окне менеджера топологии в поле **EM Layer** введите **3**, в поле **Material** введите **1/2oz CU**, отметьте **Conductor**. Щёлкните по значку **Polygon** на

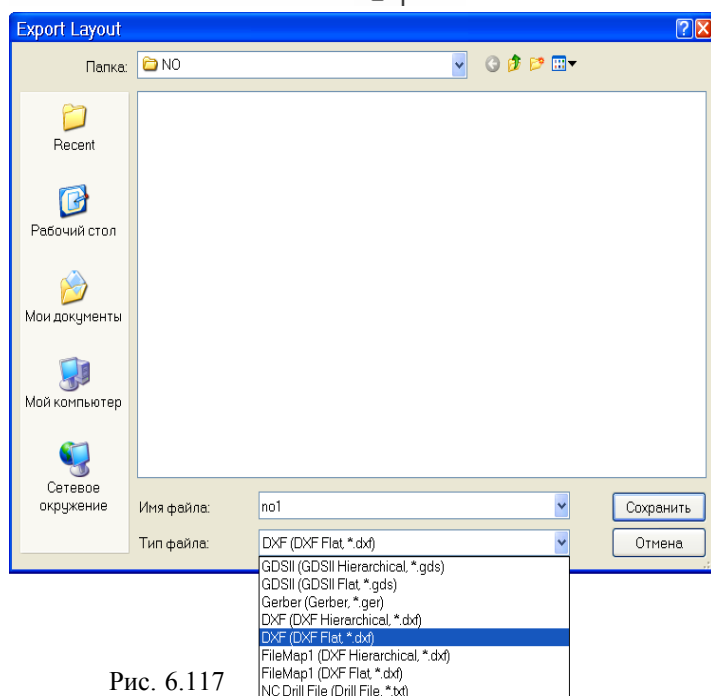


Рис. 6.117

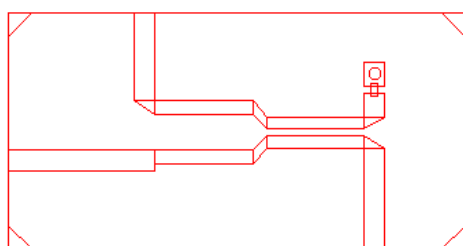


Рис. 6.118

слоя. Нажмите **Сохранить**. В AutoCAD сохранённая топология будет выглядеть, как показано на рис. 6.118.

1. Если нужно экспортировать только топологию без контура платы, этот пункт пропустите. Если кроме топологии нужно экспортировать и контур платы, тогда нанесите на электромагнитную структуру слой платы. Для этого щёлкните по значку **Rectangle** на панели инструментов, установите курсор мышки на верхний левый угол электромагнитной структуры, нажмите левую кнопку мышки и переместите курсор по диагонали на правый нижний угол электромагнитной структуры, отпустите кнопку мышки. Созданный прямоугольник должен точно совпадать с корпусом и быть выделенным. Щёлкните по созданному прямоугольнику правой кнопкой

панели инструментов, установите курсор на верхний левый угол корпуса и щёлкните мышкой. Затем перемещайте курсор, щёлкая каждый раз мышкой в следующем порядке: на **0.5** вправо, по диагонали на **-0.5** вниз и влево и здесь дважды щёлкните мышкой. Скопируйте выделенный реперный знак, щёлкнув по значку **Copy** на панели инструментов. Щёлкая по значку **Paste** на панели инструментов и затем, щёлкая правой кнопкой мышки, чтобы развернуть скопированный элемент, установите реперные знаки на все углы корпуса (рис. 6.116). Откройте окно просмотра проекта и сделайте активным окно графика. Щёлкните по значку **Analyze**, чтобы убедиться, что на результаты анализа добавленные элементы топологии практически

не повлияли.

2. Щёлкните правой кнопкой мышки по имени электромагнитной структуры **no** в окне просмотра проекта и выберите **Export Layout**. Или выберите в меню **Layout>Export>Layout**. В открывшемся окне (рис. 6.117) 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

6.4.8. Черчение топологических элементов на 2-м слое диэлектрика.

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. Щёлкните по значку **Rectangle** на панели инструментов, установите курсор мышки на верхний левый угол электромагнитной структуры, нажмите левую кнопку мышки и переместите курсор по диагонали на правый нижний угол электромагнитной структуры, отпустите кнопку мышки. Созданный прямоугольник должен точно совпадать с корпусом и быть выделенным. Щёлкните по созданному прямоугольнику правой кнопкой мышки и выберите **Shape Properties**. В поле **Drawing Layer** введите **Board1** и нажмите **OK**.

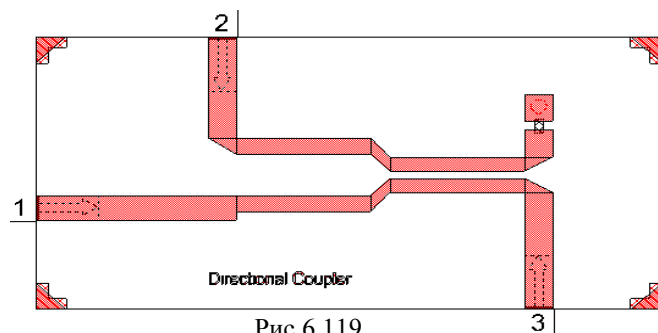


Рис.6.119

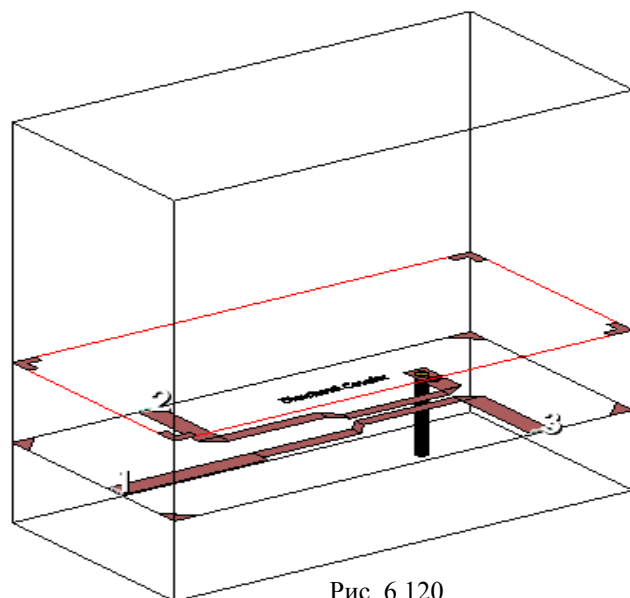


Рис. 6.120

ки. В появившемся поле ввода наберите **Directional Coupler**.

6. Полученная структура показана на рис. 6.119, на рис. 6.120 – её трёхмерное отображение.

6.4.9. Экспорт топологии со второго слоя диэлектрика из окна электромагнитной структуры.

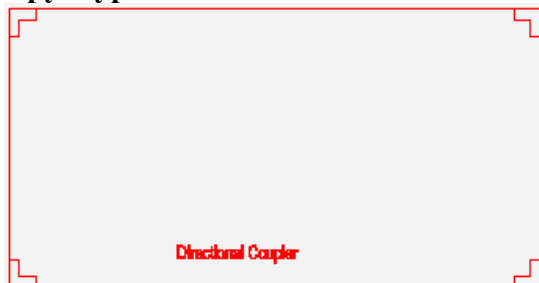


Рис. 6.121

Щёлкните правой кнопкой мышки по имени электромагнитной структуры в окне просмотра проекта и выберите **Export Layout**, или выберите в меню **Layout>Export>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. 6.121.

6.4.10. 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. Щёлкните мышкой по значку **Add New Schematic** на панели инструментов и создайте схему **Schematic 1**.

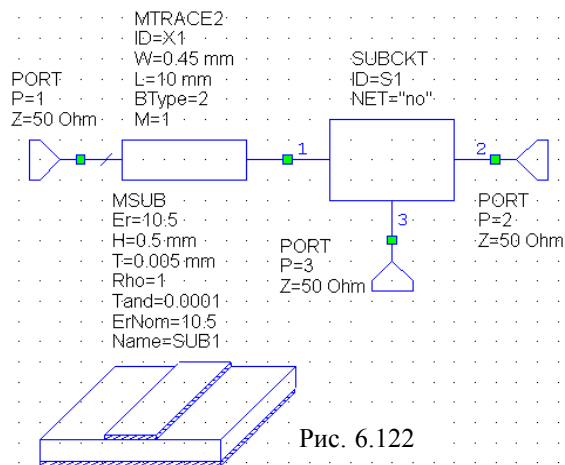


Рис. 6.122

Graph 1

Frequency (GHz)	DB(S(2,1)) Schematic 1	DB(S(2,1)) no	DB(S(3,1)) Schematic 1	DB(S(3,1)) no
4	-11.833	-11.79	-0.40696	-0.36473
5	-11.308	-11.26	-0.50995	-0.46194
6	-11.383	-11.33	-0.65653	-0.60287
7	-11.804	-11.744	-0.83414	-0.77365
8	-12.151	-12.086	-0.95843	-0.89336
9	-12.023	-11.956	-0.94562	-0.87861
10	-11.387	-11.319	-0.81412	-0.74683
11	-10.599	-10.526	-0.70701	-0.63418
12	-10.034	-9.9595	-0.74113	-0.66654
13	-9.8756	-9.7903	-0.89778	-0.81245
14	-10.144	-10.037	-1.0385	-0.93084
15	-10.844	-10.75	-1.0245	-0.93043
16	-12.157	-12.077	-0.90243	-0.82218

Рис. 6.123

- Щёлкните мышкой по панели **Elements** в левом нижнем углу проекта, откройте окно просмотра элементов.
- Щёлкните мышкой по группе **Subcircuits** и перетащите в окно схемы подсхему **no**.
- 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**.
- 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**.
- 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 мышки, чтобы развернуть порты соответствующим образом. Должна получиться схема, показанная на рис. 6.122.
- Щёлкните мышкой по значку **Analyze** на панели инструментов. Результаты анализа показаны на рис. 6.123.

Как видно из результатов анализа, электрические соединения в схеме выполнены правильно для решающего устройства. Однако если планируются какие-то другие действия, кроме выполнения анализа схемы, например просмотр трёхмерного отображения топологии или экспорт топологии, необходимо позаботиться, чтобы и геометрические соединения были сделаны правильно и чтобы соответствующие топологические элементы для элементов схемы располагались на нужных слоях. Для этого должны быть установлены опции для трёхмерного отображения топологии схемы.

Выберите в меню **Options>Drawing Layers**. В левой части открывшегося окна раскройте папку **General** и щёлкните мышкой по **Drawing Layer 3d**. Откроется окно установки опций трёхмерного отображения рис. 6.124.

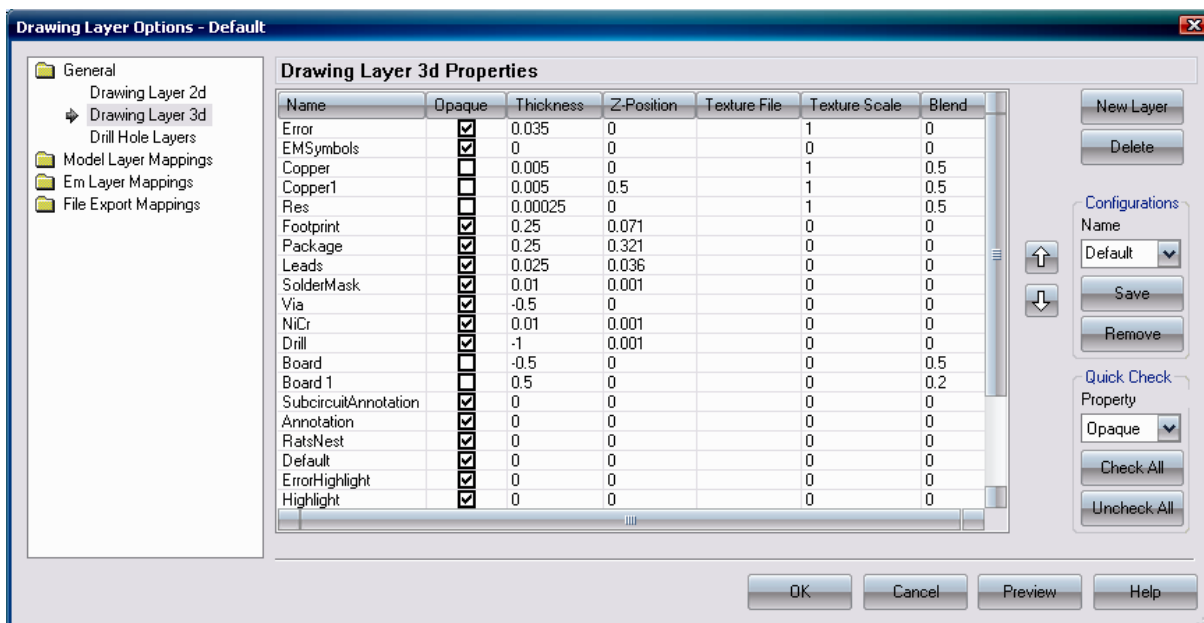


Рис. 6.124

В столбце **Z-Position** задаётся начальная Z-координата положения каждого слоя черчения. В столбце **Thickness** задаётся толщина каждого слоя черчения. Если толщина задана положительным числом, она отсчитывается вверх от начальной Z-координаты. Если же толщина задана отрицательным числом, она отсчитывается вниз от начальной Z-координаты. Заметим, что эти данные влияют только на правиль-

ность трёхмерного отображения структуры и не влияют на результаты анализа. Поэтому они не обязательно должны совпадать с реальными данными.

Board отображает нижний (третий) слой диэлектрика. Определим его начальную Z-координату равную нулю, а толщину направим вниз и определим равную **-0.5**. Для второго слоя диэлектрика **Board1** определим начальную Z-координату также равную нулю, а толщину определим равную **0.5**.

Переключка **Via** должна проходить через третий слой диэлектрика, поэтому её параметры должны быть такими же, как и у **Board**, т.е. Z-координата равна **0** и толщина равна **-0.5**.

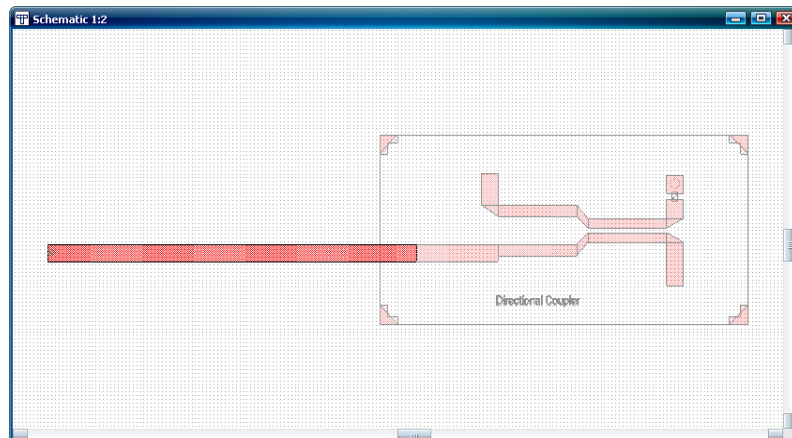


Рис. 6.125

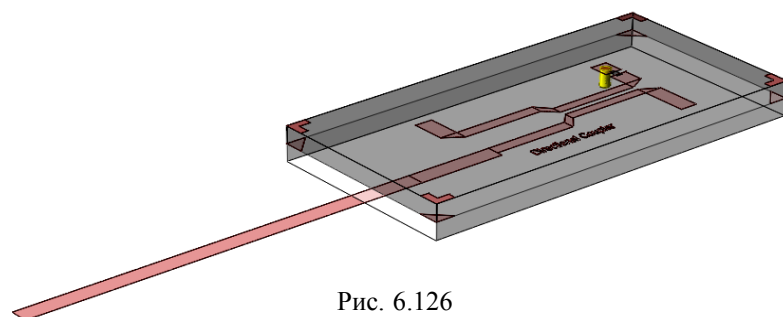


Рис. 6.126

ментов. Полученная топология показана на рис. 6.125.

Щёлкните по значку **View 3D Layout** на панели инструментов. Трёхмерное отображение структуры показано на рис. 6.126.

Обратите внимание, что отрезки линий от портов до референсных плоскостей автоматически удалены при добавлении электромагнитной структуры в схему в качестве подсхемы.

6.4.11. Редактирование топологии схемы.

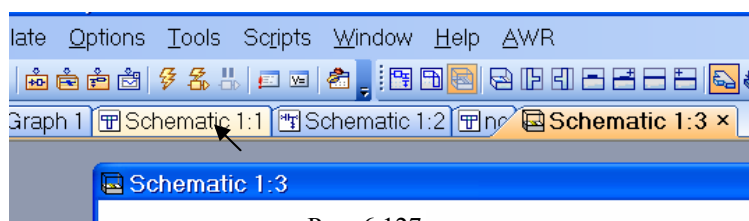


Рис. 6.127

на рабочем поле (рис. 6.127).

Создайте в элементе трассировки **MTRACE2** два изгиба на 90 градусов. Для этого дважды щёлкните мышкой по элементу топологии **MTRACE2**. Элемент будет выделен, 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. Переместите курсор влево на **dx=-2.0** мм и щёлкните левой кнопкой мышки. Переместите курсор мышки вверх на **1.0** мм и щёлкните левой кнопкой мышки. Переместите курсор влево на **dx=-2.0** мм и дважды щёлкните левой кнопкой мышки. 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. 6.128.

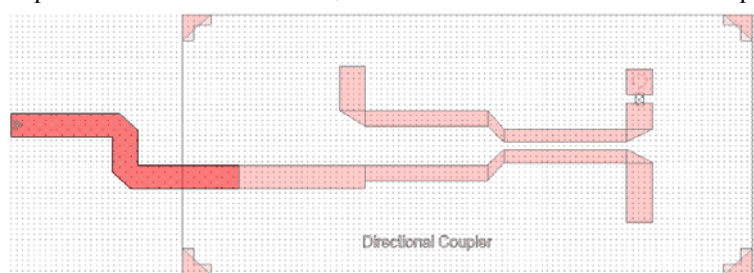


Рис. 6.128

Слои проводников **Copper** и резистора **Res** должны располагаться на третьем слое. Поэтому у них Z-координата должна быть равна **0**, а толщину определим **0.005** и **0.00025** соответственно.

Слои проводников **Copper1** должны располагаться на втором слое. Поэтому у них Z-координата должна быть равна **0.5**, а толщину определим **0.005**.

Столбец **Opaque** (непрозрачность) для наших слоёв должен быть отмечен. В столбце **Blend** устанавливается степень непрозрачности (в пределах 0 – 1). Чем меньше число в этом столбце, тем более прозрачен слой. Для слоёв **Copper**, **Copper1**, **Res** и **Board** в столбце **Blend** введите **0.5**, для слоя **Board1** введите **0.2**.

Сделайте окно схемы активным и щёлкните по значку **View Layout** на панели инстру-

Сделайте активным окно топологии схемы. Это окно не отображается в окне просмотра проекта. Сделать его активным можно, щёлкнув по этому окну мышкой. Если окно топологии схемы закрыто другими окнами, щёлкните по имени этого окна в строке заголовков открытых окон

мы **Schematic 1** и обратите внимание, что параметр **L** элемента **MTRACE2** изменился в соответствии с выполненным изменением топологии.

Теперь нужно отредактировать размеры плат и положение реперных знаков. Сделайте активным окно топологии схемы.

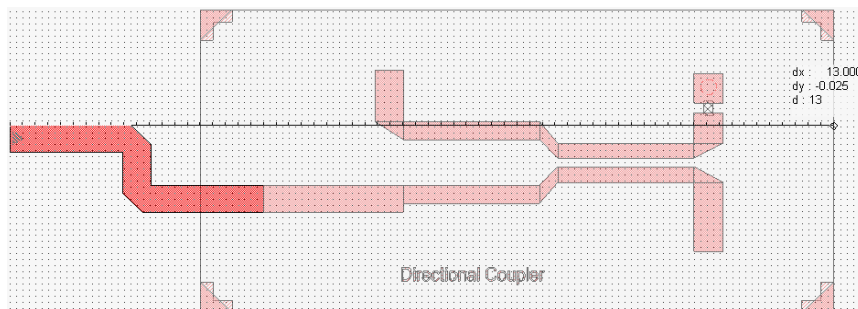


Рис. 6.129

Щёлкните мышкой по значку **Measure** на панели инструментов и измерьте расстояние от начала входного проводника до правого края электромагнитной структуры **dx** (рис. 6.129). Это расстояние определяет необходимую длину нижней платы **Board** (в нашем случае 13 мм).

Топология электромагнитной структуры вставлена в топологию схемы как один единый элемент топологии. В этом можно убедиться, если щёлкнуть мышкой по любому элементу топологии электромагнитной структуры. Будут выделены все элементы топологии на всех слоях. Поэтому редактировать отдельные элементы топологии электромагнитной структуры в окне топологии схемы не получится. Это можно сделать только в окне топологии электромагнитной структуры. Чтобы открыть это окно просто дважды щёлкните мышкой по топологии электромагнитной структуры в окне топологии схемы.

В верхней части электромагнитной структуры находится плата **Board1** со своими элементами (реперными знаками и текстом). Чтобы иметь возможность редактировать нижнюю плату, верхнюю плату с её элементами необходимо временно сдвинуть в сторону. Нажмите клавишу **Shift** и поочерёдно щёлкните по реперным знакам и тексту, находящимся на верхней плате, чтобы выделить все эти элементы.

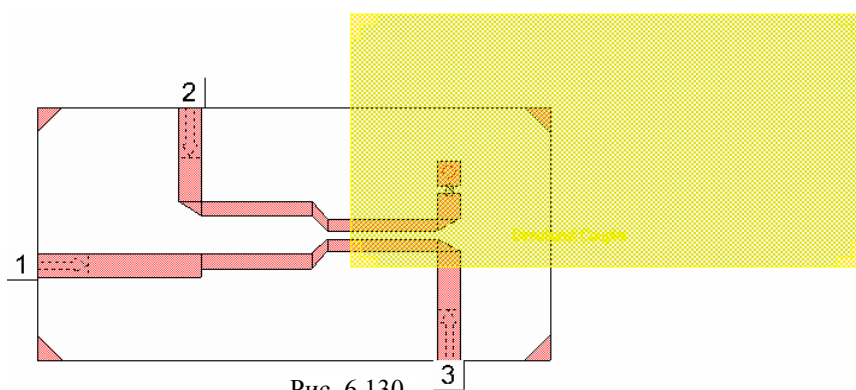


Рис. 6.130

Установите курсор на любой выделенный элемент, нажмите левую кнопку мышки и сдвиньте плату в сторону (рис. 6.130).

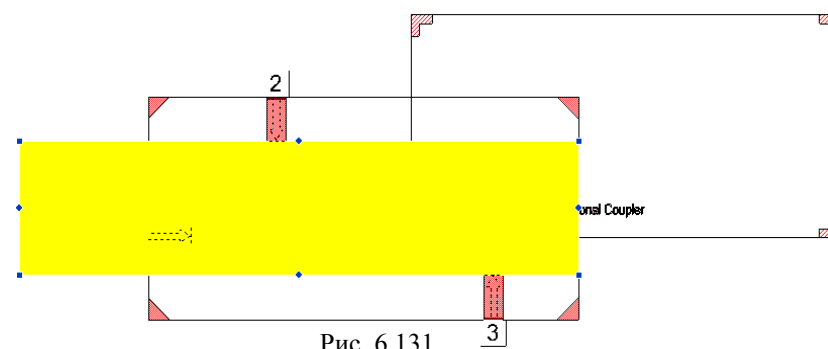


Рис. 6.131

Дважды щёлкните мышкой по нижней плате. Установите курсор мышки на ромб посередине верхней стороны платы так, чтобы он отображался в виде двойной стрелки, нажмите левую кнопку мышки и сдвиньте эту сторону до положения референсной плоскости порта 2. Аналогично сдвиньте нижнюю сторону платы до положения референсной плоскости порта 3. Левую сторону платы сдвиньте влево на 3 мм так, чтобы длина платы была равна 13 мм (рис. 6.131).

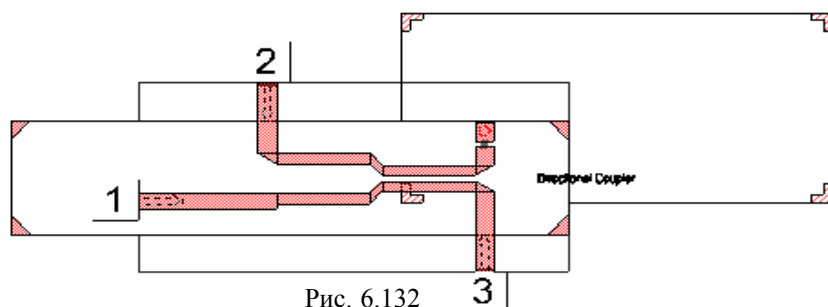


Рис. 6.132

Щёлкая по реперным знакам, принадлежащим нижней плате, чтобы выделить их, поместите реперные знаки по углам отредактированной платы. Топология будет выглядеть, как показано на рис. 6.132.

Нажмите клавишу **Shift** и поочерёдно щёлкните по реперным знакам и тексту, находящимся на верхней плате, и по самой плате, чтобы выделить все эти элементы. Установите курсор на любой выделенный элемент, нажмите левую кнопку мышки и верните эту плату с её элементами на прежнее место, совместив плату с корпусом электромагнитной структуры. Дважды щёлкните мышкой по верхней плате и, устанавливая курсор мышки на ромбики верхней и нижней стороны платы, совместите эти стороны со сторонами нижней платы. Затем

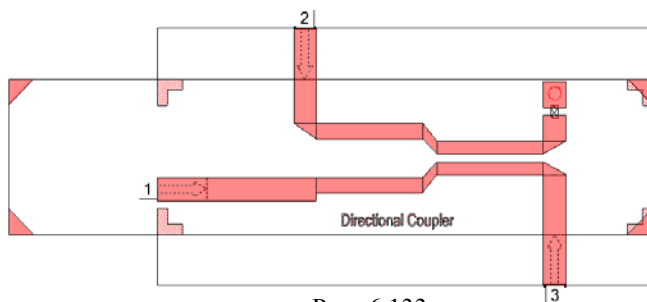


Рис. 6.133

переместите реперные знаки на углы отредактированной платы. Переместите текст на отредактированную плату. Электромагнитная структура будет выглядеть, как показано на рис. 6.133.

Откройте окно топологии схемы. Топология схемы будет выглядеть, как показано на рис. 6.134.

Щёлкните по значку **View 3D Layout**. Трёхмерное отображение топологии схемы будет, как на рис. 6.135.

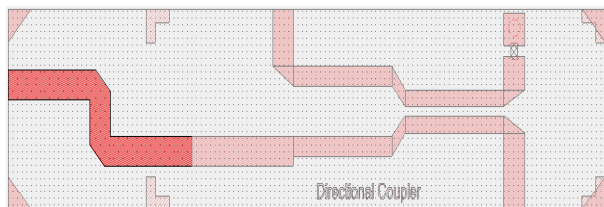


Рис. 6.134

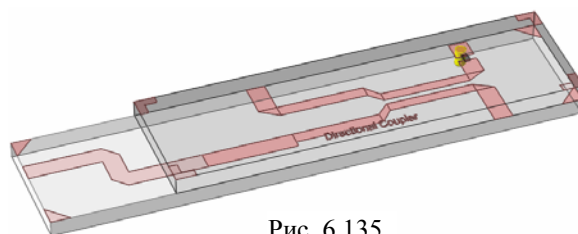


Рис. 6.135

6.4.12. Экспорт топологии в DXF файл из окна топологии схемы.

Сделайте активным окно топологии схемы и выберите в меню **Layout>Export**. Если нужно экспортировать топологию с нижнего слоя структуры, в открывшемся окне в поле **Тип файла** введите **DXF (DXF Flat *.dxf)**. В AutoCAD топология будет выглядеть, как показано на рис. 6.136.

Если нужно экспортировать топологию с верхнего слоя, в открывшемся окне в поле **Тип файла** введите **FileMap1 (DXF Flat *.dxf)**. В AutoCAD топология будет выглядеть, как показано на рис. 6.137.

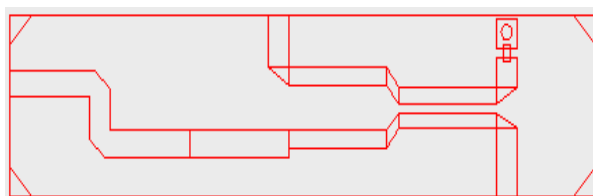


Рис. 6.136



Рис. 6.137

6.5. Моделирование межслойного перехода.

Слой 1 Воздух
Слой 2 $\epsilon_r=3.0$
Слой 3 $\epsilon_r=4.6$
Слой 4 $\epsilon_r=3.0$
Слой 5 Воздух

Рис. 6.138

В этом примере рассмотрим использование элемента многослойной подложки STACKUP, который можно использовать при создании многослойных электромагнитных структур. Это альтернативный способ использованию lrf-файлов. В проекте таких элементов подложек может быть несколько. Чтобы они были доступны при построении многослойных структур в редакторе электромагнитной структуры, элементы STACKUP должны быть помещены в глобальные определения.

Рассмотрим пример перехода копланарной линии с одного слоя на другой. Структура подложки будет такой, как показано на рис. 6.138. На верхнем диэлектрике с $\epsilon_r=3.0$ (т.е. на слое 2) создадим отрезок копланарной линии. Выходной отрезок копланарной линии создадим на нижней плоскости нижнего диэлектрика с $\epsilon_r=3.0$ (т.е. создать нужно на слое 5). Нижняя часть слоя 2 и верхняя часть слоя 4 должны быть земляными

плоскостями. Эти слои можно использовать, например, для построения цепей управления различными элементами, типа диодов или микросхем. Мы эти слои использовать не будем.

Выберите в меню **File>New Project**. Затем выберите **File>Save Project As** и сохраните проект, например, под именем CPW-CPW.

Однако прежде чем создавать элемент STACKUP, определим слои черчения (Drawing Layer) проводников на диэлектрических слоях.

Выберите в меню **Options>Drawing Layers**. Откроется диалоговое окно **Drawing Layer Options**. Обычно по умолчанию открывается вкладка **Drawing Layer 2d Properties** (Свойства двумерного слоя черчения). Если это не так, щёлкните по **Drawing Layer 2d** в группе **General** в верхней части левого окна. В списке слоёв в столбце **Name** щёлкните по слою **Copper**. Щёлкните по кнопке **New Layer** в верхней правой части окна. В столбце **Name** под отмеченным слоем **Copper** появится новый слой с именем по умолчанию **Layer1**. Переименуйте этот слой в **Copper1**. Снова щёлкните по кнопке **New Layer** и аналогично добавьте слой **Copper2**. Снова щёлкните по кнопке **New Layer** и аналогично добавьте слой **Copper3**.

Щёлкните по слою **Via** и добавьте слои **Via1**, **Via2** и **Via3**, как описано выше, для черчения перемычек.

Дважды щёлкните в столбце **Fill** (Заполнить) в строке **Copper** и выберите цвет заполнения слоя, например, красный (цвет меди). Снова щёлкните по этому столбцу и выберите тип заполнения. Повторите эту операцию для слоёв **Copper1**, **Copper2** и **Copper3**, а также для слоёв **Via**, **Via1**, **Via2** и **Via3**. Тип заполнения лучше выбрать различный, чтобы легче было отличать слои в структуре. В столбце **Line** можно выбрать тип линий, которыми будет выполняться черчение и цвет линий. Отметьте для добавленных слоёв столбец **Show Fill** (Показывать заполнение). Окно слоёв черчения будет выглядеть, как показано на рис. 6.139. Нажмите **OK**.

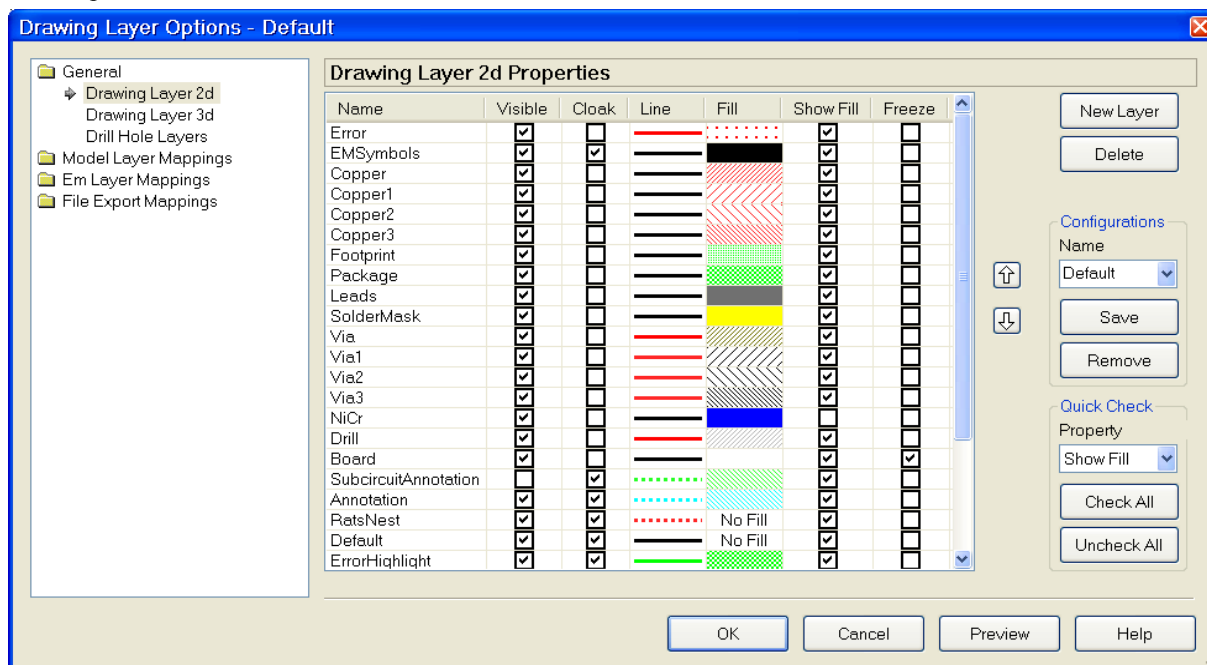


Рис.6.139

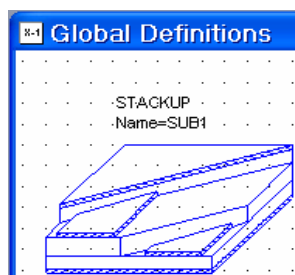


Рис. 6.140

Теперь создадим элемент подложки **STACKUP**.

В окне просмотра проекта дважды щёлкните по **Global Definitions** (Глобальные определения). Откроется пустое окно глобальных определений.

Откройте окно просмотра элементов, щёлкнув по кнопке **Elements** в нижней части левого окна. В верхней части левого окна щёлкните по группе **Substrates** (Подложки). В нижней части левого окна найдите элемент **STACKUP**, установите на него курсор мышки, нажмите левую кнопку мышки и, не отпуская кнопки, перетащите этот элемент в окно глобальных определений. Отпустите кнопку мышки, поместите элемент в любом месте окна и щёлкните левой кнопкой мышки, чтобы закрепить его (рис. 6.140).

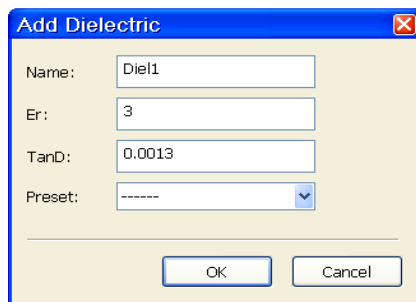


Рис. 6.141

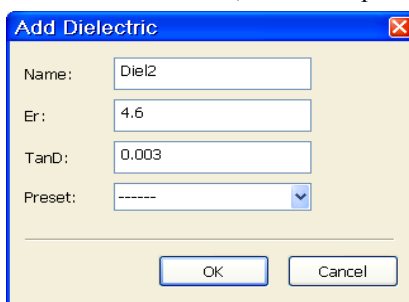


Рис. 6.142

Дважды щёлкните по элементу **STACKUP**. Откроется диалоговое окно свойств этого элемента.

На вкладке **Material Defs** этого окна в области **Dielectric Definitions** щёлкните по кнопке **Add**. Откроется дополнительное окно **Add Dielectric**. В поле **Name** введите **Diel1**, в поле **Er** введите **3**, в поле **TanD** введите

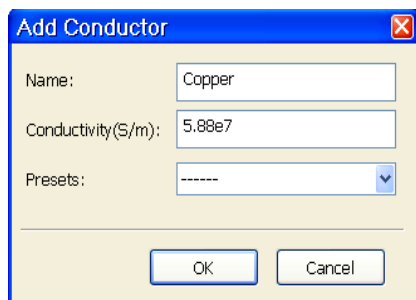


Рис. 6.143

0.0013 (рис. 6.141), нажмите **OK**.

Снова щёлкните по кнопке **Add**. В поле **Name** введите **Diel2**, в поле **Er** введите **4.6**, в поле **TanD** введите **0.003** (рис. 6.142), нажмите **OK**.

В области **Conductor Definitions** щёлкните по кнопке **Add**. Откроется дополнительное окно **Add Conductor** (рис.6.143). В поле **Name** введите **Copper** (Медь), в поле **Conductivity (S/m)** введите **5.88e7**, нажмите **OK**.

Дважды щёлкните в столбце **Color** в строке **Copper** и измените цвет проводника, например на красный цвет (или оставьте по умолчанию).

Вкладка **Material Defs** окна свойств элемента будет выглядеть, как показано на рис. 6.144.

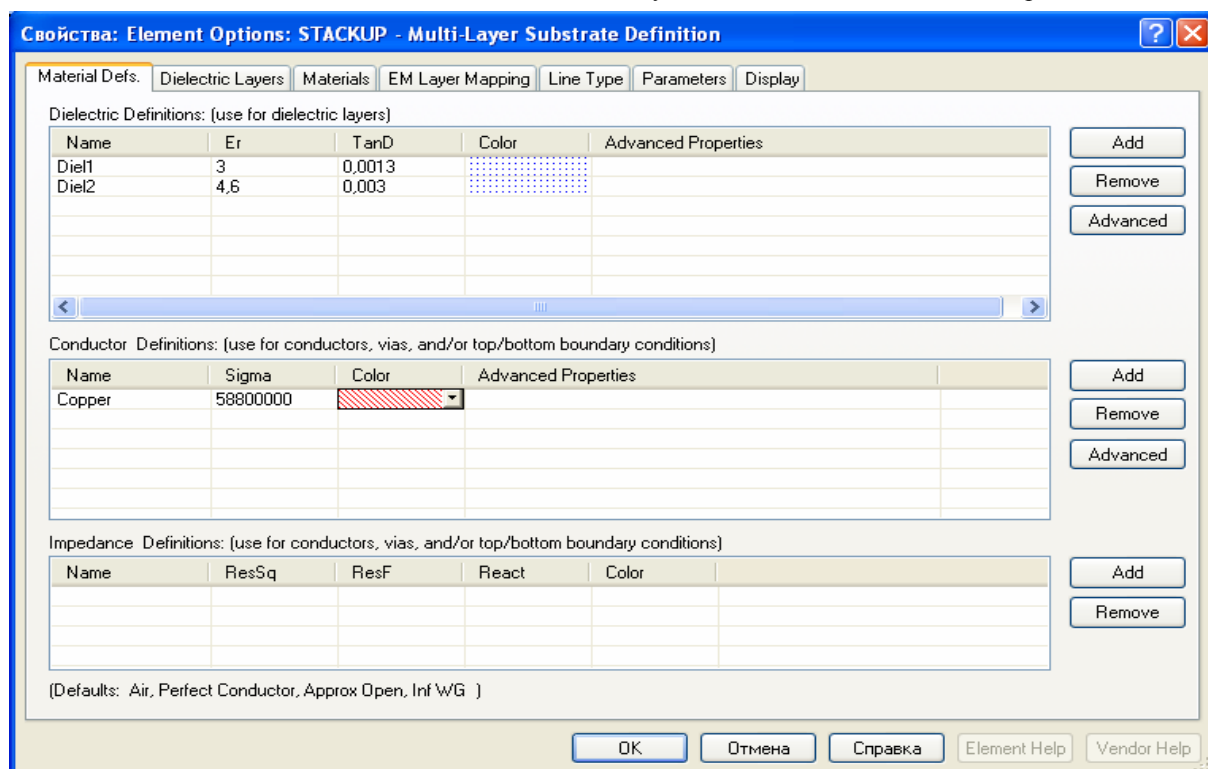


Рис. 6.144

Откройте вкладку **Dielectric Layers**. По умолчанию на этой вкладке должен быть один слой воздуха (Air). В столбце **Thickness** (толщина) измените толщину слоя на **4**. В столбце **Draw Scale** (Масштаб черчения) введите **0.5** (это влияет только на отображение структуры в трёхмерном изображении).

Щёлкните по кнопке **Insert**, появится слой **2**. В столбце **Thickness** введите толщину слоя **0.254**. В столбце **Material Definition** щёлкните мышкой и введите **Diel1**. В столбце **Draw Scale** введите **5**.

Снова щёлкните по кнопке **Insert**, появится слой **3** с такими же параметрами, как и для слоя **2**. Толщину этого слоя введите **1**. В столбце **Material Definition** щёлкните мышкой и введите **Diel2**. В столбце **Draw Scale** введите **2**.

Снова щёлкните по кнопке **Insert**, появится слой **4** с такими же параметрами, как и для слоя **3**. Для этого слоя введите такие же параметры, как и для слоя **2**.

Снова щёлкните по кнопке **Insert**, появится слой **5** с такими же параметрами, как и для слоя **4**. Для этого слоя введите такие же параметры, как и для слоя **1**.

Вкладка **Dielectric Layers** окна свойств элемента будет выглядеть, как показано на рис. 6.145.

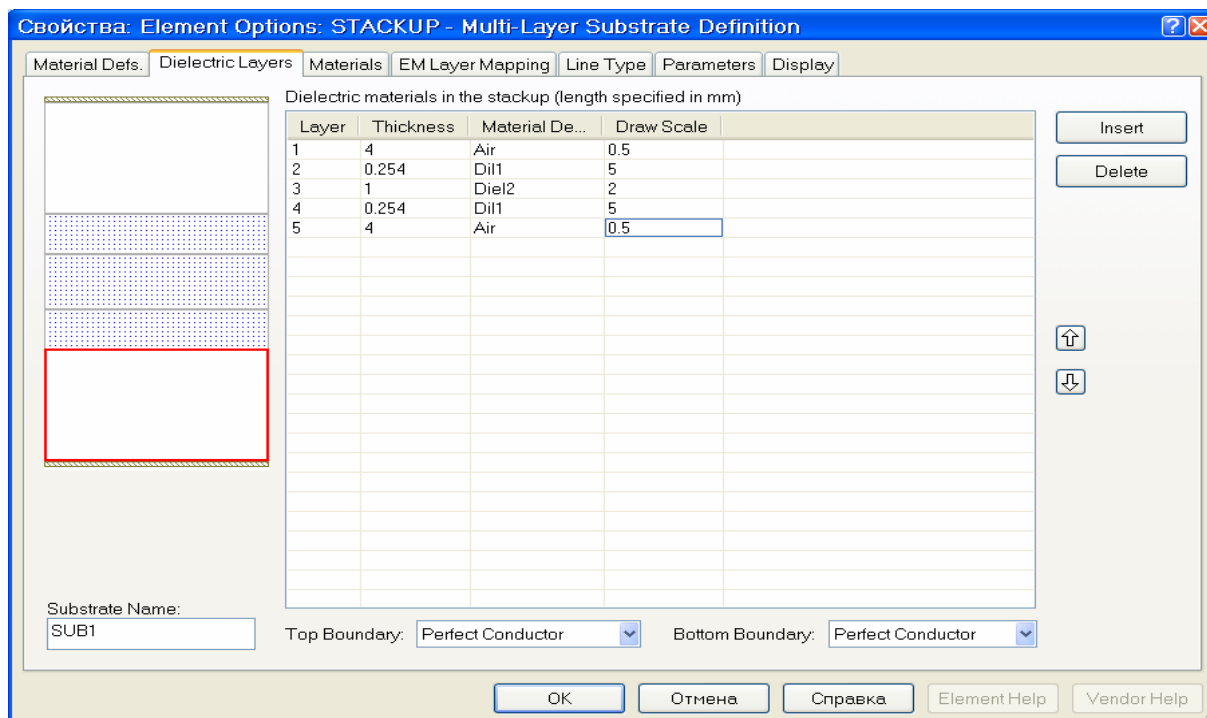


Рис. 6.145

Откройте вкладку **Materials**. Щёлкните по кнопке **Insert**. Появится новый материал с именем **Trace1**. Измените это имя на **Copper**. Введите толщину **0.017**. В столбце **Material Definition** по умолчанию будет **Perfect Conductor**. Щёлкните в этом столбце мышкой и введите **Copper**. Вкладка **Materials** окна свойств элемента будет выглядеть, как показано на рис. 6.146.

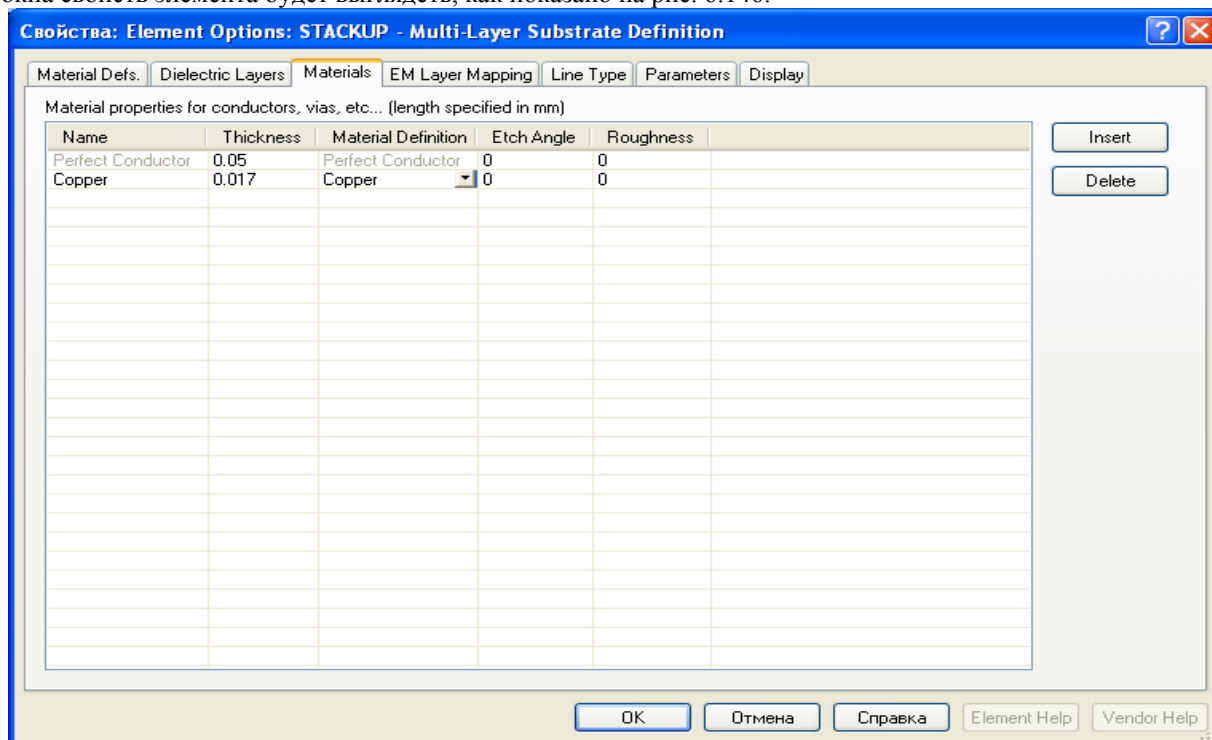


Рис. 6.146

Откройте вкладку **EM Layer Mapping** (Соответствие электромагнитных слоёв).

В столбце **Drawing Layer** перечислены слои черчения полосок, которые доступны в проекте. Мы будем использовать только слои **Copper**, **Copper1**, **Copper2** и **Copper3**, которыми мы будем вычерчивать медные проводники на соответствующих слоях диэлектрика (**EM Layer**) и слои **Via**, **Via1**, **Via2** и **Via3** – перемычки (переходы) между слоями. Здесь нужно не путать слой черчения с материалом. Слой черчения имеет только свойства, необходимые для выполнения чертежа, т.е. тип, цвет, толщину линии, а также тип и цвет заполнения начерченного проводника. Эти свойства определяются в окне опций слоёв (рис. 6.139). Свойства материала определены на вкладках **Material Defs** и **Materials**.

По умолчанию для слоя **Copper** обычно назначается слой **2**. Оставьте это значение. Дважды щёлкните в столбце **Material** для слоя **Copper** и назначьте для этого слоя материал **Copper**. Окно будет выглядеть, как показано на рис. 6.147.

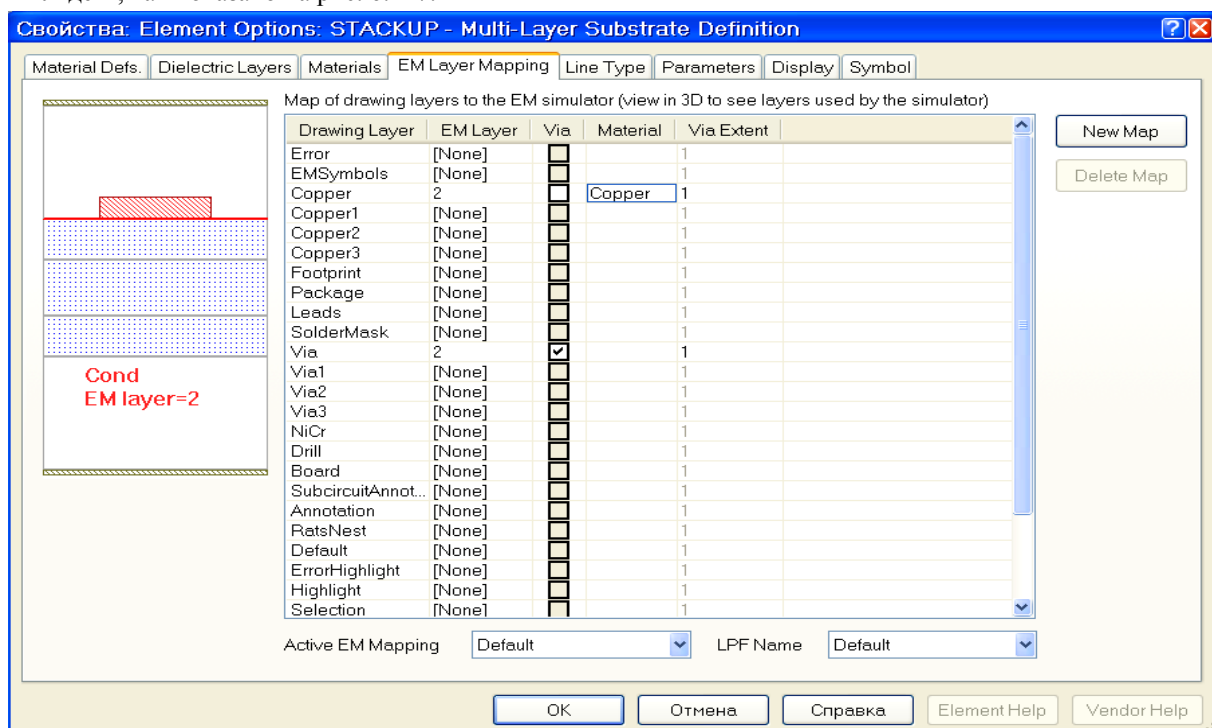


Рис. 6.147

Обратите внимание, в левом окне отображается наша структура, и на каком слое диэлектрика будет вычерчиваться отмеченный металлический слой **Copper**.

Для добавленных слоёв **Copper1**, **Copper2**, **Copper3**, **Via1**, **Via2** и **Via3** слои диэлектрика для черчения не назначены (в столбце EM Layer введено None).

Щёлкните в столбце **EM Layer** в строке слоя **Copper1** и назначьте слой 3. Затем щёлкните в столбце **Material** и назначьте материал **Copper**.

Аналогично для слоя **Copper2** назначьте слой диэлектрика 4 и материал **Copper**. Для слоя **Copper3** назначьте слой диэлектрика 5 и материал **Copper**.

Слой **Via** будем использовать для создания перемычки между слоями 2 и 3. Поэтому назначьте слой 2. В столбце **Via Extent** (Протяжённость перемычки) оставьте 1, отметьте столбец **Via** и назначьте материал **Copper**.

Слой **Via1** будем использовать для создания сквозной перемычки между слоями 2 и 5, замыкающей все заземлённые слои, а также для создания межэтажного перехода копланарной линии. Поэтому назначьте слой 2. В столбце **Via Extent** введите 3 (т.е. перемычка должна пройти через 3 слоя), отметьте столбец **Via** и назначьте материал **Copper**.

Слой **Via2** будем использовать для создания перемычки между слоями 4 и 5. Поэтому назначьте слой 4. В столбце **Via Extent** введите 1, отметьте столбец **Via** и назначьте материал **Copper**.

Слой **Via3** будем использовать для создания перемычки между слоями 3 и 4. Поэтому назначьте слой 3. В столбце **Via Extent** введите 1, отметьте столбец **Via** и назначьте материал **Copper**.

Окончательный вид вкладки **EM Layer Mapping** будет выглядеть, как показано на рис. 6.148.

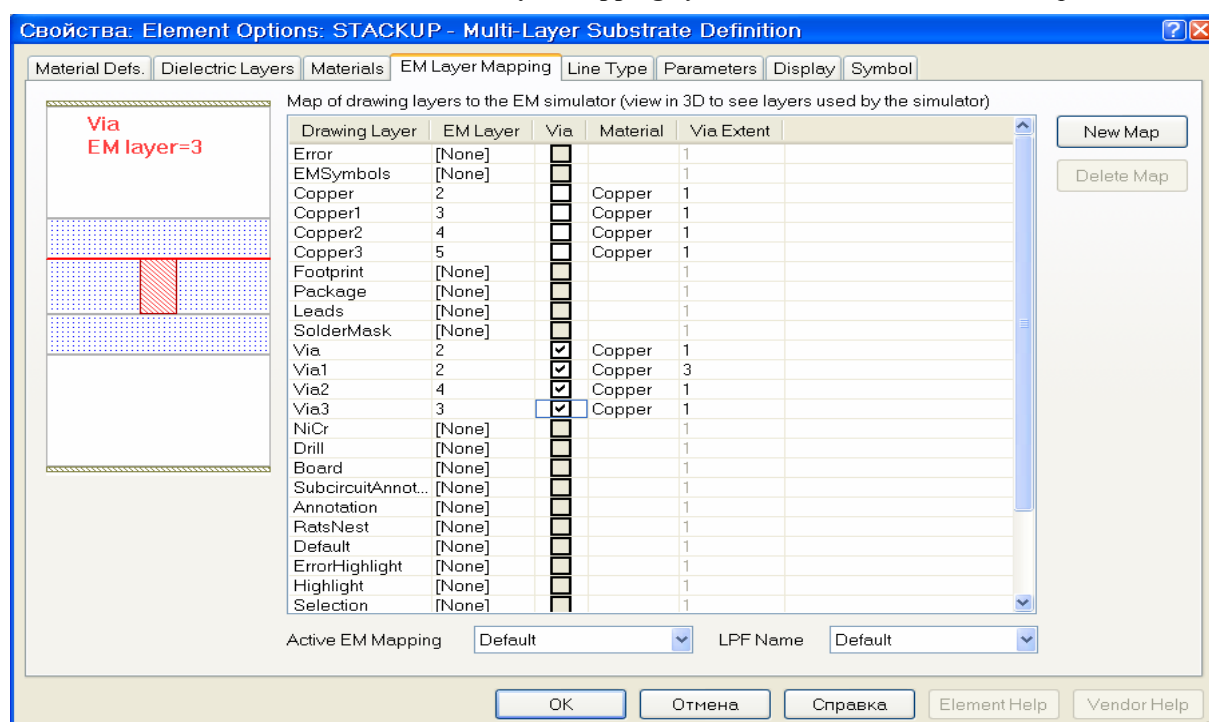


Рис. 6.148

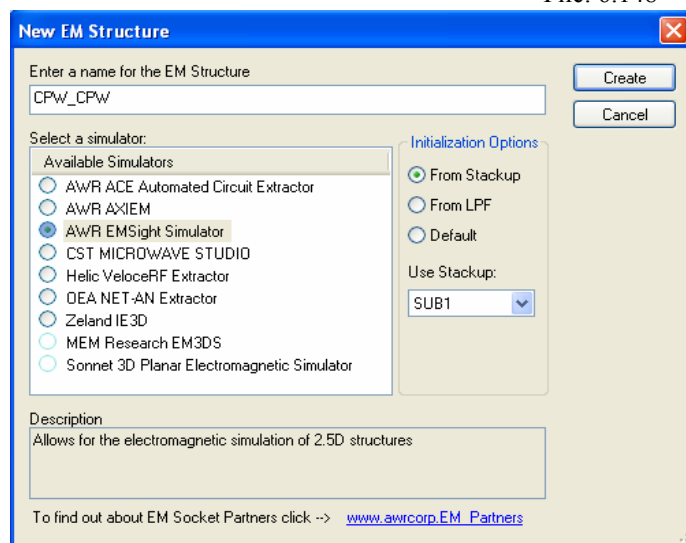


Рис. 6.149

Параметры на остальных вкладках можно оставить по умолчанию. Нажмите **OK**.

Можно также закрыть окно **Global Definition**.

Теперь можно создавать электромагнитную структуру.

Щёлкните по значку **Add New EM Structure** на панели инструментов или выберите в меню команду **Project>Add EM Structure>New EM Structure**. Откроется окно **New EM Structure** (рис. 6.149). В поле **Enter a name for EM Structure** введите имя структуры, например, **CPW_CPW**. В области **Initialization Options** отметьте **From Stackup**. В поле **Use Stackup** должно появиться имя элемента подложки **SUB1**. Если в проекте определено несколько элементов **Stackup**, то в этом поле нужно оп-

ределить необходимый элемент для каждой создаваемой электромагнитной структуры.

В области **Select a simulator** отметьте **AWR EMSight Simulators**. Нажмите **Create** (Создать). Откроется пустое окно электромагнитной структуры и в левом окне просмотра проекта появится группа с именем **CPW_CPW** создаваемой структуры.

Щёлкните по значку **Substrate Information** (Информация о подложке) на панели инструментов или дважды щёлкните мышкой по подгруппе **Enclosure** (Корпус) в группе **CPW_CPW** в левом окне просмотра проекта. Откроется окно свойств корпуса рис. 6.150. На вкладке **Enclosure** этого окна в столбце **Value** для **X_Dim** введите длину корпуса **5 mm**, для **Y_Dim** введите ширину корпуса **2,8 mm**, размер ячеек сетки по осям **GridX** и **Grid_Y** введите **0.1 mm**. Остальные значения оставьте по умолчанию. Вкладка **Enclosure** должна выглядеть, как показано на рис. 6.150.

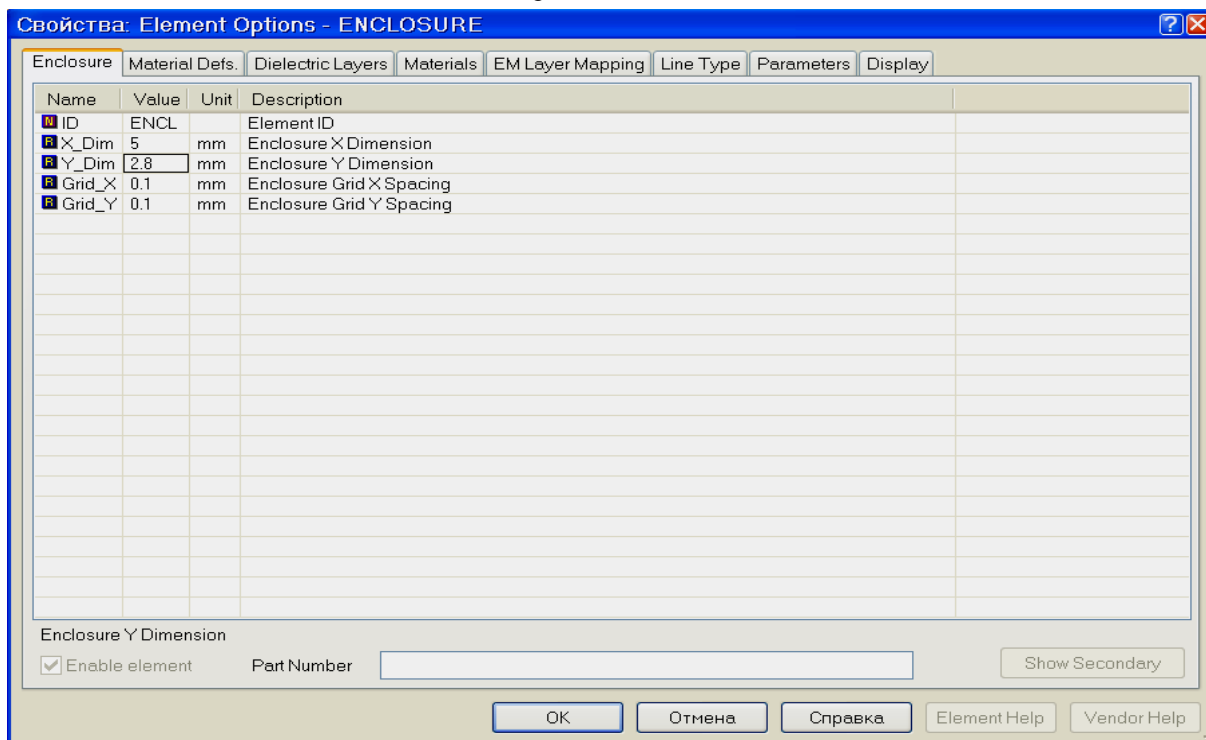


Рис. 6.150

При желании можете просмотреть остальные вкладки окна и убедиться, что все значения установлены в соответствии с определённым элементом STACKUP.

Нажмите **OK**.

В левом окне откройте менеджер топологии, щёлкнув по кнопке **Layout** в нижней части левого

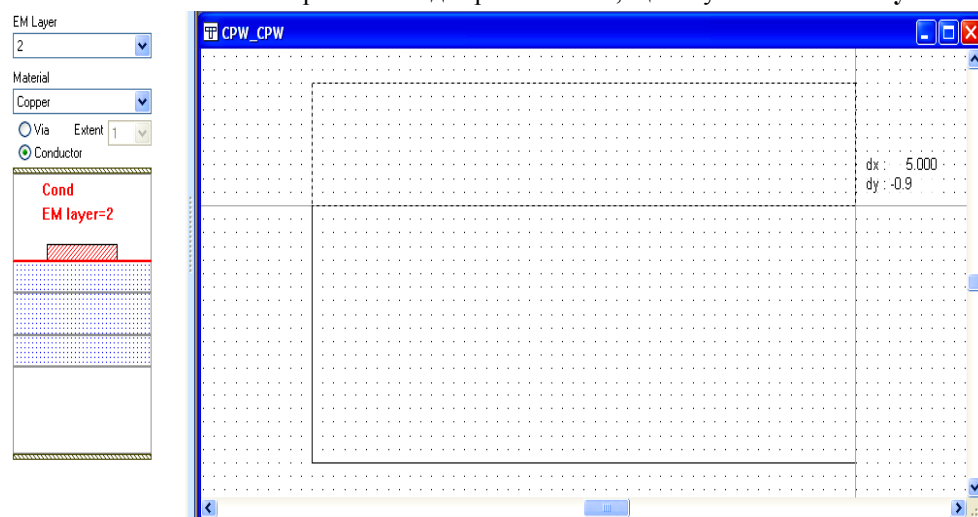


Рис. 6.151

окна. В окне менеджера топологии в поле **EM Layer** введите **2**, щёлкнув по кнопке в правом конце этого поля. В поле **Material** введите **Copper**, щёлкнув по кнопке в правом конце этого поля. Отметьте **Conductor**. Щёлкните по значку **Rectangle** на панели инструментов или выберите в меню **Draw> Rectangle**. Установите

курсор на левый верхний угол корпуса, нажмите левую кнопку и перемещайте курсор вправо и вниз по диагонали, образуя прямоугольник, пока возле курсора не отобразятся **dx:5.0** и **dy:-0.9** (рис. 6.151).

Обратите внимание, в окне менеджера топологии отображается вид создаваемой структуры. В этом окне указаны слой диэлектрика, на котором выполняется черчение проводников (**EM Layer**) и материал создаваемого проводника, но не указан слой черчения. Этот слой определяется автоматически заданием слоя диэлектрика и материала. При желании убедиться в правильности выбранного слоя черчения можно сначала щёлкнуть по созданному проводнику левой кнопкой мышки, затем щёлкнуть правой

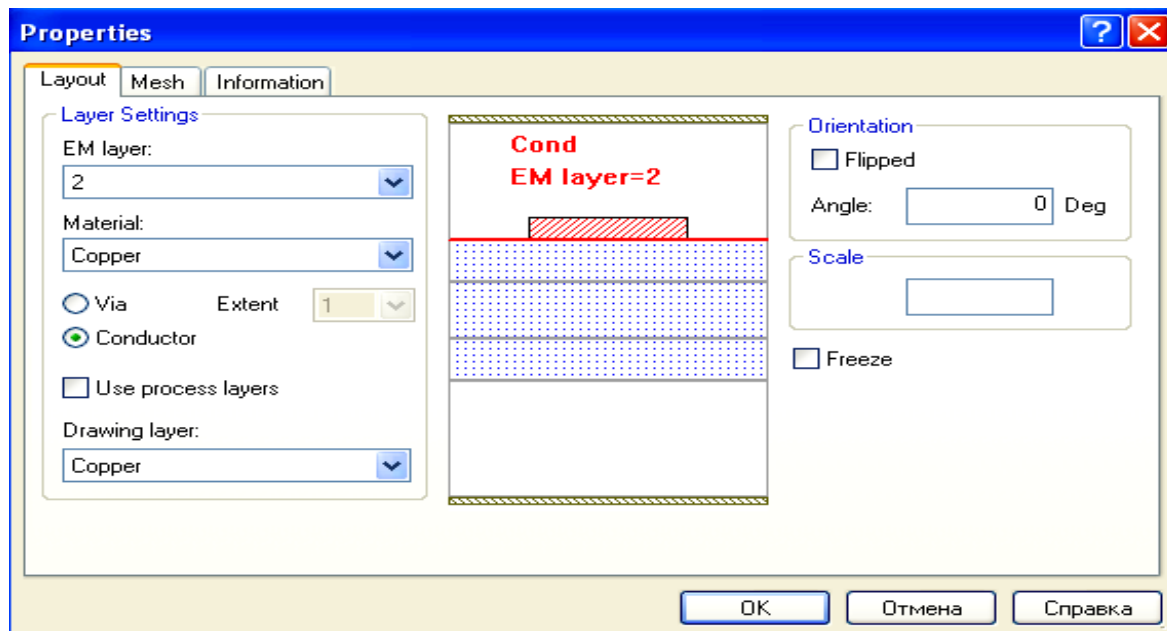


Рис. 6.152

кнопкой и выбрать **Shape Properties** (Свойства формы). Откроется окно свойств (рис. 6.152), в котором на вкладке **Layout** указан и слой черчения **Copper** в поле **Drawing layer**.

Убедиться в правильности создаваемой структуры можно также, просмотрев трёхмерное отображение созданной структуры. Щёлкните по значку **View EM 3D Layout** на панели инструментов или

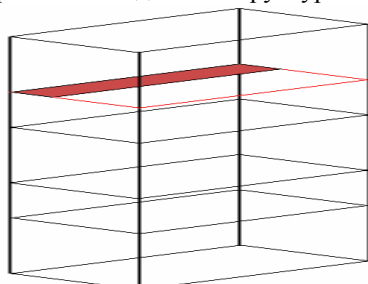


Рис.6.153

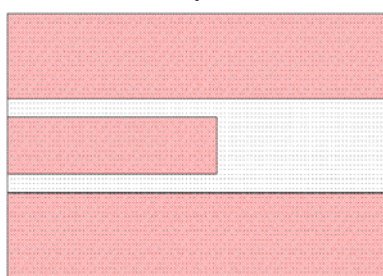


Рис. 6.154

выберите в меню **View> View 3D EM Layout** (рис. 6.153).

Щёлкните левой кнопкой мышки по созданному проводнику, чтобы выделить его (если не выделен). Щёлкните по значку **Copy**, затем щёлкните по значку **Paste** на панели инструментов и установите скопированный проводник к нижней части корпуса.

Щёлкните по значку **Rectangle** на панели инструментов. Установите курсор на левую сторону корпуса на две ячейки сетки ниже верхнего заземлённого проводника. Нажмите левую кнопку мышки и, не отпуская кнопки и перемещая курсор вправо и вниз, создайте проводник копланарной линии длиной 2.8 мм и шириной 0.6 мм. Зазор между этим проводником и заземляющими проводниками должен быть равен 0.2 мм и структура будет выглядеть, как показано на рис. 6.154.

Создадим земляную плоскость на 3-ем слое. В окне менеджера топологии в поле **EM Layer** введите **3**. Щёлкните по значку **Rectangle** на панели инструментов. Установите курсор на верхний левый угол структуры, нажмите левую кнопку мышки и переместите курсор на нижний правый угол структуры, отпустите кнопку.

В созданной земляной плоскости нужно создать отверстие под правым краем проводника копланарной линии. Через это отверстие должна пройти перемычка на будущий нижний отрезок копланарной линии так, чтобы перемычка не была замкнута на землю.

Щёлкните по созданной земляной плоскости в любом свободном месте, где нет других проводников, чтобы выделить эту плоскость, если она не выделена. Щёлкните по значку **Notch Shape** (Выемка в форме) на панели инструментов. Установите курсор на верхний правый угол проводника копланарной

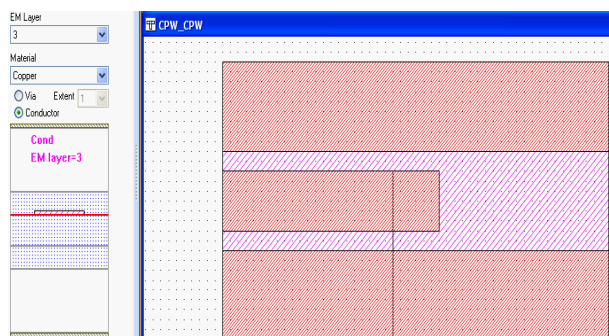


Рис. 6.155

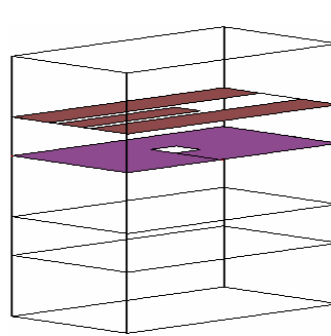


Рис. 6.156

линии, нажмите левую кнопку мышки, переместите курсор на 0.6 влево и на 0.6 вниз, отпустите кнопку. Структура должна выглядеть, как показано на рис. 6.155. Трёхмерное отображение созданной структуры показано на рис. 6.156.

Создадим заземляющие перемычки на заземлённых проводниках диаметром 0.3 мм с расстоянием между их центрами 1 мм. Чтобы точнее установить перемычки, щёлкните по значку **Substrate Information** на панели инструментов и измените размер ячеек сетки **Grid_X** и **Grid_Y** на **0.05**.

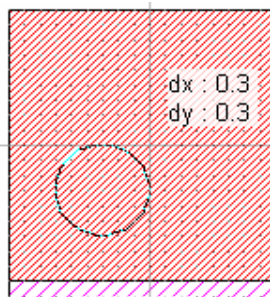


Рис. 6.157

В левом окне менеджера топологии в поле **EM Layer** установите **2** и отметьте **Via**.

Щёлкните по значку **Ellipse** на панели инструментов или выберите в меню **Draw>Ellipse**. Поместите курсор на верхний заземлённый проводник вблизи левого нижнего угла, нажмите левую кнопку мышки, и перемещайте мышку, пока отобразятся **dx:0.3** и **dy:0.3** (рис. 6.157). Установите курсор на созданную перемычку, нажмите левую кнопку мышки и установите перемычку так, чтобы расстояние от центра перемычки до левого края корпуса было 0.5 мм, а расстояние до нижнего края заземлённого проводника было 0.3 мм.

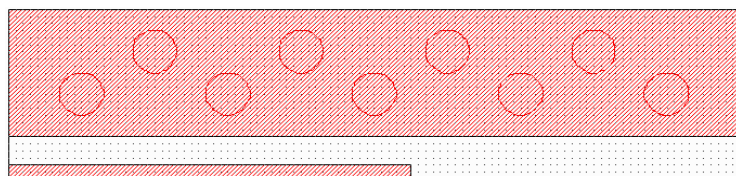


Рис. 6.158

При выделенной перемычке щёлкните по значку **Copy** на панели инструментов. Затем, щёлкая по значку **Paste** на панели инструментов, установите перемычки на расстоянии 1 мм между их центрами и на одинаковом расстоянии до нижнего края верхнего заземленного проводника. Должно получиться 5 перемычек.

Щёлкая по значку **Paste** на панели инструментов, установите второй ряд перемычек так, чтобы расстояние от левого края корпуса до центра первой перемычки и расстояния между перемычками в этом ряду было 1 мм. Расстояние между осевыми линиями перемычек, расположенных в двух рядах, должно быть 0.3 мм. Верхний заземлённый проводник с перемычками будет выглядеть, как показано на рис. 6.158.

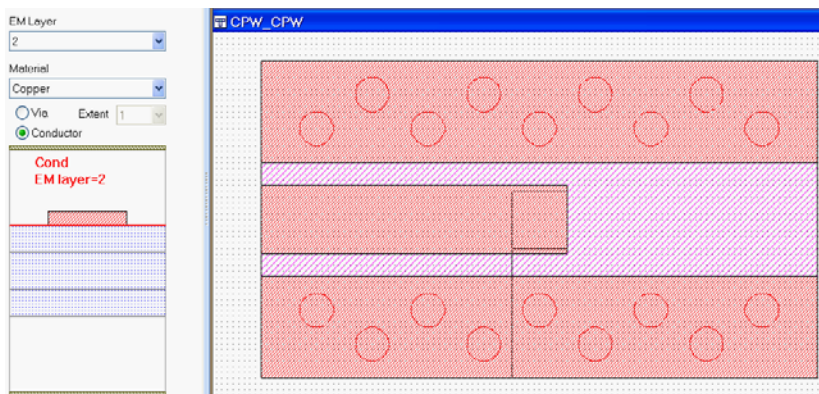


Рис. 6.159

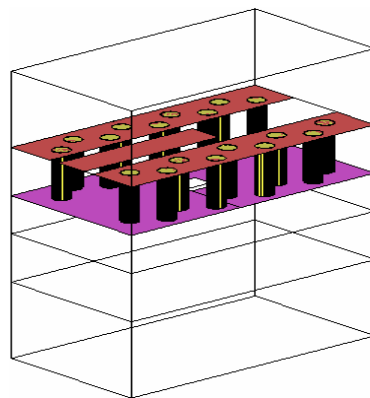


Рис. 6.160

Выделите все перемычки и щёлкните по значку **Copy** и затем по значку **Paste** на панели инструментов, переместите курсор в окно электромагнитной структуры, два раза щёлкните правой кнопкой мышки, чтобы развернуть скопированные перемычки на 180 градусов, и поместите их на нижнем заземлённом проводнике симметрично относительно расположения перемычек на верхнем заземлённом проводнике. Структура должна выглядеть, как показано на рис. 6.159. Трёхмерное отображение созданной структуры показано на рис. 6.160

Теперь создадим нижнюю часть структуры. Сделать это можно таким же способом, как описано выше. Например, в менеджере топологии в поле **EM Layer** ввести слой 4 и на нём создать земляную плоскость с прямоугольным отверстием в ней напротив отверстия в земляной плоскости на слое 3 и с такими же размерами. Затем на слое 5 создать элементы копланарной линии. И, наконец, создать перемычки со слоя 4 на слой 5.

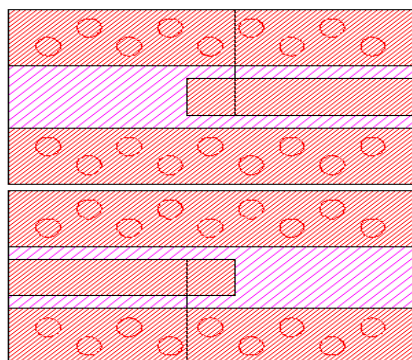


Рис. 6.161

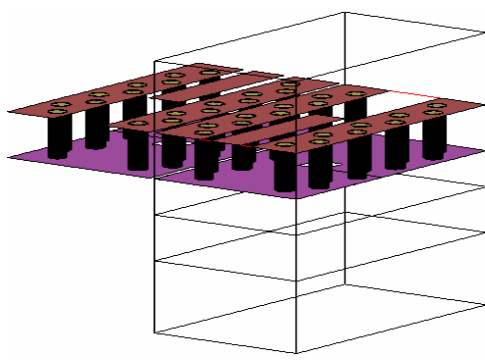


Рис. 162

Мы это сделаем другим способом.

Установите курсор левее и выше структуры, нажмите левую кнопку мышки и переместите курсор правее и ниже структуры, отпустите кнопку мышки. Все элементы структуры на всех слоях будут выделены. Щёлкните по значку **Copy** на панели инструментов. Щёлкните

по значку **Zoom Out** на панели инструментов, чтобы уменьшить отображение структуры. Щёлкните по значку **Paste** на панели инструментов, переместите курсор в окно электромагнитной структуры и два раза щёлкните правой кнопкой мышки, чтобы развернуть копию топологии на 180 градусов. Поместите скопированную топологию на свободном месте, например, чуть выше имеющейся электромагнитной структуры. Исходная и скопированная структуры и их трёхмерное отображение показаны на рис. 6.161 и 6.162.

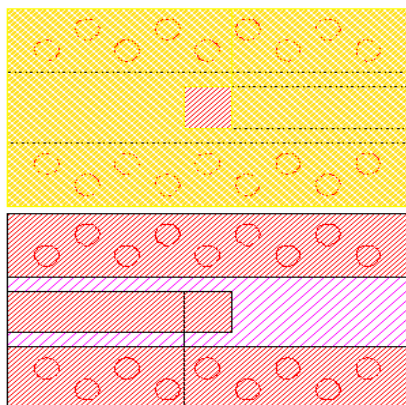


Рис. 6.163

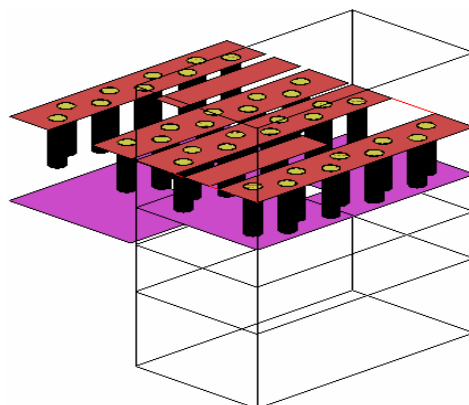


Рис. 6.164

Щёлкните левой кнопкой мышки по значку **Move Down** на панели инструментов, чтобы понизить эту плоскость на один слой (рис. 6.164). Как видно на рисунке, земляная плоскость находится на нужном уровне.

Щёлкните левой кнопкой мышки на свободном месте в окне электромагнитной структуры, чтобы снять выделение земляной плоскости. Нажмите клавишу **Shift** и щёлкните по очереди по всем перемычкам на скопированной структуре, чтобы выделить их (рис. 6.165). Перемычки нужно понизить на два слоя. Поэтому щёлкните по значку **Move Down** на панели инструментов два раза. Трёхмерное отображение показано на рис. 6.166, перемычки переместились на нужный уровень.

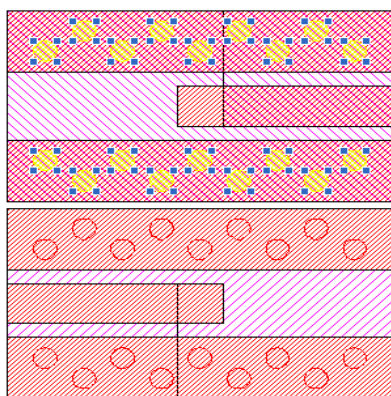


Рис. 6.165

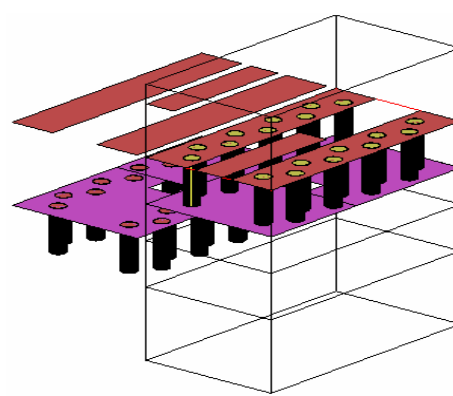


Рис. 6.166

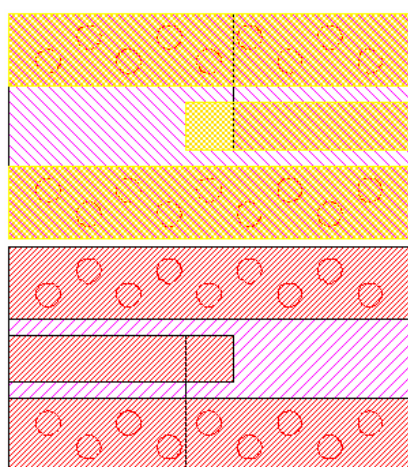


Рис. 6.167

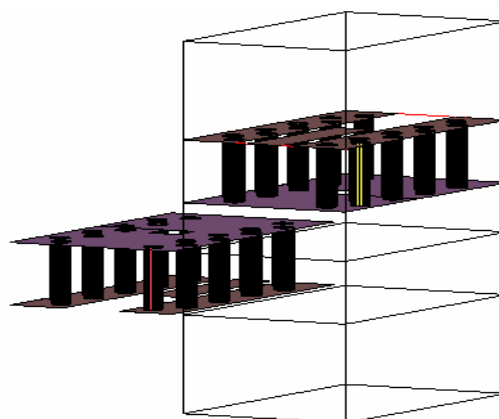


Рис. 6.168

Как видим, скопированная структура находится на том же уровне, что и первоначальная.

Щёлкните левой кнопкой мышки по земляной плоскости на скопированной структуре где-нибудь на свободном месте от других проводников, чтобы выделить её (рис. 6.163), и затем щёлкните по значку **Move Down** (Переместить вниз)

на панели инструментов, чтобы понизить эту плоскость на один слой (рис. 6.164). Как видно на рисунке, земляная плоскость находится на нужном уровне.

Щёлкните левой кнопкой мышки на свободном месте в окне электромагнитной структуры, чтобы снять выделение перемычек. Нажмите клавишу **Shift** и щёлкните по очереди по всем проводникам копланарной линии на скопированной структуре, чтобы выделить их (рис. 6.167). Эти проводники нужно понизить на три слоя, поэтому щёлкните по значку **Move Down** на панели инструментов три раза. Трёхмерное отображение показано на рис. 6.168, проводники копланарной линии переместились на нужный уровень. Теперь осталось только переместить скопированную структуру

в корпус.

Установите курсор мышки левее и выше скопированной структуры, нажмите левую кнопку мышки и переместите курсор правее и ниже скопированной структуры, отпустите кнопку мышки. Установите курсор на выделенную структуру, нажмите левую кнопку мышки и переместите структуру в корпус. Щёлкните мышкой на свободном месте, чтобы снять выделение. Структура будет выглядеть так же,

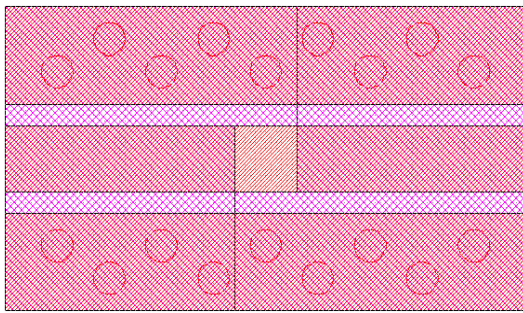


Рис.6.169

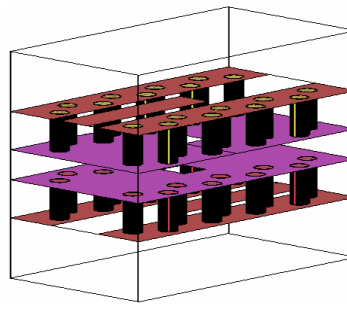


Рис.6.170

как и раньше (рис. 6.169), т.к. элементы топологии в нижней части располагаются под такими же элементами в верхней части и не видны в двухмерном отображении. Трёхмерное отображение созданной структуры показано на рис. 6.170.

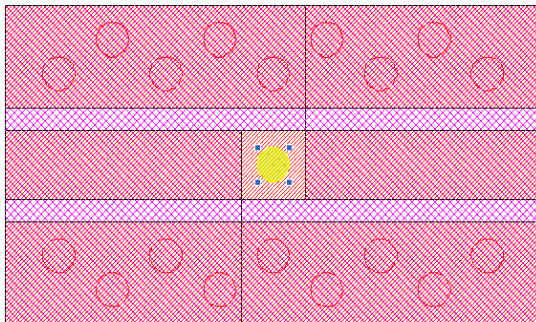


Рис.6.171

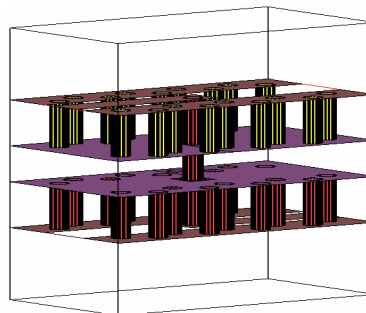


Рис. 6.172

Теперь создадим переход между двумя отрезками копланарной линии, расположенными на разных слоях.

В окне менеджера топологии отметьте **Via**, в поле **EM Layer** введите **2**, в по-

ле **Extent** введите **3**, щёлкнув по кнопке в правом конце этого поля. Щёлкните по значку **Ellipse** на панели инструментов, установите курсор в области квадратного отверстия на земляных плоскостях ближе к левому нижнему углу, нажмите левую кнопку мышки, двигайте мышку так, чтобы отображались смещения координат **dx:0.3** и **dy:0.3**. Установите курсор на созданную перемычку, нажмите левую кнопку мышки и поместите перемычку по центру квадратного отверстия. Структура будет выглядеть, как показано на рис. 6.171, а её трёхмерное отображение – на рис. 6.172.

Для повышения качества работы межслойного перехода, можно рядом с перемычкой, соединяющей отрезки копланарной линии, создать сквозные перемычки, соединяющие все металлические заземлённые слои.

В окне менеджера топологии в поле **EM Layer** введите **3**, отметьте **Via**, в поле **Extent** введите **1**. Щёлкните по значку **Ellipse** на панели инструментов. Установите курсор на ближайшую к межслойному

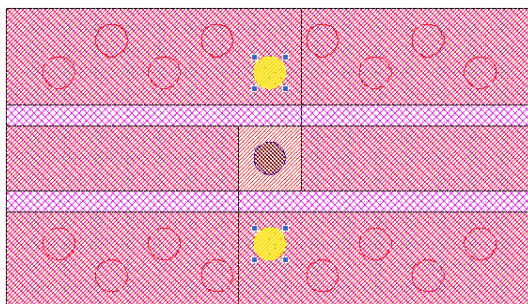


Рис. 6.173

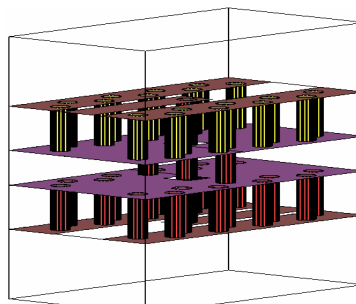


Рис. 6.174

переходу перемычку во втором ряду перемычек сверху. Нажмите левую кнопку мышки и, не отпуская кнопки и двигая мышку, создайте перемычку между 3-им и 4-ым слоями диаметром **0.3 мм (dx:0.3 и dy:0.3)**. Установите курсор на вновь созданную перемычку и совместите её с ранее созданной перемычкой, ближайшей к межслойному переходу во втором ряду сверху.

Аналогично создайте перемычку между 3-им и 4-ым слоями в месте расположения перемычки, ближайшей к межслойному переходу во втором ряду снизу. Структура будет выглядеть, как показано на рис. 6.173, а её трёхмерное отображение на рис. 6.174.

Создайте порты на входе и выходе структуры. Щёлкните по входному проводнику копланарной линии, чтобы выделить её. Щёлкните по значку

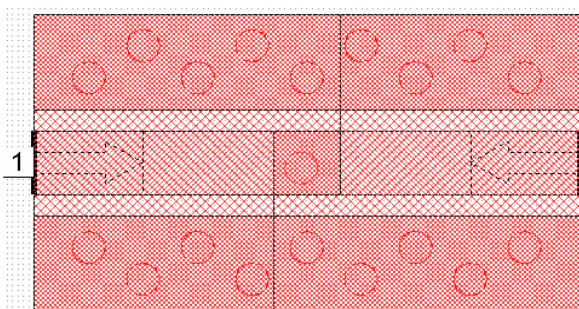


Рис.6.175

Edge Port на панели инструментов или выберите в меню **Draw>Add Edge Port**. Установите курсор на левый край входного проводника так, чтобы появился маленький прямоугольник, и щёлкните мышкой. Будет создан порт 1. Щёлкните по этому порту мышкой, установите курсор на правую сторону порта так, чтобы курсор отображался в виде двойной стрелки. Нажмите левую кнопку мышки и сдвиньте референсную плоскость вправо на 1 мм.

Аналогично установите 2-ой порт на правый край выходного проводника копланарной линии и сдвиньте референсную плоскость влево на 1 мм.

Структура будет выглядеть, как показано на рис. 6.175.

Откройте окно просмотра проекта, щёлкнув по кнопке **Project** в левой нижней части левого окна.

Дважды щёлкните по **Project Options** в окне просмотра проекта. На вкладке **Frequencies** открывшегося окна опций проекта отметьте **Replace** (Заменить), в поле **Start (GHz)** введите 1, в поле **Stop (GHz)** введите 18, в поле **Step (GHz)** введите 2, нажмите **Apply** и **OK**.

Щёлкните по значку **Add New Graph** на панели инструментов или выберите в меню **Project> Add Graph**. В открывшемся окне введите имя графика, например, **LdB**, отметьте тип графика **Rectangular** и нажмите **OK**.

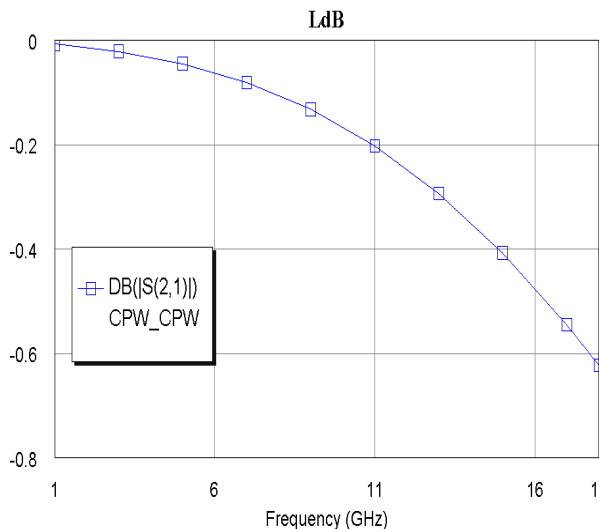


Рис.6.176

Щёлкните по значку **Analyze** на панели инструментов или выберите в меню **Simulate> Analyze**. Рассчитанный график показан на рис. 6.176.

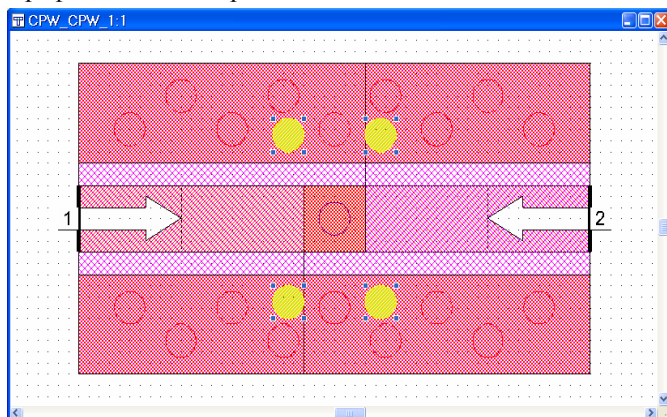


Рис. 6.177

Качество перехода можно улучшить, если рядом с переходом добавить сквозные перемычки, замыкающие все заземлённые проводники.

В окне просмотра проекта установите курсор на имя электромагнитной структуры **CPW_CPW**,

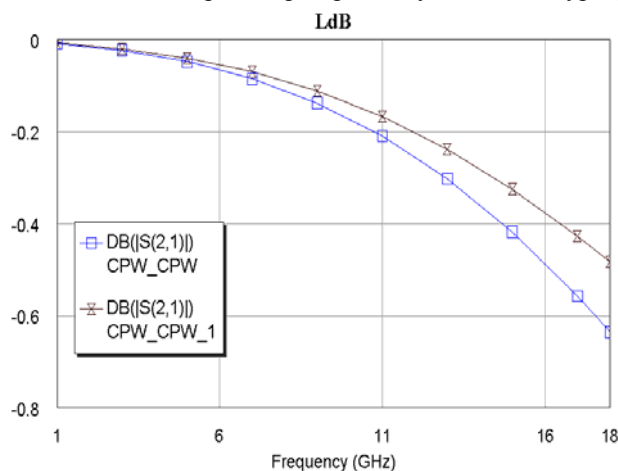


Рис. 6.179

Откроется пустое окно графика и в окне просмотра проекта в группе **Graphs** появится подгруппа с именем графика **LdB**. Щёлкните правой кнопкой мышки по этому имени и выберите **Add Measurement**. В открывшемся окне измеряемых величин в области **Measurement Type** отметьте **Port Parameters**, в области **Measurement** отметьте **S**, в поле **To Port Index** введите 2, в поле **From Port Index** введите 1, отметьте **Mag** и **dB**, нажмите **Apply** и **OK**.

Теперь можно выполнить анализ структуры. Поскольку структура довольно сложная, потребуется достаточно мощный компьютер. Чтобы сократить время анализа, увеличим размер ячеек сетки. Сделайте активным окно электромагнитной структуры. Щёлкните по значку **Substrate Information** на панели инструментов и верните прежние значения размеров ячеек сетки **Grid_X=0.1** и **Grid_Y=0.1**.

Сделайте активным окно графика и щёлкните по значку **Analyze** на панели инструментов или выберите в меню **Simulate> Analyze**. Рассчитанный график показан на рис. 6.176.

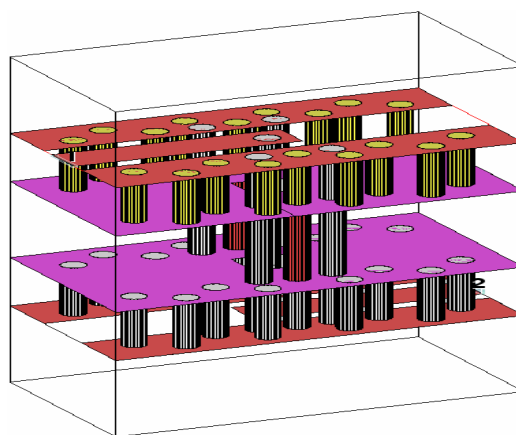


Рис. 6.178

нажмите левую кнопку мышки и переместите курсор на группу **EM Structures**, отпустите кнопку. Будет создана копия структуры **CPW_CPW_1**.

Откройте окно менеджера топологии. В поле **EM Layer** введите 2, отметьте **Via** и в поле **Extent** введите 3.

Щёлкая по значку **Ellipse** на панели инструментов, создайте четыре дополнительные перемычки диаметром 0.3 мм вблизи межслойного перехода, как показано на рис. 6.177 и 6.178.

Откройте слева окно просмотра проекта и сделайте активным окно графика. Щёлкните по значку **Analyze** на панели инструментов. Рассчитанные графики показаны на рис. 6.179.

7. Электромагнитное моделирование (AXIEM)

7.1. Основные особенности AXIEM.

В отличие от EMSight в AXIEM для анализа используется смешанная сетка с прямоугольными и треугольными ячейками.

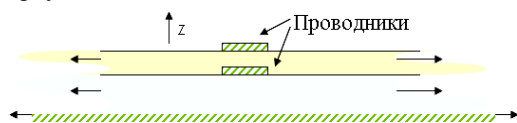


Рис. 7.1

Решающее устройство AXIEM использует метод моментов для расчета токов на проводниках, которые могут быть расположены на различных слоях диэлектриков. Диэлектрические слои имеют бесконечную протяжённость в плоскости X-Y, как показано на рис. 7.1. Т.е. в AXIEM нет боковых стенок. Диэлектрические слои располагаются выше бесконечного полупространства. Полупространство ниже диэлектрических слоёв обычно проводник с потерями или идеальный проводник, но может быть и свободным пространством. Полупространство над диэлектрическими слоями обычно является свободным пространством, но может быть и проводником.

Формы проводников в AXIEM должны быть планарными в плоскости X-Y и могут иметь толщину в направлении оси Z. На толщину проводников ограничений нет. Толщина может быть равна толщине одного или нескольких слоёв. Нет никаких ограничений на встраивание проводников в сетку (они не обязательно должны точно вписываться в геометрическую сетку, как в EMSight). Модель в AXIEM может содержать проводники и перемычки. Перемычки всегда направлены вниз и их длина должна быть равна толщине одного или нескольких слоёв. Т.к. ограничений на толщину проводников нет, можно вычерчивать перемычки, используя толстые проводники. Однако есть опции сетки, которые по разному обрабатывают перемычки и толстые проводники, имеющие такую же толщину.

Для анализа AXIEM использует сетку на всех поверхностях проводника, включая боковые стороны. При анализе рассчитываются токи в направлении X, Y и Z. Способность определять токи на всех поверхностях позволяет выполнить точный анализ толстых проводников, даже если толщина больше ширины проводника.

По умолчанию AXIEM моделирует проводники с нулевой толщиной. Но для точного определения связи между близко расположенными проводниками нужно учитывать толщину проводников. Чтобы при анализе учитывалась толщина проводников, нужно отключить установки по умолчанию. Это можно сделать как для всей структуры, так и для отдельных топологических форм. Чтобы учитывать толщину всех проводников в структуре, щёлкните правой кнопкой по имени структуры в окне просмотра проекта и выберите **Options**. В окне **Options** откройте вкладку **Mesh**. Снимите отметку в **Use default properties** и затем снимите “галочку” в **Model as zero thickness**. Чтобы учитывать толщину только некоторых проводников в структуре, выделите эти проводники, щёлкните правой кнопкой мышки по любому из них и выберите **Shape properties**. В окне **Properties** откройте вкладку **Mesh**. Снимите отметку в **Use default properties** и затем снимите “галочку” в **Model as zero thickness**. Убедиться, что толщина проводников

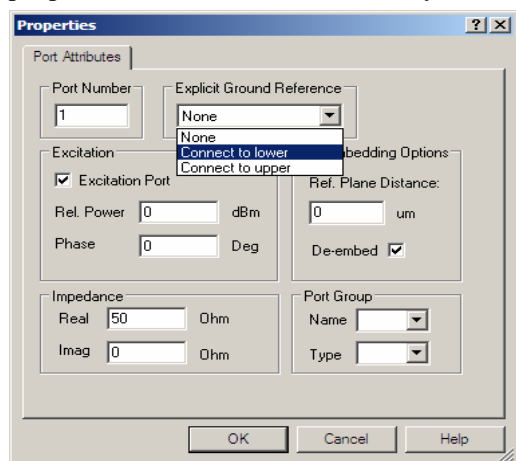


Рис. 7.2

установлена, можно просмотрев трёхмерное отображение структуры. Можно отключить установку по умолчанию и для всего проекта, выбрав в меню **Options>Default EM Options**.

Для возбуждения структуры могут использоваться различные типы портов. Самым простым и часто используемым портом является порт края **Edge Port**. Устанавливается он точно так же, как и в EMSight. По умолчанию напряжение для возбуждения структуры определяется между краем проводника, на котором установлен порт и бесконечной земляной плоскостью или бесконечностью, если земляной плоскости нет. Это может вносить погрешность при анализе. В этом случае лучше соединить порт с земляной плоскостью ниже или выше проводника, в зависимости от моделируемой структуры. Для этого дважды щёлкните по порту. Откроется окно **Properties/Port Attributes** (рис. 7.2). В поле **Explicit Ground Reference** (Явная связь с землёй) введите **Connect to lower** (соединить вниз) или **Connect to upper** (соединить вверх). Автоматически будет добавлена металлическая полоска от края проводника до земляной плоскости и возле порта появится обозначение земли (рис.7.3). Трёхмерное отображение структуры будет иметь вид, показанный на рис. 7.4. Такой порт представляет собой узкий зазор меж-

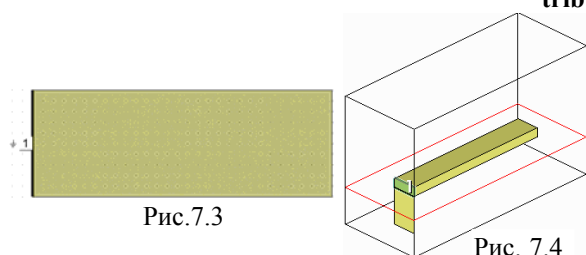


Рис.7.3

Рис. 7.4

ду вертикальной полоской и земляной плоскостью, к которому приложено напряжение для возбуждения

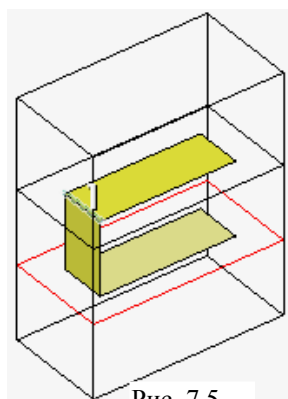


Рис. 7.5

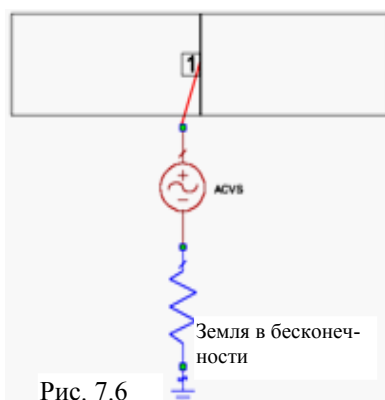


Рис. 7.6

структуры. Неоднородность этого порта не велика и обычно сдвиг референсной плоскости не требуется. Исключить влияние неоднородности на результаты анализа можно процедурой исключения неоднородности порта (de-embedding).

Иногда пользователь может определить землёй для порта не земляную плоскость, а другой проводник, расположенный на другом слое (рис. 7.5). В таком случае процедура de-embedding не исключает неоднородность порта.

Порты края могут быть расположены на любых проводниках, даже если

эти проводники соединены друг с другом или перекрываются. На рис. 7.6 показана конфигурация без земляной плоскости. Этот порт не может использовать процедуру исключения неоднородности de-embedding.

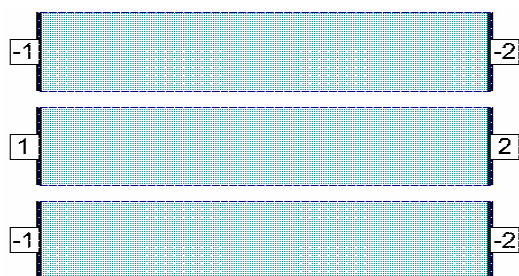


Рис. 7.7

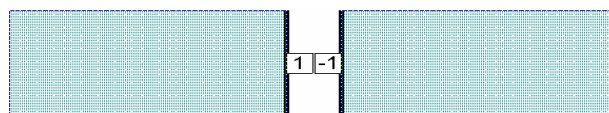


Рис. 7.8

Дифференциальные порты – это группа портов, в которой определён один порт с положительной клеммой и один или несколько портов с отрицательной клеммой, которые имеют тот же номер порта, что и положительная клемма. Дифференциальные порты могут быть установлены, например, в компланарном волноводе (рис. 7.7) или в зазоре линии передачи (рис.7.8). Если используются дифференциальные порты, в **Explicit Ground Reference** можно установить только **None**. Чтобы определить порт с отрицательной клеммой, дважды щёлкните по порту и в поле **Port Number** в окне рис. 7.2 введите отрицательное число.

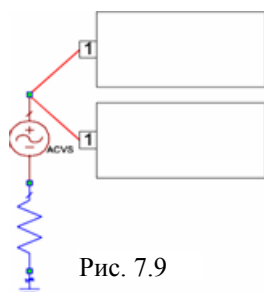


Рис. 7.9

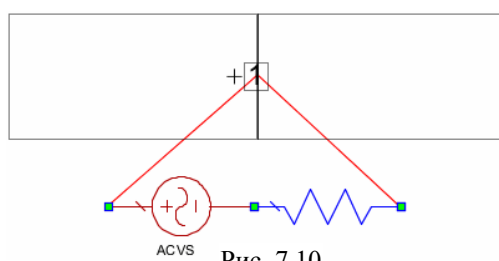


Рис. 7.10

Многоконтактные порты – это порты с одинаковыми номерами. Такие порты обычно используются для подключения одного элемента, например, источника к нескольким портам (рис. 7.9). В **Explicit Ground Reference** для этих портов можно установить любой тип заземления.

Внутренний порт между двумя проводниками показан на рис. 7.10. Этот порт создаёт очень маленький зазор между проводниками, через который производится возбуждение.

Свойства портов можно редактировать после их установки в электромагнитной структуре. Для этого дважды щёлкните по порту, чтобы открыть окно его свойств (рис.7.2). Редактирование производится так же, как и в EMSight. Нужно не забывать, что установки **Excitation** и **Impedance** не влияют на вычисление S-параметров. Эти параметры всегда вычисляются только на сопротивление портов 50 Ом. Можно выделить несколько портов, чтобы сразу отредактировать параметры всей группы выделенных портов.

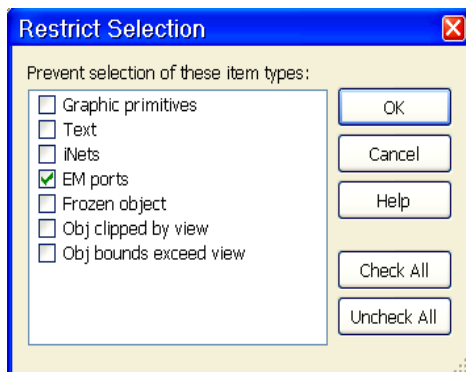


Рис.7.11

Вы можете также запретить редактирование установленных портов. Щёлкните правой кнопкой мышки в окне электромагнитной структуры и выберите **Restrict Selection**. Откроется окно рис. 7.11, в котором нужно отметить те элементы, которые нужно запретить редактировать. Если нужно запретить редактировать только порты, щёлкните по кнопке **Check All**, чтобы убрать все отметки в окне, затем отметьте **EM ports**.

Свойства всех установленных портов можно отредактировать и в одном окне. При активном окне электромагнитной структуры выберите в меню **Edit>Port Properties**. Откроется окно **EM Ports Properties** (рис. 7.12), в котором можно отредактировать свойства любого порта. Когда в этом окне вы щёлкаете в любом месте строки порта, который хотите редактировать, в топологии этот порт выделяется синим цветом и масштаб отображения структуры изменяется. Увеличивается отображение той области структуры, где расположен редактируемый порт. Но при этом само окно может закрывать редактируемый порт. Можно попробовать сместить окно так, чтобы видеть все порты до начала редактирования (например, сместить окно вниз). Тогда редактируемый порт всегда будет виден.

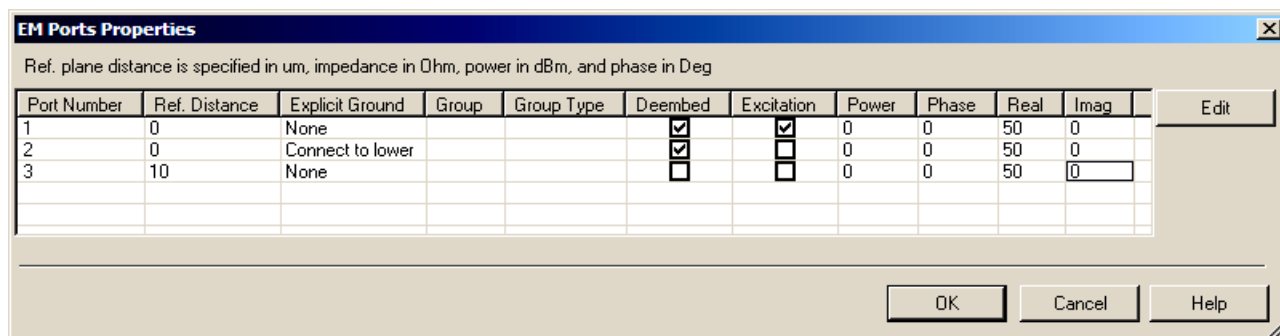


Рис. 7.12

При установке портов, им автоматически присваиваются номера по порядку. Если вы затем измените номер порта, например, чтобы сделать дифференциальные порты, или в процессе моделирования удалите какой-то порт, порядок их нумерации будет нарушен. Вы можете перенумеровать порты снова по порядку, выбрав в меню **Edit>Re-number Ports**. При этом если несколько портов имеют одинаковый номер, при перенумерации их номера остаются одинаковыми. Изменить номер такого порта можно только индивидуально, дважды щёлкнув по порту.

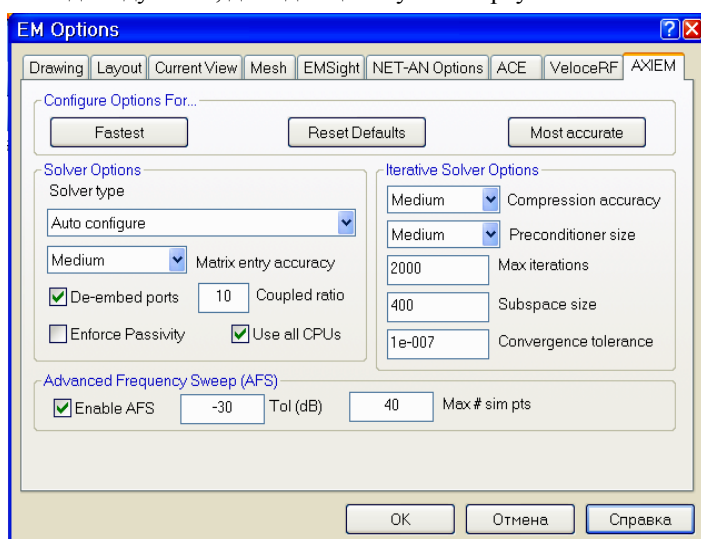


Рис. 7.13

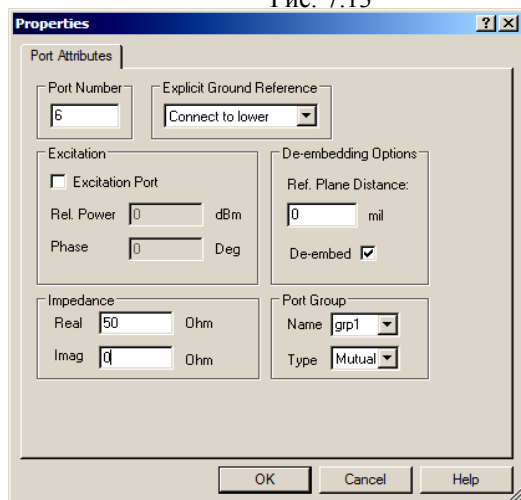


Рис. 7.14

В окне **Properties** в области **Port Group** в поле **Type** введите **Mutual**, в поле **Name** введите имя группы (рис. 7.14).

Для исключения неоднородности порта в AXIEM используется три метода:

1. **Single Line** (Одиночная линия);
2. **Coupled Line** (Связанные линии);
3. **Mutual Groups** (Взаимные группы).

Метод **Single Line** автоматически используется для портов края в одиночных линиях с любым типом заземления, для которых возможен процесс исключения неоднородностей порта (de-embedding).

Метод **Coupled Line** используется автоматически, если линии передачи расположены близко друг к другу. Возможность использования этого метода также определяется автоматически в зависимости от расстояния между линиями.

Связанные линии могут располагаться на разных слоях. Референсные плоскости на каждой отдельной линии могут быть сдвинуты на различные расстояния от порта. Вы можете отменить использование этого метода. Для этого выберите в меню **Options>Default EM Options**. В окне **EM Options** на вкладке **AXIEM** имеется поле ввода **Coupled ratio** (рис. 7.13), в которое вводится коэффициент связи, определяющий максимальное расстояние между линиями, при котором они считаются связанными. Чтобы отменить использование метода **Coupled Line**, установите **Coupled Ratio** в 0. На очень низких частотах этот метод не используется.

Метод **Mutual Groups** (Взаимные группы) может использоваться, если порты расположены близко друг к другу и сами порты могут соединяться вместе. Для использования этого метода дважды щёлкните по порту, который нужно включить в группу. В окне

На низких частотах этот стандарт не используется.

Обычно взаимные порты используются, когда в схеме нужно соединить компоненты, которые не использовались в электромагнитном моделировании. На рис. 7.15 показан полевой транзистор, который со всех четырёх сторон окружён топологическими формами, которые моделируются как электромагнитные структуры. Сам же полевой транзистор не может быть включён в электромагнитное моделирование.

Топология электромагнитной структуры, которую нужно моделировать, показана на рис. 7.16

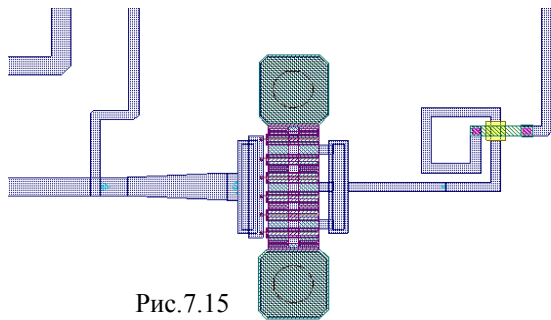


Рис. 7.15

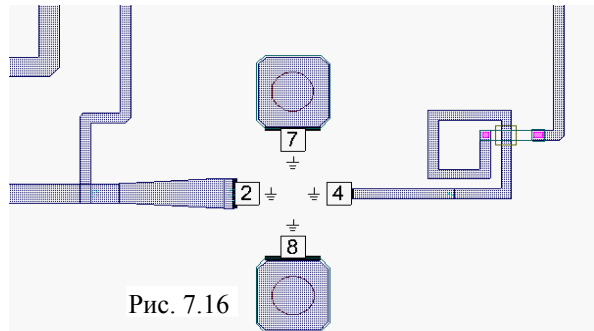


Рис. 7.16

Для большей точности анализа порты соединены с нижней землёй. В этом случае расстояние до земли близко к расстоянию между портами и, следовательно, между портами есть связь. Метод **Mutual Groups** может удалить влияние этой связи из результатов анализа.

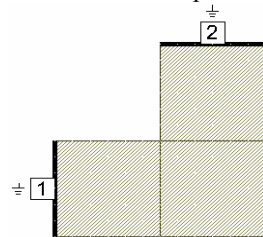


Рис. 7.17

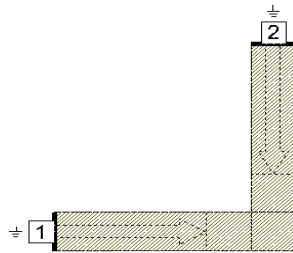


Рис. 7.18

Методы исключения неоднородности портов, созданные для взаимных групп, удлиняют металлические полоски по проводнику внутрь структуры. Поэтому есть ситуации, когда недопустимо использовать метод **Mutual Groups**. Самый простой пример – неоднородность изгиба (рис. 7.17). В этом примере металлическая полоска порта 1 будет продлена вправо, а металлическая полоска порта 2 – вниз. В результате получим перекрывающиеся металлические полоски, что приведёт к погрешности в результатах анализа. Чтобы исключить ошибки анализа в этом примере, нужно добавить референсные плоскости так, чтобы порты были обособленными и не влияли друг на друга (рис. 7.18).

После установки портов вы можете просмотреть стандарты исключения неоднородности портов. Это позволяет проверить правильность установки метода исключения неоднородностей. Щёлкните правой кнопкой мышки по электромагнитной структуре в окне просмотра проекта и выберите **Add Annotation**. В открывшемся окне (рис. 7.19) в области **Measurement Type** отметьте **Debug EM**, в области **Measurement** должно быть **EM_DEEMBED_MESH**, в поле **Port Number** введите номер интересующего порта, нажмите **Apply** и **OK**. Откройте трёхмерное отображение структуры. Будет отображаться количество линий, соответствующее методу исключения неоднородности, установленному для этого порта. Если используется метод **Single Line**, будет показана только одна линия. Если используется метод **Coupled Line** для двух связанных линий, будут показаны две линии. Если используется метод **Mutual Groups**, будет показано столько линий, сколько портов включено в группу.

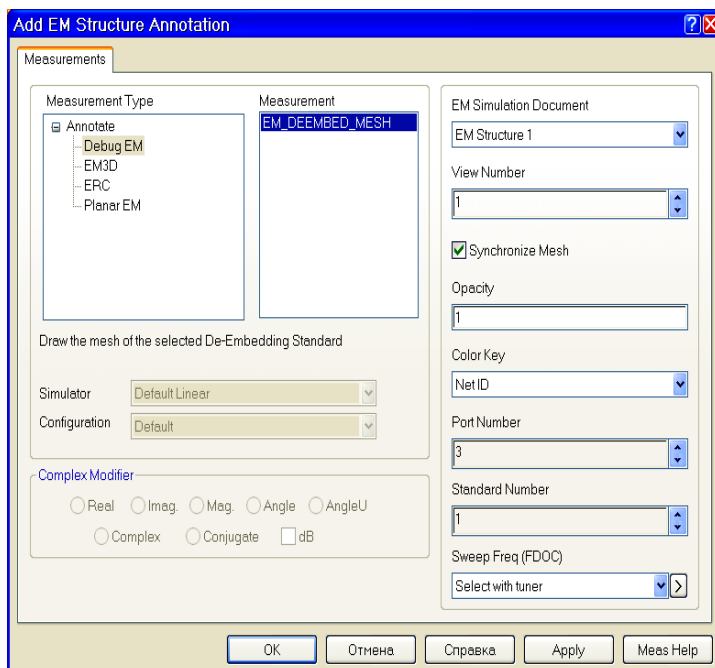


Рис. 7.19

По умолчанию AXIEM включает исключение неоднородностей для всех портов. Вы можете отключить исключение неоднородностей для любого порта. Для этого дважды щёлкните по порту левой кнопкой мышки или щёлкните по порту левой кнопкой мышки, затем – правой кнопкой мышки и выберите **Shape Properties**, снимите “галочку” в de-embedding в открывшемся окне. Можно отключить исключение неоднородностей для всех портов в структуре. Щёлкните правой кнопкой мышки по имени структуры в окне просмотра проекта и выберите **Options**. В открывшемся окне на вкладке AXIEM снимите “галочку” в **de-embedding ports**.

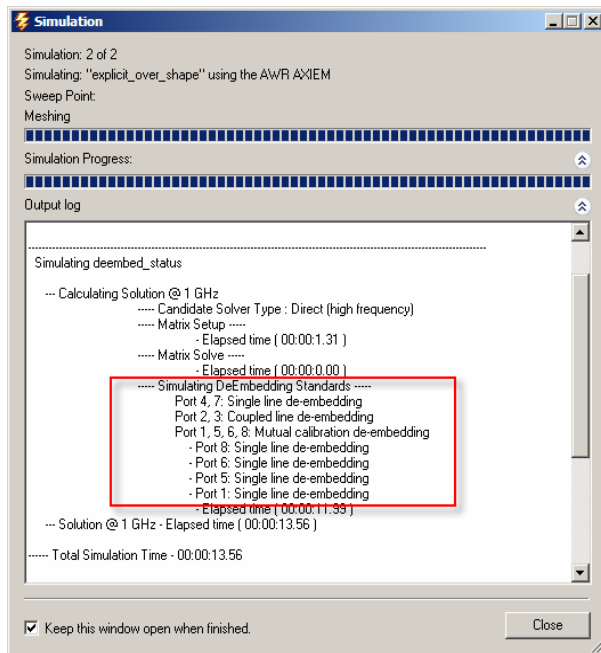


Рис. 7.20

Во время выполнения анализа вы можете видеть тип исключения неоднородностей для каждого порта в окне **Simulation** (рис. 7.20), в котором отображается ход выполнения анализа. Эту же ин-

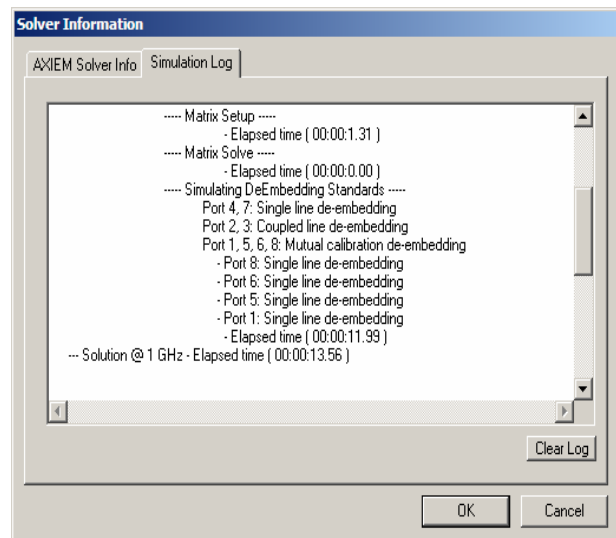


Рис. 7.21

формацию можно видеть и в отчёте после выполнения анализа (рис. 7.21).

AXIEM автоматически создаёт сетку, состоящую из прямоугольных и треугольных ячеек. Сетка может также встраиваться и в боковую поверхность проводника, что позволяет учесть его толщину (рис. 7.22). Вы можете контролировать встраивание сетки как для всей структуры, так и отдельно для каждой формы.

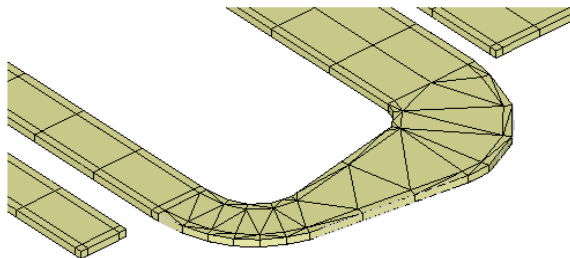


Рис. 7.22

Чтобы определить опции встраивания сетки, выберите в меню **Options>Default EM Options** и откройте вкладку **Mesh** в окне опций. Установленные здесь опции будут действовать для всех создаваемых структур в AXIEM. Но для любой созданной структуры вы можете изменить их, щёлкнув правой кнопкой мышки по имени структуры в окне просмотра проекта, выбрав **Options** и открыв вкладку **Mesh**. Эти опции будут действовать для всех топологических форм в структуре. Чтобы установить опции для ка-

кой-то конкретной формы, щёлкните по этой форме левой кнопкой мышки, затем щёлкните правой кнопкой и выберите **Shape Properties**. В окне свойств откройте вкладку **Mesh**, снимите флажок **Use default properties** и определите свои опции.

Встраивание сетки зависит от многих установок.

В диалоговом окне **ENCLOSURE** устанавливается размер геометрической сетки для создания электромагнитной структуры по осям X и Y (**Grid_X** и **Grid_Y**), который определяет минимальный размер ячеек сетки.

Форма ячеек в сетке определяется максимальной частотой, заданной для анализа, или частотой

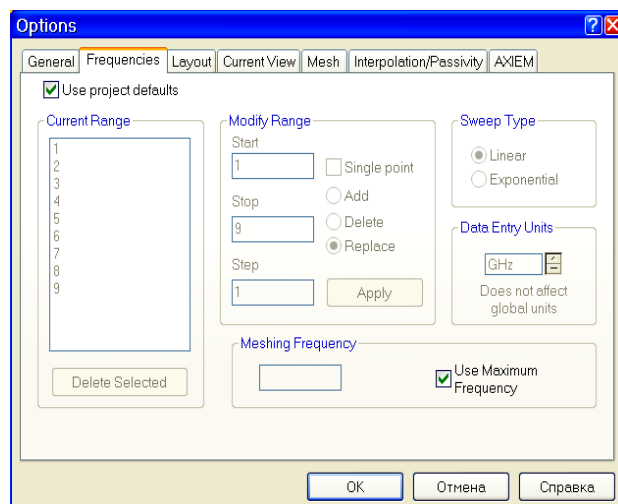


Рис. 7.23

для создания сетки **Meshing Frequency**. Щёлкните правой кнопкой по имени структуры в окне просмотра проекта и выберите **Options**. На вкладке **Frequencies** по умолчанию включена опция **Use Maximum Frequency** (рис. 7.23), при которой для формирования сетки используется максимальная частота для анализа. Вы можете отключить эту опцию и ввести желаемую частоту в поле **Meshing Frequency**. Эта частота должна быть выше максимальной частоты, установленной для анализа. Эта особенность может быть полезна, если в процессе моделирования предполагается расширить диапазон в сторону более высоких частот. Если вы после выполнения анализа добавите новую частоту выше максимальной частоты, которая использовалась для создания сетки, то, возможно, анализ будет выполнен повторно на всех частотах, т.к. изменится размер

сетки, определяемый максимальной частотой.

На возможную величину встраиваемых ячеек сетки влияют не только значения **Grid_X**, **Grid_Y** и заданная максимальная частота.

В окне **Options** (щёлкнуть правой кнопкой мышки по имени структуры в окне просмотра проекта и выбрать **Options**) на вкладке **Mesh** (рис. 7.24) в области **Meshing Density** имеются опции плотности сетки **Low** (Низкая), **Normal** (Нормальная), **High** (Высокая), которые также влияют на размер ячеек сетки. При установке **No Variable Mesh** все ячейки сетки имеют одинаковый (минимальный) размер.

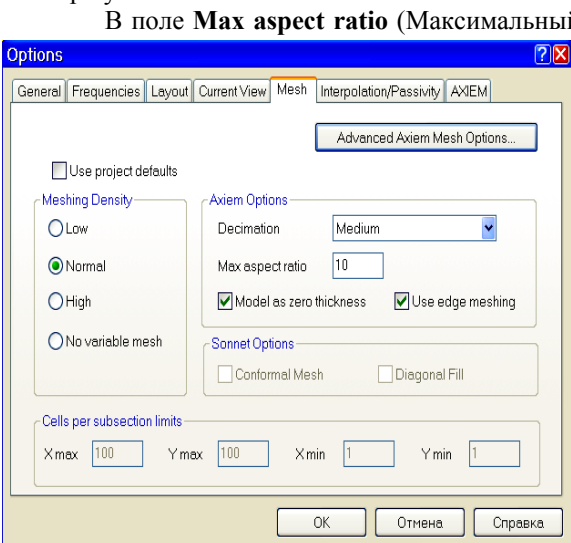


Рис.7.24

умолчанию в этом окне подходят для различных структур. Но иногда их полезно изменить. Например, если в области **Mesh Features** включить опцию **Exclude the top surface mesh of thick conductors**, то сетка не будет встраиваться в верхнюю поверхность толстого проводника. Если между связанными толстыми проводниками нет связи по оси Y, то это приведёт к меньшему времени анализа при незначительной добавочной погрешности анализа. В области **Mesh Size** опция **Mesh size relative to grid** является множителем к значениям **Grid_X** и **Grid_Y**, изменяя плотность сетки. Причём это изменение действует по-разному для сеток с высокой и низкой плотностью. По умолчанию значение **Mesh size relative to grid** равно 1 и изменять его не рекомендуется.

Однозначных рекомендаций, как выбрать все эти установки, чтобы получить результаты с приемлемой точностью при минимальном времени анализа, нет. Рекомендуется только начинать моделирование с более грубой сеткой и затем переходить к более мелкой. В любом случае полезно просмотреть встраиваемую сетку до выполнения анализа.

При запуске анализа решающее устройство сначала определяет максимальный размер ячеек сетки, используя описанные выше установки, в два этапа:

1. Максимальный размер ячеек определяется, исходя из максимальной частоты для определения размеров сетки **Meshing Frequency** и плотности сетки **Meshing Density**, определяющей количество ячеек на длину волны.

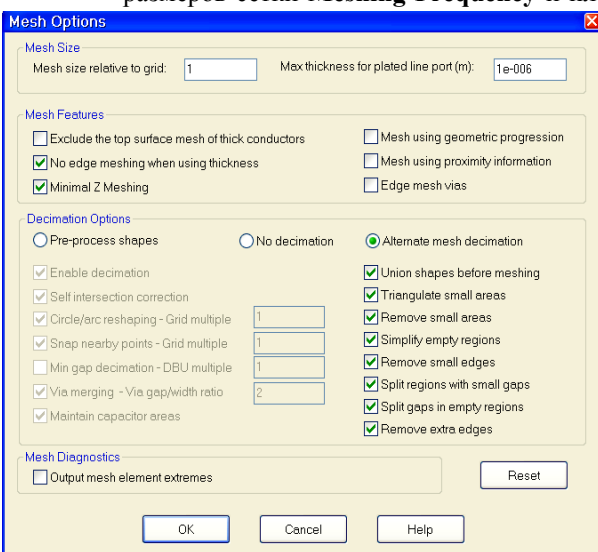


Рис. 7.25

2. Максимальный размер ячеек определяется умножением **Grid_X**, **Grid_Y** на **Max aspect ratio** и на значение **Mesh size relative**.

В качестве максимального размера сетки используется меньшее значение, полученное в двух этих этапах.

Минимальный размер ячейки определяется делением максимального размера на **Max aspect ratio**.

По умолчанию узкие ячейки сетки на верхней и на нижней стороне вдоль боковой стороны толстого проводника не создаются. Когда структура моделируется с токами на боковых стенках, отсутствие узких ячеек вдоль боковой стороны не вносит существенной погрешности в анализ. Вы можете создать узкие ячейки вдоль боковой стороны, отключив опцию **No edge meshing when using thickness** в окне **Mesh Options** (рис. 7.25).

Опция **Minimal Z Meshing** установлена по умолчанию и уменьшает число ячеек вдоль оси Z, если это возможно. Эту опцию можно отключить в окне **Mesh Options**. В этом случае сетка вдоль оси Z будет вести себя так же, как и вдоль осей X и Y.

Опция **Mesh using geometric progression** создаёт сетку, размер ячеек у которой увеличивается в направлении от боковой стороны проводника к центру. По умолчанию эта опция отключена. Включить её можно в окне **Mesh Options**. На рис. 7.26 показана структура с выключенной опцией **Mesh using geometric progression**, а на рис. 7.27 – с включенной.

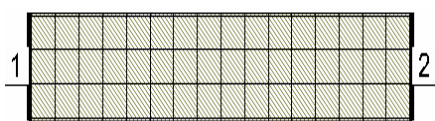


Рис. 7.26

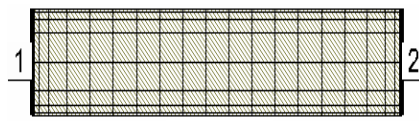


Рис. 7.27

Опция **Edge Mesh Vias** создаёт узкие ячейки сетки вдоль краёв перемычки, что повышает точность моделирования перемычек. По умолчанию она отключе-

на. Включить её можно в окне **Mesh Options**.

Для ускорения анализа электромагнитных структур в AXIEM, как и в EMSight, введено усовершенствованное свипирование частоты (Advanced Frequency Sweep – AFS). По умолчанию эта опция

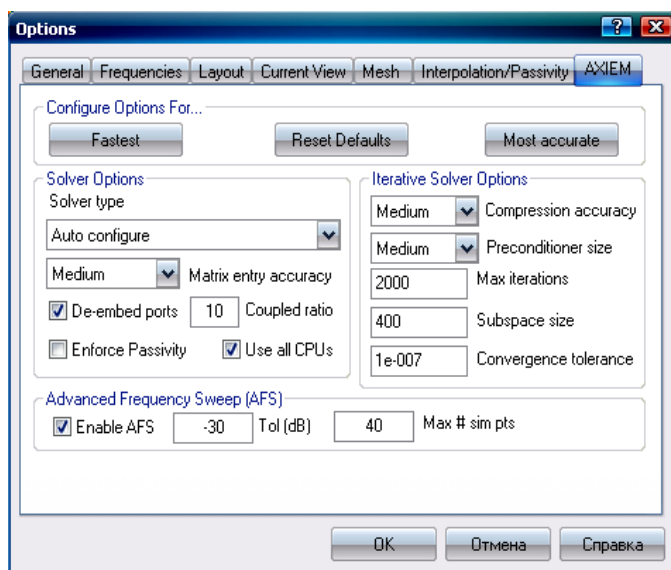


Рис. 7.28

включена. При желании её можно отключить. Для этого выберите в меню **Options>Default EM Options**. В открывшемся окне на вкладке **AXIEM** снимите отметку в **Enable AFS**. Опция будет отключена для всех структур в проекте. Можно отключить/включить эту опцию только для конкретной структуры в проекте. Для этого щёлкните правой кнопкой мышки по имени структуры в окне просмотра проекта и выберите **Options**. В открывшемся окне (рис. 7.28) на вкладке **AXIEM** отключите/включите **Enable AFS**. Если эта опция включена, анализ выполняется только в некоторых частотных точках, в остальных точках результаты получаются интерполяцией. Количество заданных частотных точек в этом случае мало влияет на время выполнения анализа. Поэтому можно задавать большое количество точек, например, несколько сотен. Если точек очень мало и

их недостаточно для выполнения итерации, анализ выполняется во всех заданных точках. Если для анализа задано очень много частотных точек, нужно ограничить количество точек, в которых будет выполняться анализ, установив требуемое значение **Max # sim pts**. Например, если установить 100 частотных точек для анализа и установить **Max # sim pts**=40, то анализ будет выполняться не более чем в 40 точках. В остальных точках результат будет определяться аппроксимацией. После выполнения анализа вы можете добавить новые частотные точки и повторить анализ. Для получения результатов в новых точках используются уже полученные результаты, и повторный анализ не выполняется, если вы не добавили частот выше максимальной частоты предыдущего анализа. Если такая частота добавлена, анализ может быть повторён полностью, т.к. изменится размер встраиваемой сетки.

Доступны следующие опции AFS, которые можно определить на той же вкладке **AXIEM** окна опций:

- **Tol (dB)**. Эта опция задаёт допуск на погрешность интерполяции в дБ. Если значение **Tol (dB)** не велико, частотных точек, в которых выполняется анализ, будет меньше и, соответственно, время анализа уменьшится, но точность будет хуже. Кроме того, если этот допуск слишком мал, AFS может иметь “ложную сходимость”. Устанавливать этот допуск меньше 5 дБ не рекомендуется. В процессе выполнения анализа можно наблюдать процесс сходимости AFS в окне хода процесса **Simulation**. Сначала AFS должен выполнить анализ в пяти точках, после чего в этом окне появляется сообщение, подобное рис. 7.29.

В выделенной строке приводится количество точек, в которых выполнен анализ, общее количество заданных точек и ошибка сходимости. Если в этой строке ошибка сходимости 0, то процесс итерации сходится. В конце строки имеются скобки со звёздочками. При анализе в следующих точках, когда очередная проверка сходимости заканчивается, в этой строке отображается ошибка сходимости и звёздочка заменяется буквенным символом. Анализ заканчивается, когда ошибка сходимости меньше установленного допуска. После выполнения анализа на последней частоте окно будет выглядеть, как показано на рис. 7.30.

Эта же информация запоминается в файле отчёта, и её всегда можно просмотреть после окончания анализа.

Max # sim pts. Алгоритм AFS выбирает точки для анализа из заданных частотных точек. В этой опции вы можете ограничить максимальное количество выбираемых точек, в которых будет проводиться анализ.

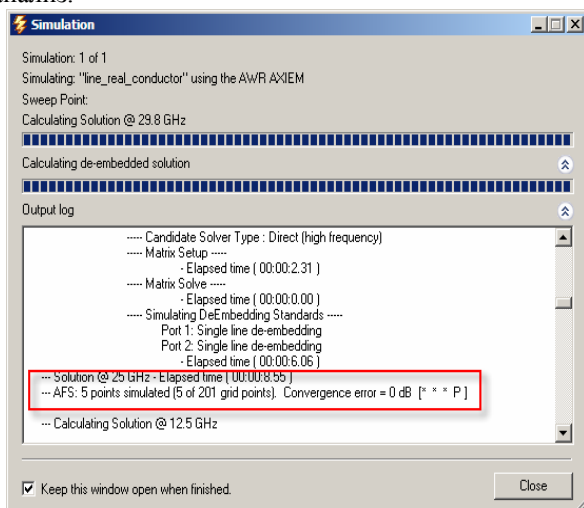


Рис. 7.29

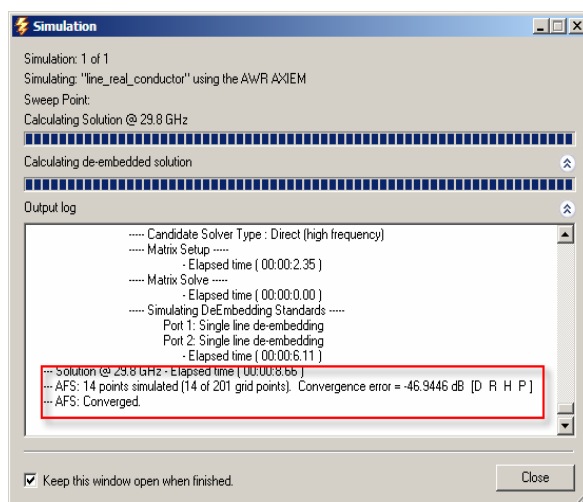


Рис. 7.30

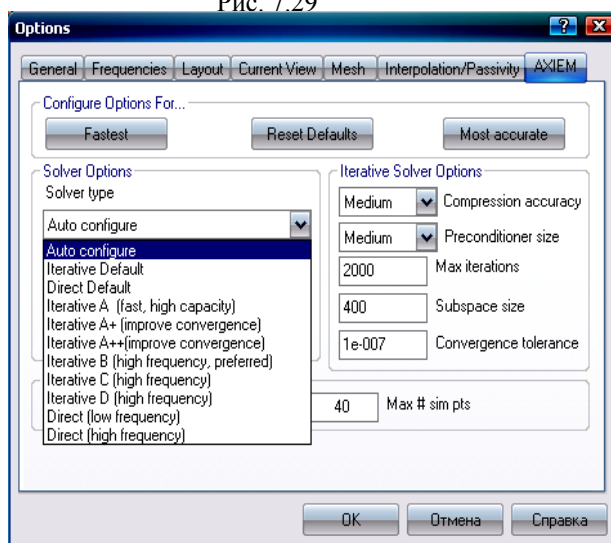


Рис. 7.31

По умолчанию в этом поле установлено значение **Auto configure**. При этом AXIEM автоматически подбирает наиболее подходящее решающее устройство. Подбирать решающее устройство вручную приходится очень редко, например, если по каким-то причинам итерационный процесс не сходится.

7.2. Моделирование направленного ответвителя.

В этом примере рассмотрим моделирование направленного ответвителя с учётом толщины проводников в EMSight и AXIEM для сравнения.

Создайте новый проект и сохраните его под именем **NO-t**. На вкладке **Global Units** окна **Project Options (Options>Project Options)** в поле **Frequency** введите **GHz**, в поле **Length type** введите **mm** и нажмите **OK**.

7.2.1. Создание электромагнитной структуры.

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

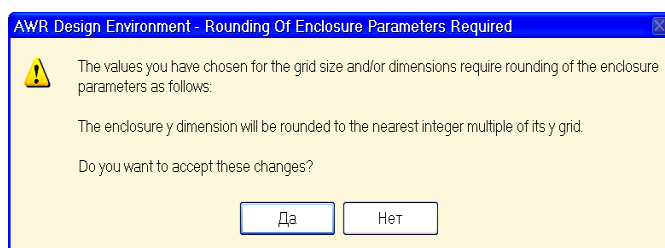


Рис. 7.32

2. Наберите **NO_EMSight** в поле **Enter a name for the EM Structure**, отметьте **AWR EMSight Simulator** и нажмите **Create**. На рабочем поле откроется окно электромагнитной структуры.

3. Щёлкните мышкой по значку **Substrate Information** на панели инструментов. На вкладке **Enclosure** открывшегося окна в поле **X_Dim** введите **9.6**, в поле **Y_Dim** введите **4**, в поле **Grid_X** введите **0.15** и в поле **Grid_Y** введите **0.015**.

Будет выведено окно рис. 7.32 с предупреждением «При этих значениях необходимо округлить»

размер сетки или корпуса. Размер корпуса будет округлён к ближайшему целому числу для этой сетки. Вы согласны с таким изменением?». Т.е. размер корпуса (в данном случае – длина) выбран так, что по этому размеру не укладывается целое число ячеек сетки. Вы можете ответить **Нет** и затем вручную изменить размер ячеек сетки или размер корпуса. Или нажать **Да** и довериться автоматическому округлению. Нажмите **Да**. Размер **Y_Dim** получит размер **4.005** мм.

- На вкладке **Material Defs** в области **Dielectric Definitions** для диэлектрического слоя **Diel_1** введите **Er=10, TanD=0.0001**. В столбце **Color** для проводника введите **1 oz Cu**, дважды щёлкните мышкой и выберите красный цвет.
- На вкладке **Dielectric Layers** для слоя **1** в колонке **Thickness** введите **6**, для слоя **2** в колонке **Thickness** введите **0.5**. Нажмите **OK**.

7.2.2. Создание топологии.

- 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 **0** в поле **x**, введите **2.325** в поле **y** и нажмите **OK**. Нажмите клавишу **Tab** снова, чтобы открыть диалоговое окно **Enter Coordinates**. Введите **1.96** в поле **dx**, введите **0.45** в поле **dy** и нажмите **OK**. Проводник прямоугольного сечения отображается в окне электромагнитной структуры.
- Повторите пункты 1 и 2. Введите **1.95** в поле **x**, введите **2.325** в поле **y** и нажмите **OK**. Нажмите клавишу **Tab** снова, чтобы открыть диалоговое окно **Enter Coordinates**. Введите **5.7** в поле **dx**, введите **0.3** в поле **dy** и нажмите **OK**.
- Щёлкните по значку **Copy** и затем по значку **Paste** на панели инструментов. Поместите скопированный проводник ниже предыдущего так, чтобы зазор между ними был равен **0.03** мм.
- Повторите пункты 1 и 2. Введите **7.65** в поле **x**, введите **2.325** в поле **y** и нажмите **OK**. Нажмите клавишу **Tab** снова. Введите **1.95** в поле **dx**, введите **0.45** в поле **dy** и нажмите **OK**.
- Повторите пункты 1 и 2. Введите **1.5** в поле **x**, введите **0** в поле **y** и нажмите **OK**. Нажмите клавишу **Tab** снова. Введите **0.45** в поле **dx**, введите **1.995** в поле **dy** и нажмите **OK**.
- Щёлкните по значку **Copy** и затем по значку **Paste** на панели инструментов и подключите скопированный проводник к правому нижнему углу нижнего проводника ответвителя. Для точного подключения увеличьте отображение правой части топологии.
- Щёлкните по значку **Polygon** на панели инструментов. Установите курсор на верхний левый угол первого вертикального проводника и щёлкните мышкой. Переместите курсор на правый верхний угол вертикального проводника и щёлкните мышкой. Переместите курсор на нижний левый угол нижнего горизонтального проводника и дважды щёлкните мышкой.
- Аналогично соедините второй вертикальный проводник с нижним горизонтальным проводником.
- Щёлкните по входному проводнику, чтобы выделить его. Щёлкните по значку **Edge Port** и установите порт на левой стороне входного проводника. Дважды щёлкните по установленному порту и в поле **Ref. Plane Distance** введите **1**, чтобы сдвинуть референсную плоскость на **1** мм.

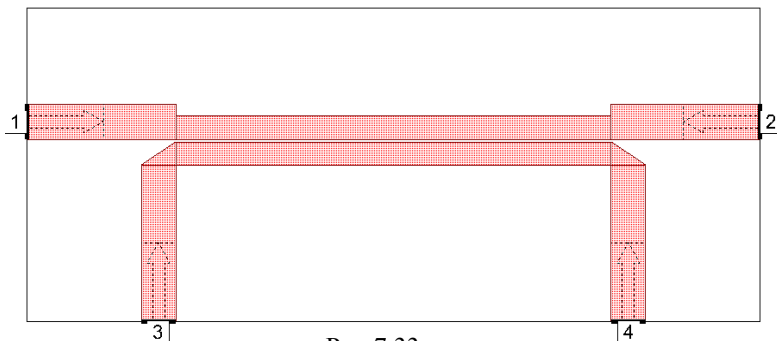


Рис. 7.33

установлен порт 3 и в нём сдвинута референсная плоскость, то при установке порта 4 референсная плоскость будет сдвинута на ту же величину автоматически.

- Выделите всю топологию, щёлкните по любому выделенному проводнику правой кнопкой мышки и выберите **Shape Properties**. В поле **Material** введите **1/2oz Cu** и нажмите **OK**. Структура будет выглядеть, как показано на рис. 7.33.

7.2.3. Добавление частот, создание графика и анализ.

- Дважды щёлкните по **Project Options** в окне просмотра проекта и откройте вкладку **Frequencies**. Отметьте **Replace**, в поле **Start (GHz)** введите **3**, в поле **Stop (GHz)** введите **7**, в поле **Step (GHz)** введите **0.1**, нажмите **Apply** и **OK**.
- Щёлкните по значку **Add New Graph** на панели инструментов. Введите имя графика **LdB** в поле **Graph name**, выберите **Rectangular** в области **Graph Type** и нажмите **OK**.

- Щёлкните по значку **Add New Measurement** на панели инструментов. В окне **Add Measurement** выберите **Port Parameter** в списке **Measurement Type**, **S** в списке **Measurement**, **All Sources** в поле **Data Source Name**, **2** в поле **To Port Index**, **1** в поле **From Port Index**, отметьте **Mag** и **dB**, нажмите **Apply**. Затем выберите **3** в поле **To Port Index** и нажмите **Apply**. Нажмите **OK**.

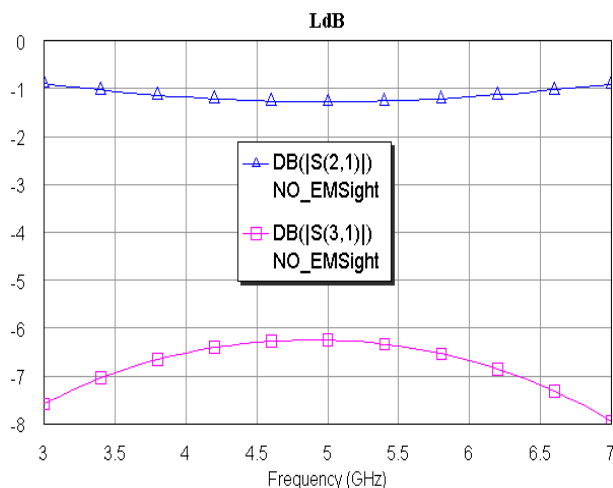


Рис. 7.34

бесконечно тонкими. Заданная толщина проводников учитывается только при расчёте потерь. Для многих микрополосковых структур это не вносит заметной погрешности. Однако, если, например, в связанных линиях зазор мал и соизмерим с толщиной проводника, то погрешность анализа может быть существенной. Учесть толщину проводника в EMSight можно только, создав дополнительный слой диэлектрика с толщиной, равной толщине проводника, и на нём создать второй такой же проводник, расположенный над первым.

7.2.4. Создание “толстого” проводника в EMSight.

- Установите курсор мышки на имя структуры в окне просмотра проекта, нажмите левую кнопку мышки и переместите курсор на **EM Structures**, чтобы создать копию электромагнитной структуры. Переименуйте созданную копию в **NO_EMSight_t** (это можно сделать сразу же после копирования или позднее, но тогда нужно будет щёлкнуть правой кнопкой мышки по имени скопированной структуры и выбрать **Rename EM Structure**).

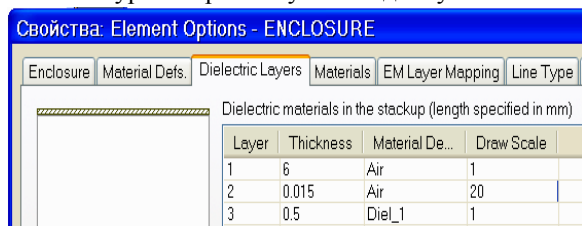


Рис. 7.35

ните толщину этого слоя на **0.015**, в столбце **Draw Scale** введите **20**, чтобы удобнее было просматривать трёхмерное отображение (рис. 7.35). Нажмите **OK**.

- Щёлкните по значку **View EM 3D Layout**. Трёхмерное отображение структуры показано на рис. 7.36. Как видно, проводники оказались на верхнем слое. Это произошло из-за того, что для них осталась действовать установка черчения на втором слое, а теперь этот слой стал третьим. Чтобы вернуть проводники на нижний слой, сделайте следующее.

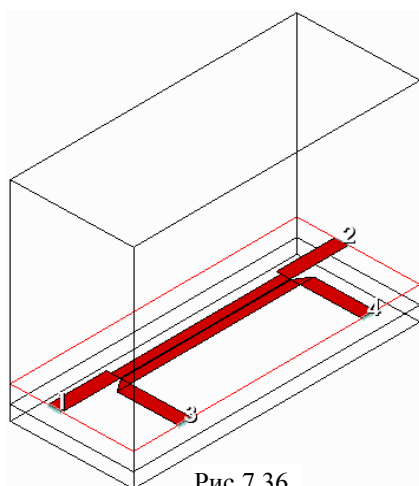


Рис. 7.36

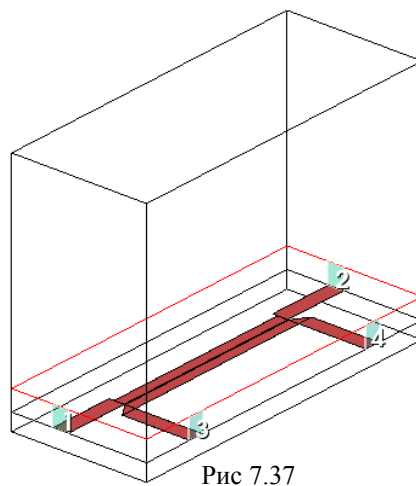


Рис. 7.37

- Сделайте активным окно двухмерного отображения структуры. Откройте окно менеджера топологии. В поле **EM Layer** введите **2**, в поле **Material** введите **1.2oz Cu** и отметьте **Conductor**.

вернуть проводники на нижний слой, сделайте следующее. Сделайте активным окно двухмерного отображения структуры, выделите все проводники и щёлкните по значку **Move Down** на панели инструментов. Трёхмерное отображение структуры будет, как на рис. 7.37. Теперь проводники расположены на нижнем слое.

- Щёлкните по значку **Rectangle** на панели инструментов, начертите прямоугольник точно над одним из проводников ответвителя, точно такой же по размерам, как и проводник, расположенный на нижнем слое. Скопируйте созданный проводник и расположите его над вторым проводником ответвителя. Двухмерное отображение структуры при этом не изменится, т.к. верхние проводники закрывают нижние. А трёхмерное отображение будет, как показано на рис. 7.38.

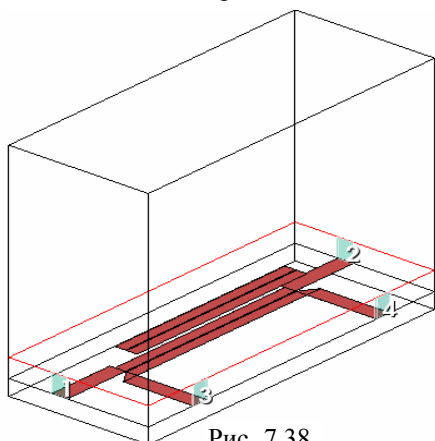


Рис. 7.38

- Сделайте активным окно скопированной структуры.
- Щёлкните правой кнопкой мышки по имени скопированной структуры и выберите **Add Annotation**. В открывшемся окне в области **Measurement Type** отметьте **Planar EM**, в области **Measurement** отметьте **EM_Mesh** в поле **EM Simulation Document** введите имя структуры **NO_EMSight_t**. Нажмите **Apply** и **OK**. На трёхмерном отображении структуры будет показана встраиваемая для анализа сетка (рис. 7.39a и 7.39б). Сетка – прямоугольная и наклонная сторона изгиба аппроксимируется ломаной линией. Очевидно, в нашем случае это не должно оказывать заметного влияния на результаты расчёта.

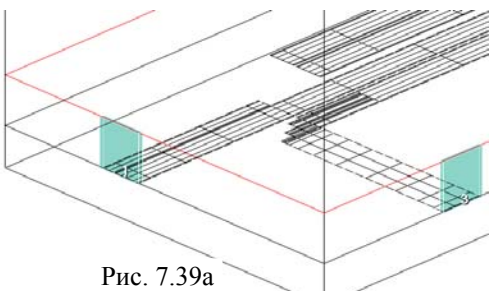


Рис. 7.39a

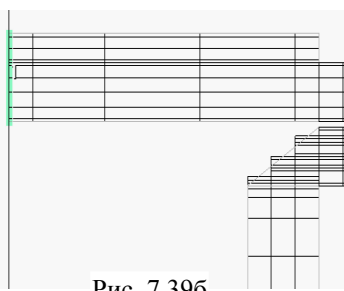


Рис. 7.39б

- Проводники ответвителя, расположенные на разных слоях, должны иметь одинаковый потенциал, поэтому их нужно соединить перемычками, имитирующими толщину проводников. Перемычка не обязательно должна быть по всей длине проводников, т.к. EMSight не учитывает горизонтальные токи в перемычках. Предполагается, что ток на перемычке постоянный и течёт в вертикальном направлении. Поэтому достаточно установить перемычки на краях проводников и несколько перемычек по длине на расстоянии между ними меньше 1/8 длины волны. Откройте окно менеджера топологии. В поле **EMLayer** введите **2**, в поле **Material** введите **1/2oz Cu** и отметьте **Via** (рис. 7.40).

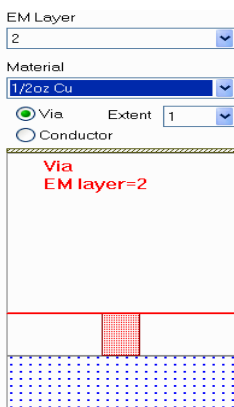


Рис. 7.40

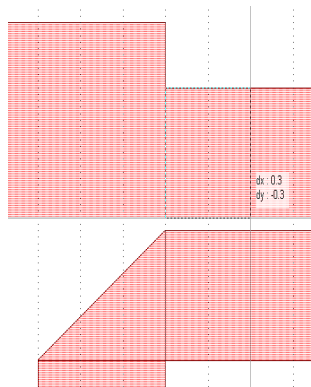


Рис. 7.41

- Щёлкните по значку **Rectangle** на панели инструментов и создайте прямоугольную перемычку на левом конце одного из проводников, расположенного на верхнем слое. Ширину и длину перемычки сделайте равными 0.3 мм (рис. 7.41).

- Скопируйте созданную перемычку и установите перемычки на краях проводников и по две перемычки по длине проводников, примерно на равных расстояниях (рис. 7.42). Трёхмерное отображение полученной структуры показано на рис. 7.43.

- Откройте окно просмотра проекта и сделайте активным окно графика. Щёлкните по значку **Analyze** на панели инструментов. Полученный график показан на рис. 7.44. Из графика видно, что учёт толщины даёт более точный результат, показывая более сильную связь между близко расположенными проводниками в связанных линиях.

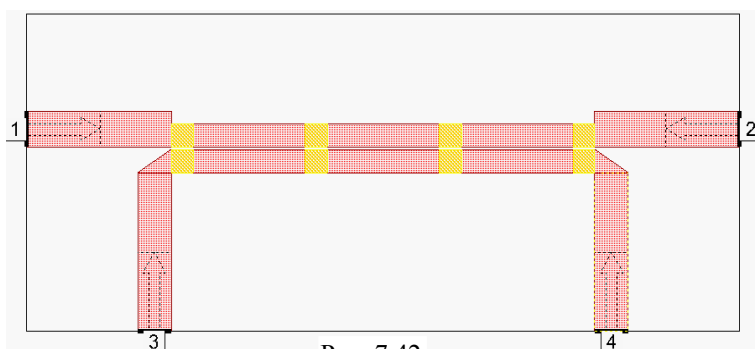


Рис. 7.42

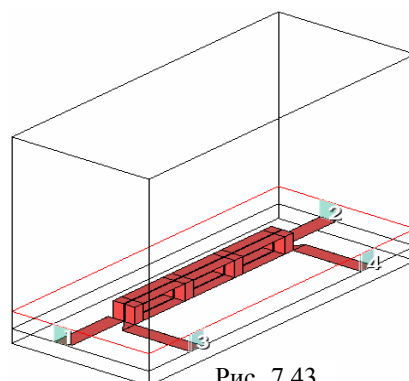


Рис. 7.43

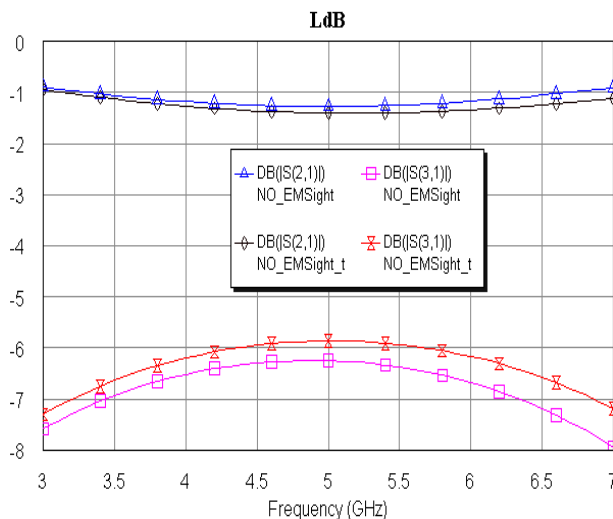


Рис. 7.44

структуры в окне просмотра проекта правой кнопкой мышки и выберите **Set Simulator**. В открывшемся окне отметьте **AWR AXIEM** и нажмите **OK**. Структура будет выглядеть точно так же, как и для EMSight, за исключением того, что отсутствуют стенки корпуса.

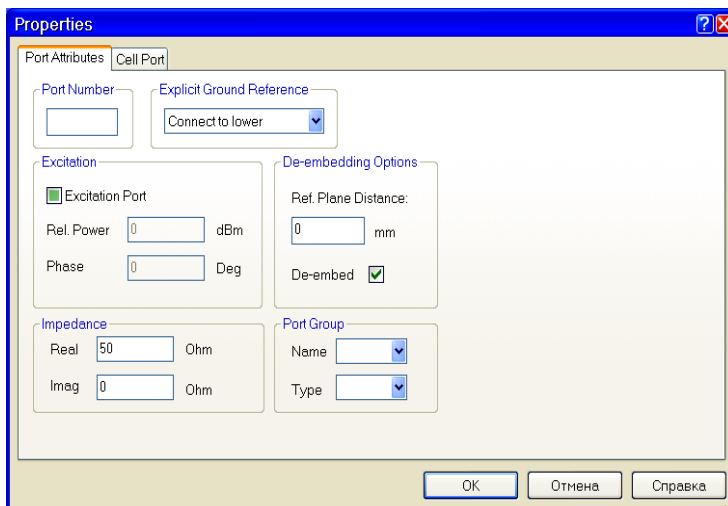


Рис. 7.45

структуры нужно указать нижнюю земляную пластину, относительно которой нужно подать напряжение для возбуждения линии. Введите в поле **Explicit Ground Reference** значение **Connect to lower** (подключить к низу), как показано на рис. 7.45. Кроме того, в поле **Ref. Plane Distance**

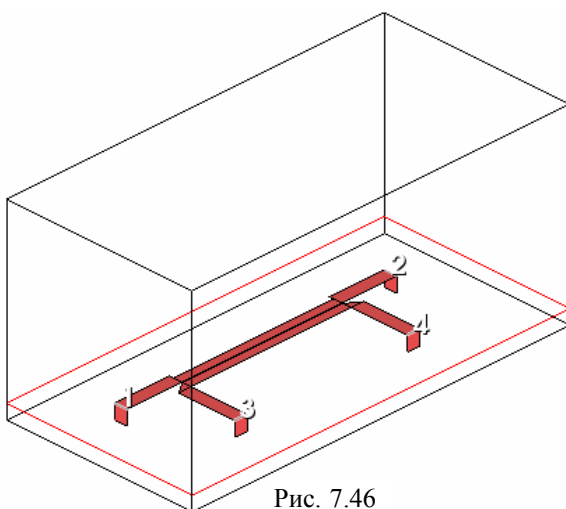


Рис. 7.46

можно установить **0**, чтобы удалить сдвиг референсной плоскости. В AXIEM неоднородность порта мала и может быть исключена процедурой исключения (de-embedding) без сдвига референсной плоскости. Для проверки этого можно выполнить анализ со сдвигом референсной плоскости и без этого сдвига. В нашем случае результаты практически не будут отличаться. Нажмите **OK**.

Замечание. Порт можно установить только на проводник, расположенный на одном слое. Т.е. перед нашими “толстыми” проводниками обязательно должны быть отрезки линии, расположенные на нижнем слое. Кроме того, проводники на верхнем слое не должны доходить до края корпуса, т.е. не должны быть замкнуты на корпус. В нашем случае эти условия выполняются.

7.2.5. Создание электромагнитной структуры для AXIEM.

1. В окне просмотра проекта установите курсор мышки на имя структуры **NO_EMStight**, нажмите левую кнопку мышки и переместите курсор на **EM Structures**.
2. Переименуйте скопированную структуру в **NO_AXIEM**.
3. Щёлкните по имени скопированной структуры в окне просмотра проекта правой кнопкой мышки и выберите **Set Simulator**. В открывшемся окне отметьте **AWR AXIEM** и нажмите **OK**. Структура будет выглядеть точно так же, как и для EMSight, за исключением того, что отсутствуют стенки корпуса.
4. Нажмите клавишу **Shift** и щёлкните поочерёдно по все портам, чтобы выделить их. Щёлкните правой кнопкой мышки по любому выделенному порту и выберите **Shape Properties**. Откроется окно свойств. Обратите внимание на поле **Explicit Ground Reference** (Ссылка на явную землю). В этом поле стоит значение **None**. При этом значении считается, что земля находится в бесконечности, что может вызвать дополнительную погрешность при анализе. Чтобы избежать этого, нужно указать ссылку на землю, которой может быть верхняя или нижняя земляные плоскости. Для нашей структуры нужно указать нижнюю земляную пластину, относительно которой нужно подать напряжение для возбуждения линии. Введите в поле **Explicit Ground Reference** значение **Connect to lower** (подключить к низу), как показано на рис. 7.45. Кроме того, в поле **Ref. Plane Distance** можно установить **0**, чтобы удалить сдвиг референсной плоскости. В AXIEM неоднородность порта мала и может быть исключена процедурой исключения (de-embedding) без сдвига референсной плоскости. Для проверки этого можно выполнить анализ со сдвигом референсной плоскости и без этого сдвига. В нашем случае результаты практически не будут отличаться. Нажмите **OK**.
5. Щёлкните по значку **View EM 3D Layout**. Трёхмерное отображение полученной структуры показано на рис. 7.46. Вертикальные полоски портов означают, что между этими полосками и земляной плоскостью имеется узкий зазор, к которому прикладывается возбуждающее напряжение.
6. Щёлкните правой кнопкой мышки по имени созданной структуры в окне просмотра проекта и выберите **Add Annotation**. В открывшемся окне в области **Measurement Type** отметьте **Planar EM**, в области **Measurement** отметьте **EM_MESH_F**, нажмите **Apply** и **OK**. Откройте

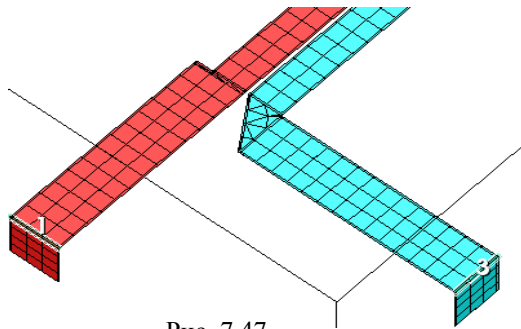


Рис. 7.47

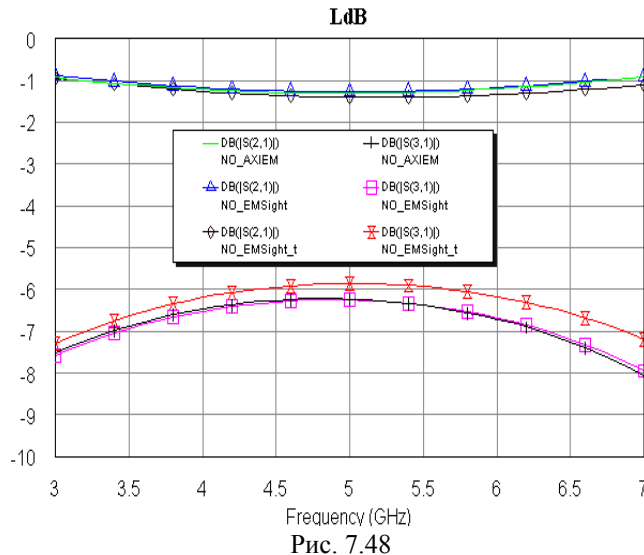


Рис. 7.48

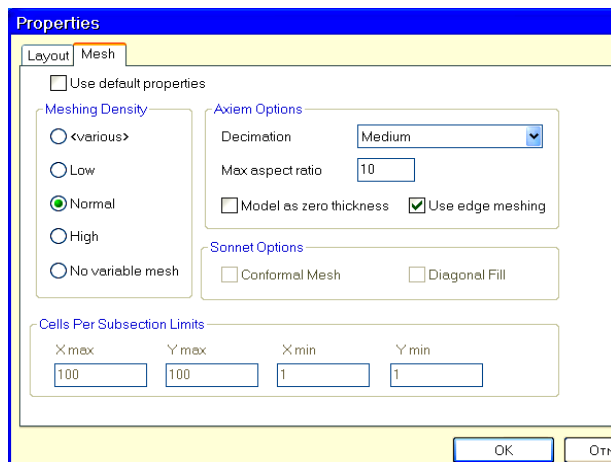


Рис. 7.49

- Откройте окно графиков и щёлкните по значку **Analyze** на панели инструментов. Во время выполнения анализа обратите внимание на окно процесса анализа **Simulation**. После выполнения расчета в 5-ти точках в этом окне появляется строка, в которой указывается количество просчитанных частотных точек из общего количества заданных точек (в скобках). В этой же строке указывается значение **Convergence error** (Ошибка сходимости). Поскольку включена опция AFS, AXIEM использует итерационное решающее устройство. Если значение **Convergence error** равно нулю, значит, процесс итерации сходится (рис. 7.51). В дальнейшем в этой строке указывается количество просчитанных точек и величина ошибки итерации. Процесс анализа закончится, когда эта ошибка станет меньше заданной (по умолчанию -30 дБ). Рассчитанный график показан на рис. 7.52. Из графиков видно, что AXIEM показывает заметно более

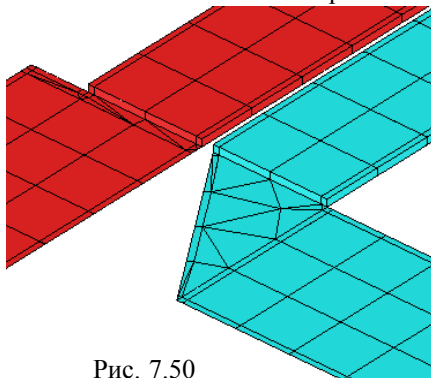


Рис. 7.50

сильную связь, чем анализ в EMSight. Очевидно, это более точный результат, т.к. влияние толщины проводников учтено точнее.

трёхмерное отображение структуры. Встроенная в структуру сетка показана на рис. 7.47. Обратите внимание, в изгибы полосы встроены треугольные ячейки сетки.

- По умолчанию AXIEM считает проводники бесконечно тонкими. Оставьте пока значение толщины проводников по умолчанию. Выберите в меню **Options>Default EM Options** и в открывшемся окне на вкладке на вкладке **AXIEM** отметьте **Enable AFS** (обычно эта опция включена по умолчанию).
- Щёлкните по значку **Analyze** на панели инструментов. Рассчитанный график показан на рис. 7.48. Как видно из графиков, полученный результат хорошо совпадает с аналогичным результатом анализа в EMSight.

7.2.6. Учёт толщины проводников.

- Создайте копию электромагнитной структуры **EM_AXIEM** и переименуйте её в **EM_AXIEM_t**.
- На точность анализа существенно влияет только учёт толщины проводников в связанных линиях. Поэтому установим толщину только для этих линий. Щёлкните мышкой по одному из проводников связанной линии и затем, нажав клавишу **Shift**, щёлкните по другому проводнику, чтобы выделить оба проводника в связанной линии. Щёлкните правой кнопкой мышки по любому выделенному проводнику и выберите **Shape Properties**. В открывшемся окне на вкладке **Mesh** снимите “галочку” в **Use project defaults** и затем снимите “галочку” в **Model as zero thickness** (рис. 7.49). Нажмите **OK**.
- Щёлкните правой кнопкой мышки по имени структуры **EM_AXIEM_t** в окне просмотра проекта и выберите **Add Annotation**. В открывшемся окне в области **Measurement Type** отметьте **Planar EM**, в области **Measurement** отметьте **EM_MESH_F**, нажмите **Apply** и **OK**. Откройте трёхмерное отображение структуры. Встроенная в структуру сетка показана на рис. 7.50.

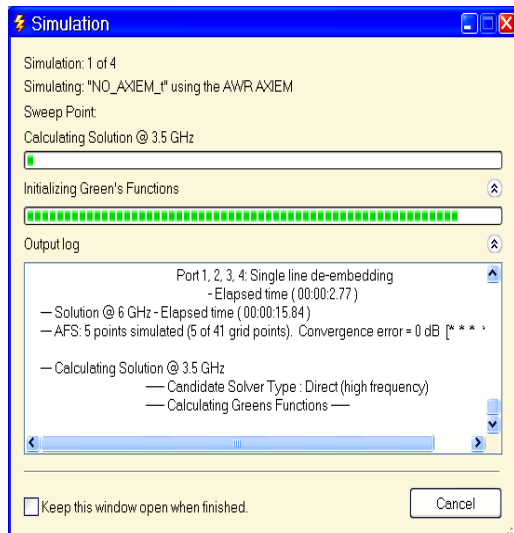


Рис. 7.51

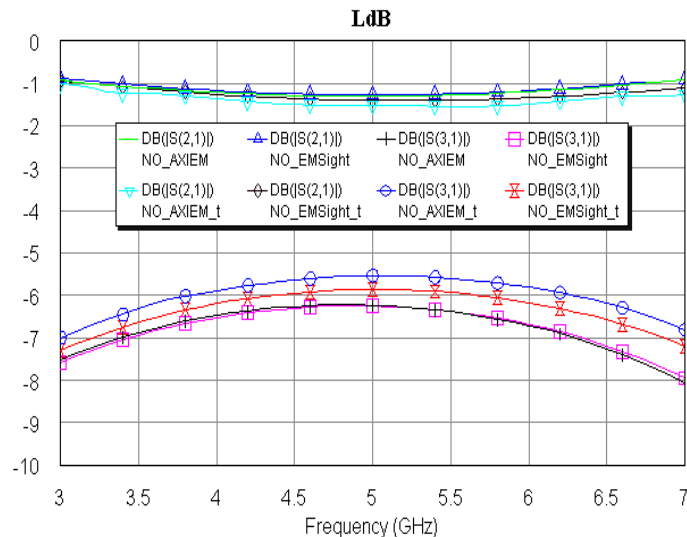


Рис. 7.52

7.3. Моделирование широкополосного фильтра-лесенки.

В этом примере рассмотрим полный цикл моделирования фильтра с боковыми электромагнитными связями в EMSight и AXIEM для сравнения.

Требуется спроектировать микрополосковый 5-ти резонаторный фильтр с полосой пропускания 14 – 18 ГГц.

Создайте новый проект и сохраните его под именем **F14-18**. На вкладке **Global Units** окна **Project Options (Options>Project Options)** в поле **Frequency** введите **GHz**, в поле **Length type** введите **mm** и нажмите **OK**.

7.3.1. Синтез фильтра.

Воспользуемся тем, что в мастере синтеза фильтров имеется возможность синтезировать фильтры такого типа.

1. Раскройте группу **Wizards** в окне просмотра проекта и дважды щёлкните по **AWR Filter Synthesis Wizard**. В открывшемся окне нажмите **Далее**.
2. В следующем окне отметьте **Bandpass** и нажмите **Далее**.
3. В следующем окне отметьте **Chebashev** и нажмите **Далее**.
4. В следующем окне введите параметры, определяющие полосу пропускания, как показано на рис. 7.53, и нажмите **Далее**.

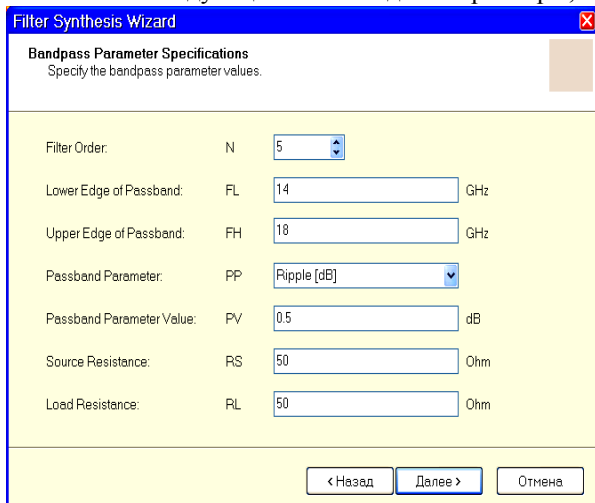


Рис. 7.53

7. В следующем окне отметьте **Microstrip** и нажмите **Далее**.
8. В следующем окне рис. 7.54 вводятся параметры подложки. В поле **Predefined Microstrip Substrate Selection** можно ввести имя материала подложки из имеющихся в списке, щёлкнув по кнопке в конце этого поля. Оставьте значение этого поля по умолчанию, а параметры подложки введём вручную. Имя **Name** также можно оставить по умолчанию. В поле **Er** введите **10.73**, в поле **Tand** введите **0.0001**, в поле **H** введите **0.5** и в поле **T** введите **0.005**. В поле **Metal Selection** введите **Copper**, щёлкнув по кнопке в правом конце этого поля. Нажмите **Далее**.

9. В следующем окне рис. 7.55 можно оставить имя схемы (**Schematic Name**) по умолчанию. Имя разработки (**Design Name**) также можно оставить по умолчанию, оно будет отображаться в мастере синтеза фильтров. Оставьте включённой по умолчанию опцию **Include Optimization Coals**, чтобы можно было выполнить оптимизацию фильтра. Оставьте отметку по умолчанию **Create Graph** (Создать график) и тип графика **Rectangular**. Введите имя графика **LdB** и снимите отметку в **Input Return Loss (S11)**, чтобы создать только график прямых потерь S21. Нажмите **Далее**.
10. В следующем окне нажмите **Готово**.

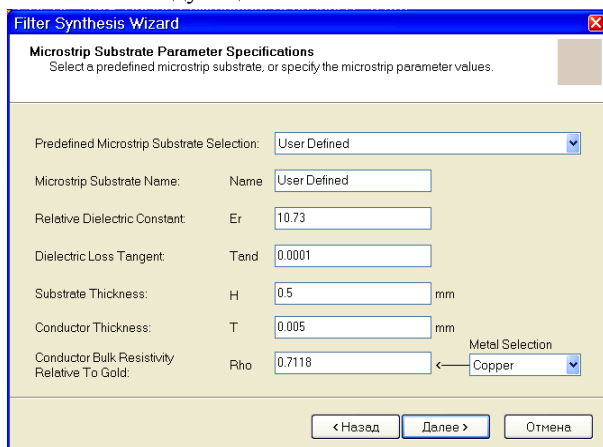


Рис. 7.54

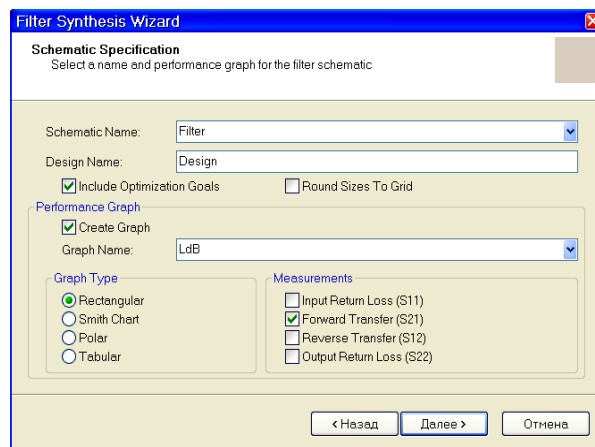


Рис. 7.55

11. Если теперь щёлкнуть по значку **Analyze** на панели инструментов, анализ выполняться не будет. Дело в том, что мастер синтеза фильтров для скачков сопротивления вставил X-модель **MSTEPXS**, но X-модели для $\epsilon_r=10.73$ в Microwave Office нет. Можно, конечно, создать такую модель. Но проще взять готовую модель с близким значением ϵ_r . Это не внесёт существенной погрешности. Кроме того, всё равно структуру будем уточнять в электромагнитном моделировании. Ближайшая модель имеется для $\epsilon_r=10.2$, её и будем использовать. Дважды щёлкните по элементу подложки MSUB и введите **ErNom=10.2**. Синтезированная схема показана на рис. 7.56.

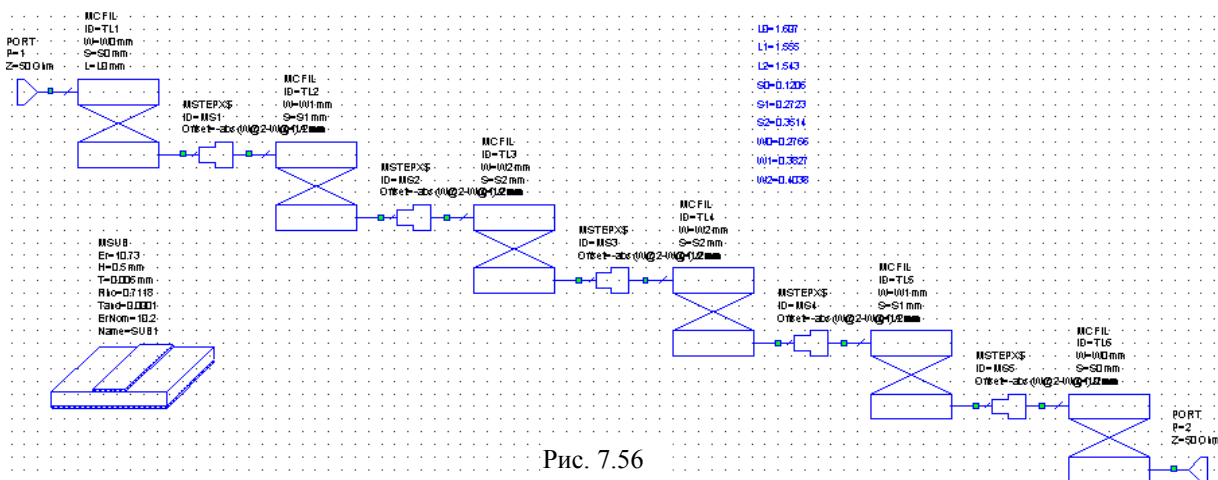


Рис. 7.56

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

Рассчитанный график показан на рис. 7.57. Он полученный сдвинутым по частоте. Попробуем оптимизировать структуру.

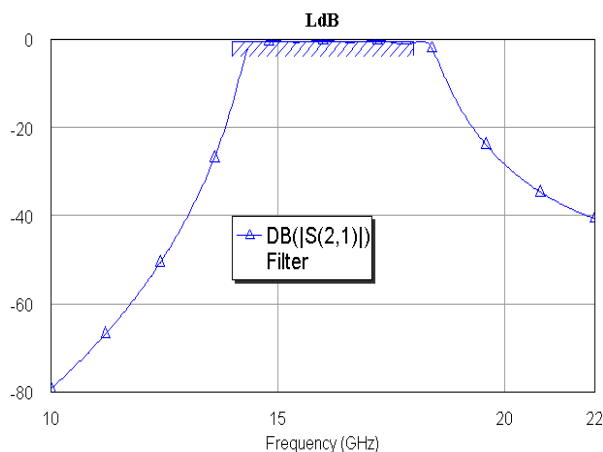


Рис. 7.57

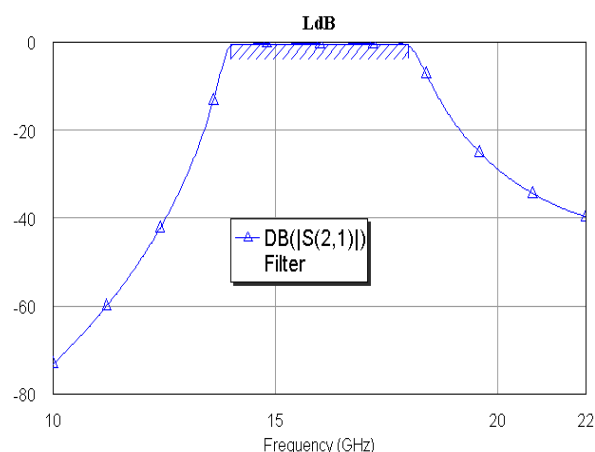


Рис. 7.58

Выберите в меню **Simulate>Optimize**.

В открывшемся окне **Optimizer** оставьте все значения по умолчанию и нажмите **Start**. Оптимизированный график показан на рис. 7.58.

Щёлкните по значку **Add New Graph** на панели и создайте прямоугольный график **KctU**. Добавьте к этому графику измеряемую величину **VSWR**. Щёлкните по значку **Analyze** на панели инструментов. Щёлкните по графику правой кнопкой мышки и выберите **Properties**. В открывшемся окне свойств на вкладке **Axes** для оси **x** снимите “галочки” в **Auto limits** и в **Auto divs**. В поля **Min** и **Max** введите **13** и **19** соответственно, в поле **Step** введите **0.5**. Для оси **Left 1** сделайте то же самое, но в поля **Min** и **Max** введите **0** и **10**, в поле **Step** введите **0.5**.

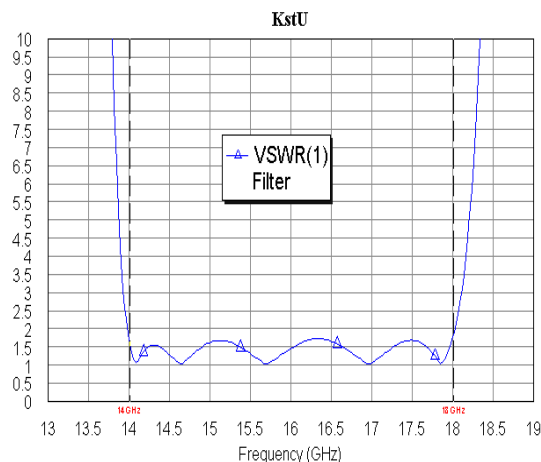


Рис. 7.59

Чтобы отобразить границы полосы пропускания, можно установить вертикальные маркеры. Чтобы их лучше было видно, измените шрифт для маркеров. В окне свойств графика откройте вкладку **Fonts**. Щёлкните по кнопке **Markers**. Установите размер шрифта **20**, отметьте “жирный” и измените цвет на “Красный”, нажмите **OK** и затем **Apply**.

Чтобы установить вертикальные маркеры, щёлкните в окне графика правой кнопкой мышки и выберите **Add Vertical Line Marker**. Установите маркеры на **14** и **18** ГГц. Полученный график показан на рис. 7.59. Полосу можно несколько расширить, чтобы обеспечить некоторый запас по полосе, и улучшить расчетное согласование фильтра.

Щёлкните по значку **Tune** на панели инструментов. Пользуясь инструментом подстройки, можно подстроить характеристику фильтра, и затем полученные размеры округлить так, чтобы они были кратными сетке в электромагнитной структуре. Считая, что ячейки структуры будут иметь размер **0.5** мм, можно получить размеры, показанные на рис. 7.60 и график, показанный на рис. 7.61.

Теперь можно создавать электромагнитную структуру. Но сначала заменим частотные точки для анализа (мастер синтеза установил их очень часто) и свойства измеряемой величины, чтобы можно было на одном графике наблюдать характеристики всех создаваемых в проекте структур.

L0=1.7
L1=1.6
L2=1.6
S0=0.1
S1=0.15
S2=0.2
W0=0.15
W1=0.35
W2=0.45

Рис. 7.60

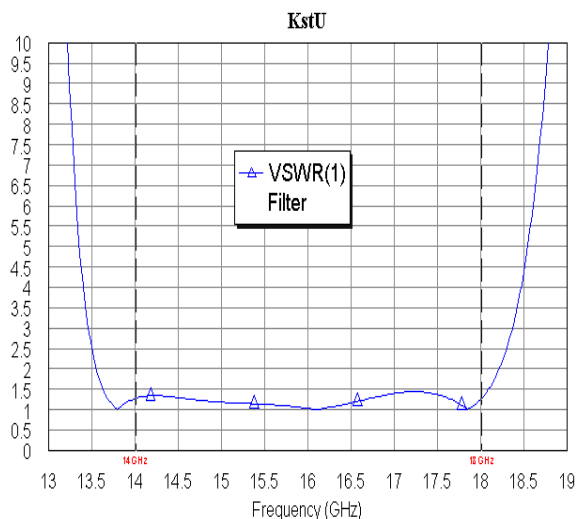


Рис. 7.61

В открывшемся окне на вкладке **Frequencies** введите частотный диапазон от **10** до **22** ГГц с шагом **0.5** ГГц. Нажмите **Apply** и **OK**.

- Щёлкните по имени схемы и выберите **Options**. На вкладке **Frequencies** отметьте **Use project defaults** и нажмите **OK**.
- Щёлкните правой кнопкой мышки по имени измеряемой величины **Filter: DB((S21))** в окне просмотра проекта и выберите **Properties**. В открывшемся окне в поле **Data Source Name** введите **All Sources**, нажмите **OK**. То же самое сделайте для графика **VSWR**.
- Добавим к схеме входной и выходной подводящие проводники. Выбрав в меню **Tools>TXLine**, можно определить, что ширина 50-тиомной линии равна примерно **0.45** мм. Сделайте активным окно схемы. Нажмите клавишу **Ctrl**, установите курсор мышки на первый порт, нажмите левую кнопку мышки и сдвиньте порт в сторону, прервав его связь со схемой. Аналогично сдвиньте второй порт. Откройте окно просмотра элементов. Раскройте группу **Microstrip** и отметьте **Junctions**. Найдите элемент **MSTEPXS** и подключите его ко входу фильтра. Отметьте подгруппу **Lines** в окне просмотра элементов. Найдите элемент **MLIN** и подключите его к добавленному элементу **MSTEPXS**. Дважды щёлкните по элементу **MLIN**, введите ширину проводника **W=0.45** и длину **L=3**. Нажмите **OK**. Дважды щёлкните по элементу **MSTEPXS** и для значения смещения **Offset** введите $-\text{abs}(W@2-W@1)/2$. Это значение смещения обеспечивает подключение входного проводника к проводнику первых связанных линий в топологии так, чтобы нижняя сторона входного проводника совпала с нижней стороной верхней линии в первом элементе **MCFIL**. Аналогично добавьте такие же элементы на выходе фильтра (можно копированием,

[illegible]

Рис. 7.62

- ### 7.3.2. Создание электромагнитной структуры в EMSight.

-

Рис. 7.63

-

Рис. 7.64

- Откройте окно просмотра проекта, сделайте активным окно графика **LdB**. Щёлкните правой кнопкой мышки по имени измеряемой величины этого графика в окне просмотра проекта и выберите **Properties**. В поле **Data Source Name** введите **All Sources** и нажмите **OK**.
- Откройте окно свойств графика и установите по оси x шаг, равный **1**, по оси **Left 1** шаг, равный **0.5**. В опциях проекта добавьте частоты **13.75** и **18.25** ГГц. Щёлкните по значку **Analyze** на панели инструментов. Полученные графики показаны на рис. 7.65 и 7.66. Редактировать электромагнитную структуру не требуется.

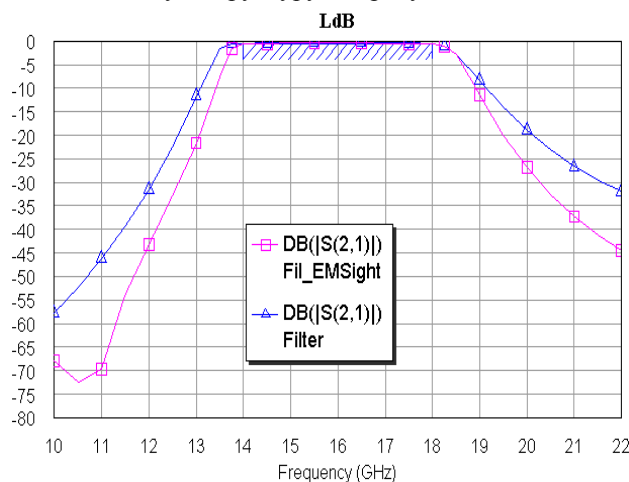


Рис. 7.65

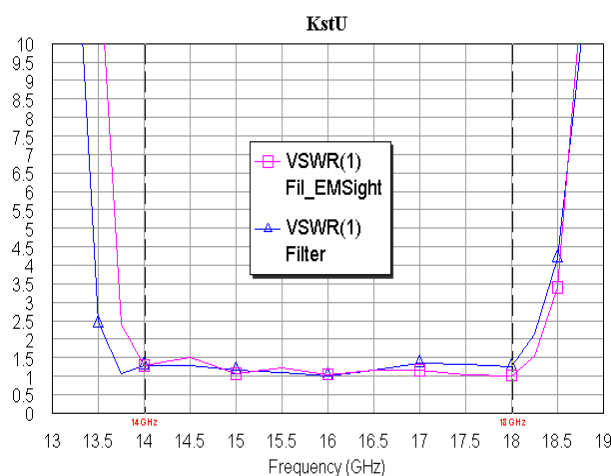


Рис. 7.66

Теперь развернём резонаторы так, чтобы входной и выходной проводники были на одном уровне.

Выберите в меню **Options>Layout Options**. В открывшемся окне на вкладке **Layout** в поле **Rotation snap angle** введите угол поворота **0.1 deg**, чтобы можно было поворачивать проводники плавно. Нажмите **OK**. Эта опция работает в окне топологии схемы и в окне редактора AXIEM, но не работает в окне электромагнитной структуры редактора EMSight. Поэтому нужно скопировать электромагнитную структуру и назначить для анализа симулятор AXIEM. Или сначала скопировать топологию в окно топологии схемы. Воспользуемся вторым способом.

Созданная ранее схема **Filter** нам больше не понадобится. Удалите её, чтобы не загромождать проект (щёлкните правой кнопкой мышки по имени схемы в окне просмотра проекта и выберите **Delete Schematic**). Заодно удалите цели оптимизации в группе **Optimizer Goals** и **Design** в группе **AWR Filter Synthesis Wizard**.

Теперь отредактируем топологию.

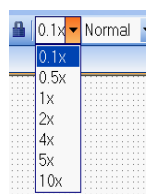


Рис. 7.67

- Создайте пустую схему **Schematic 1**.
- Щёлкните по значку **View Layout**, чтобы открыть пустое окно топологии схемы.
- В поле **Grid Spacing** на панели инструментов введите **0.1**, чтобы получить мелкую сетку для черчения (рис. 7.67).
- Откройте окно электромагнитной структуры, выделите все проводники и скопируйте их.
- Откройте окно топологии схемы и вставьте в него скопированную топологию. Проследите, чтобы, по крайней мере, верхняя сторона входного проводника совпадала с сеткой. В противном случае сдвиньте топологию, используя ввод с клавиатуры, так, чтобы такое совпадение было. Слой для черчения проводников здесь значения не имеет. Можно оставить по умолчанию или назначить любой слой (щёлкните правой кнопкой мышки по выделенным проводникам и выберите **Shape Properties**).
- Прежде чем разворачивать проводники, необходимо объединить проводники в каждом резонаторе, чтобы при повороте не возникло разрывов по центру резонаторов из-за погрешностей вычисления углов при повороте. Выделите все проводники резонаторов, кроме подводящих проводников и щёлкните по значку **Union** на панели инструментов.
- Чтобы точнее установить выходной проводник фильтра, можно создать временный длинный про-

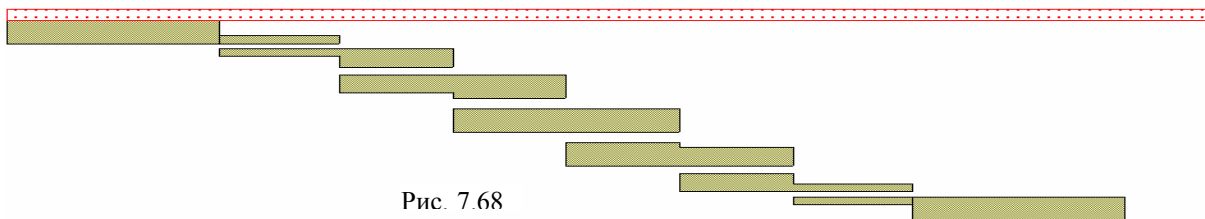


Рис. 7.68

водник, соприкасающийся с верхней стороной входного проводника, щёлкнув по значку **Rectangle** на панели инструментов. Топология должна выглядеть, как показано на рис. 7.68.

8. Щёлкните мышкой по выходному проводнику, чтобы выделить его, и, нажав левую кнопку мышки, переместите этот проводник вверх к дополнительному проводнику.
9. Выделите все проводники фильтра, кроме входного и выходного. Щёлкните правой кнопкой мышки по любому выделенному проводнику и выберите **Rotate**. Установите курсор на нижний правый угол входного проводника, нажмите левую кнопку мышки и вращайте проводники так,

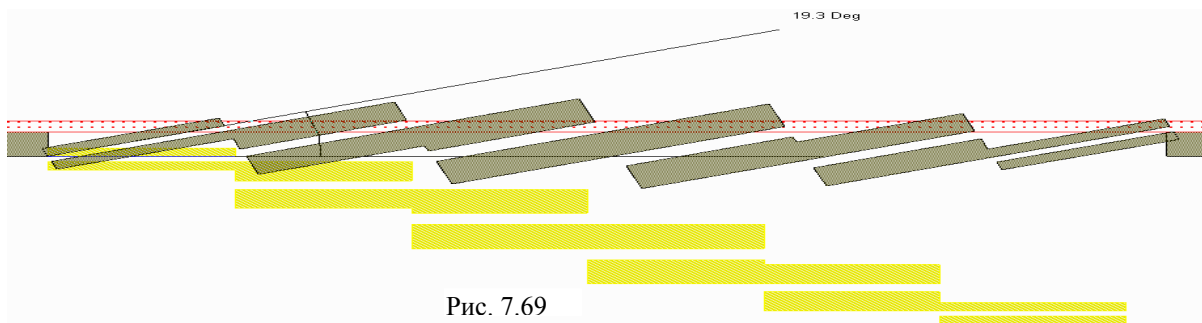


Рис. 7.69

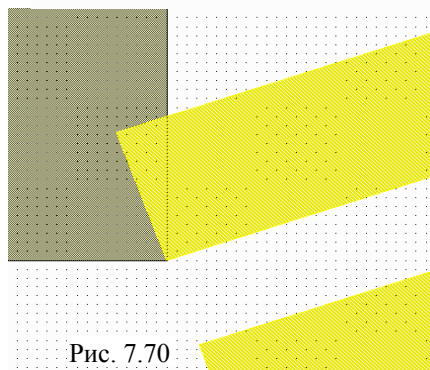


Рис. 7.70

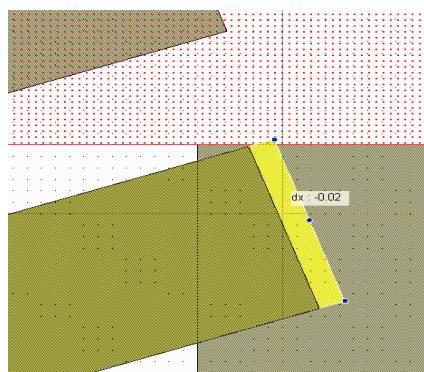


Рис. 7.71

- чтобы правый верхний угол нижнего проводника в последних связанных линиях коснулся дополнительного проводника (рис. 7.69), отпустите кнопку.
10. Увеличьте отображение в точке поворота и убедитесь, что точка поворота совпадает с правым нижним углом входного проводника (рис. 7.70). В противном случае сдвиньте соответственно повернутые проводники (они все должны быть выделенными).
11. Увеличьте отображение проводников на выходе фильтра. Верхний угол нижнего проводника в последних связанных линиях может немного не доходить до выходного проводника или располагаться несколько выше. В таком случае дважды щёлкните по нижнему проводнику связанных линий и продлите (или укоротите) этот проводник (рис. 7.71).
12. Щёлкните мышкой по дополнительному проводнику и удалите его, нажав клавишу **Delete**.
13. Выделите входной проводник и соединённый с ним проводник первых связанных линий. Щёлкните по значку **Union** на панели инструментов, чтобы объединить эти проводники.
14. Увеличьте отображение соединения выходного проводника с наклонным проводником фильтра (т.е. область, показанную на рис. 7.71). Щёлкните по выходному проводнику, чтобы выделить его, и сдвиньте этот проводник вправо так, чтобы его вершина совпала с верхней вершиной нижнего проводника последних связанных линий.
15. Выделите выходной проводник и соединённый с ним проводник последних связанных линий. Щёлкните по значку **Union** на панели инструментов, чтобы объединить эти проводники. Полученная топология фильтра показана на рис. 7.72.

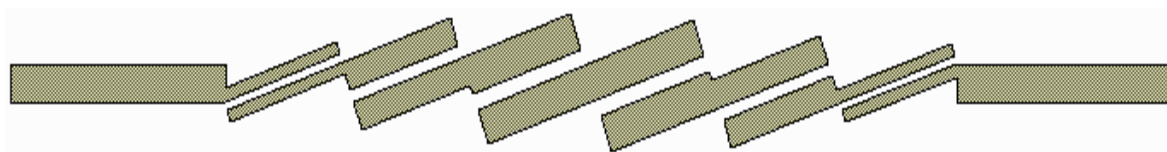


Рис. 7.72

Напомним, что все эти операции можно выполнить и в редакторе AXIEM.

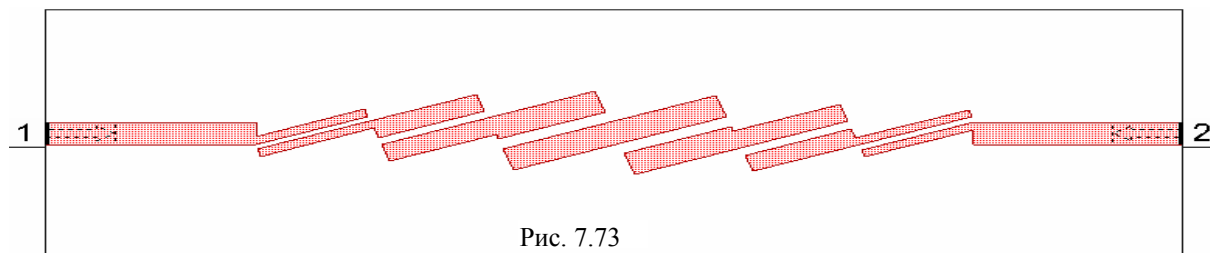
Измерьте длину и ширину полученной топологии. У нас получилось длина 16.2 мм и ширина – 1.65 мм. Размеры корпуса возьмём 16.2x5.

Теперь можно создавать электромагнитную структуру с развёрнутыми проводниками. Чтобы не вводить свойства корпуса новой структуры, сделайте копию имеющейся, щёлкнув по ней правой кнопкой мышки и выбрав **Duplicate EM Structure**. Переименуйте созданную копию структуры в **Fil_EMSight_Rotate**. Удалите все проводники из структуры. Щёлкните по значку **Substrate Information** и на вкладке **Enclosure** введите **X_Dim=16.2** и **Y_Dim=5.0**.

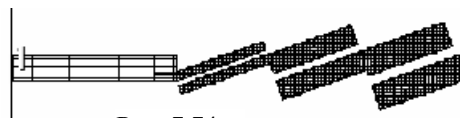
Откройте окно топологии схемы и скопируйте топологию. Затем откройте окно структуры **Fil_EMSight_Rotate** и вставьте скопированную топологию так, чтобы она располагалась по центру корпуса, и начало входного проводника точно совпадало с левым краем корпуса. Увеличьте отображение правого конца структуры и, если край выходного проводника не совпадает с краем корпуса, измерьте

величину, на которую выходной проводник не достаёт до края корпуса или выходит за край. Дважды щёлкните по выходному проводнику, установите курсор мышки так, чтобы он отображался в виде двойной стрелки, нажмите левую кнопку мышки, затем клавишу **Tab** и в поле **dx** введите измеренную величину (если проводник выходит за край корпуса, то **dx** должно быть отрицательным). Кроме того, убедитесь, что входной и выходной проводники совпадают с сеткой.

Выделите всю топологию структуры. Щёлкните по любому выделенному проводнику правой кнопкой мышки и выберите **Shape Properties**. В открывшемся окне в поле **EM Layer** введите **2**, в поле **Material** введите **1/2oz Cu** и нажмите **OK**.



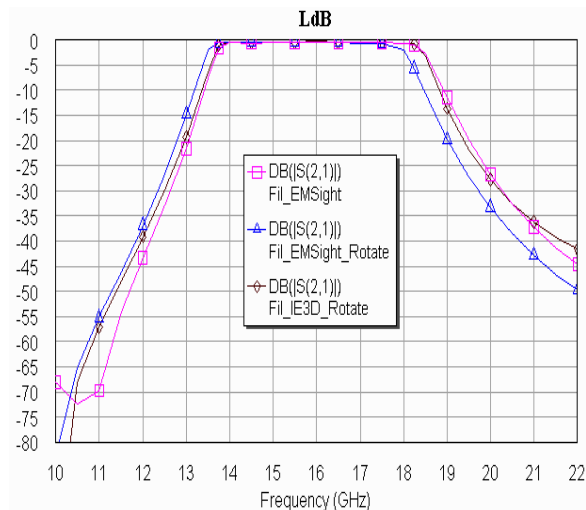
Установите порты на входе и выходе структуры. Установите сдвиг референсных плоскостей на 1.0 мм. Структура будет выглядеть, как показано на рис. 7.73.



Удалите временно созданную схему. С ней удалится и топология схемы.

Щёлкните по имени структуры **Fil_EMSight_Rotate** в окне просмотра проекта и выберите **Options**. В открывшемся окне на вкладке **EMSight** отметьте **Enable AFS** и нажмите **OK**.

Щёлкните правой кнопкой мышки по имени структуры **Fil_EMSight_Rotate** в окне просмотра проекта и выберите **Add Annotation**. В открывшемся окне в области **Measurement Type** отметьте **Planar EM**, в области **Measurement** отметьте **EM_MESH**, нажмите **Apply** и **OK**.



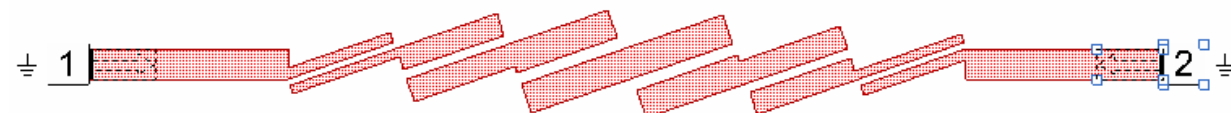
Щёлкните по значку **View EM 3D Layout**. Встроенная сетка показана на рис. 7.74.

Откройте окно графика и щёлкните по значку **Analyze** на панели инструментов.

Рассчитанный график показан на рис. 7.75. Характеристика фильтра с развёрнутыми резонаторами (синяя кривая) сдвинута вниз по частоте по сравнению с характеристикой фильтра с прямыми резонаторами (красная кривая). Очевидно, аппроксимация формы проводников прямоугольными ячейками сетки несколько увеличивает электрическую длину резонаторов. Для сравнения показана характеристика фильтра с наклонными резонаторами, полученная в IE3D (коричневая кривая). В IE3D анализ выполнялся в корпусе такой же ширины и с активной AEC.

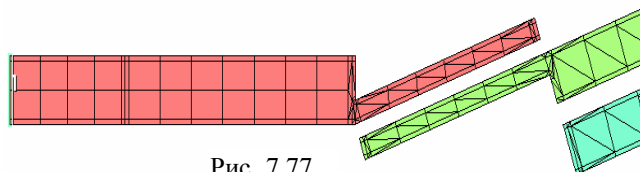
Теперь создадим структуру для AXIEM.

1. Создайте копию структуры **Fil_EMSight_Rotate** и переименуйте её в **Fil_AXIEM_Rotate**.
2. Щёлкните правой кнопкой мышки по имени созданной структуры в окне просмотра проекта и выберите **Set Simulator**. В открывшемся окне отметьте **AWR AXIEM** и нажмите **OK**.
3. Дважды щёлкните по порту **1**. В открывшемся окне в поле **Explicit Ground Reference** введите



Connect to lower и нажмите **OK**. Аналогично отредактируйте порт **2**. Созданная структура показана на рис. 7.76.

4. Щёлкните правой кнопкой мышки по имени созданной структуры в окне просмотра проекта и выберите **Add Annotation**. В открывшемся окне в области **Measurement Type** отметьте **Planar EM**, в области **Measurement** отметьте **EM_MESH_F**. Нажмите **Apply** и **OK**.



5. Откройте трёхмерное отображение структуры, щёлкнув по значку **View EM**

3D Layout на панели инструментов. Встроенная сетка показана на рис. 7.77.

- Откройте окно графика и щёлкните по значку **Analyze** на панели инструментов. Графики показаны на рис. 7.78 и 7.79 (оранжевая кривая).

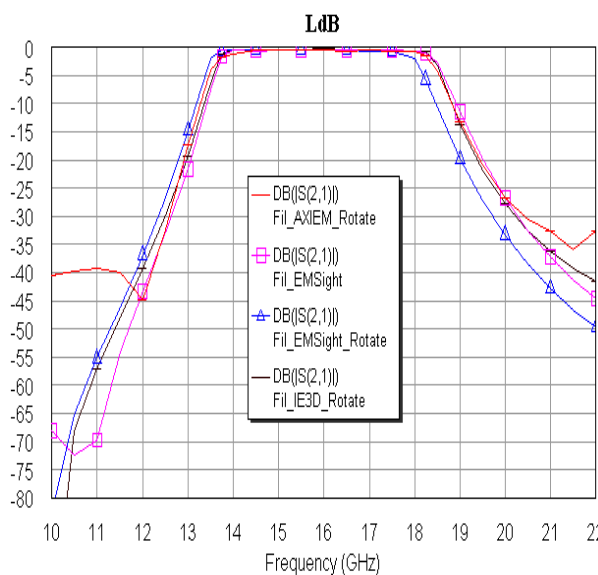


Рис. 7.78

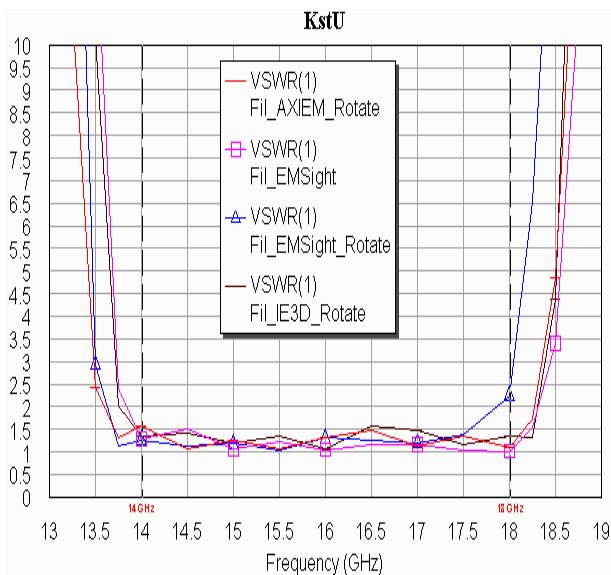


Рис. 7.79

- Как видно из графиков, только характеристика фильтра с развёрнутыми резонаторами, полученная в EMSight, несколько сдвинута вниз по частоте. Все остальные характеристики неплохо совпадают в полосе пропускания. Однако на частотах ниже и выше границ полосы пропускания характеристика, полученная в AXIEM, отличается от остальных характеристик. Это объясняется отсутствием боковых стенок в AXIEM.

7.4. Пример “неудачного” моделирования.

AXIEM расширяет возможности моделирования в Microwave Office и позволяет моделировать структуры, точный анализ которых в EMSight вызывает затруднения. Однако нужно быть внимательным при установке опций для анализа в AXIEM и учитывать особенности топологии. Установки по умолчанию не всегда обеспечивают точные результаты. Для примера кратко рассмотрим результаты моделирования фильтра-лесенки с полосой пропускания 16 – 16,5 ГГц на материале R03003 толщиной 0.254 мм.

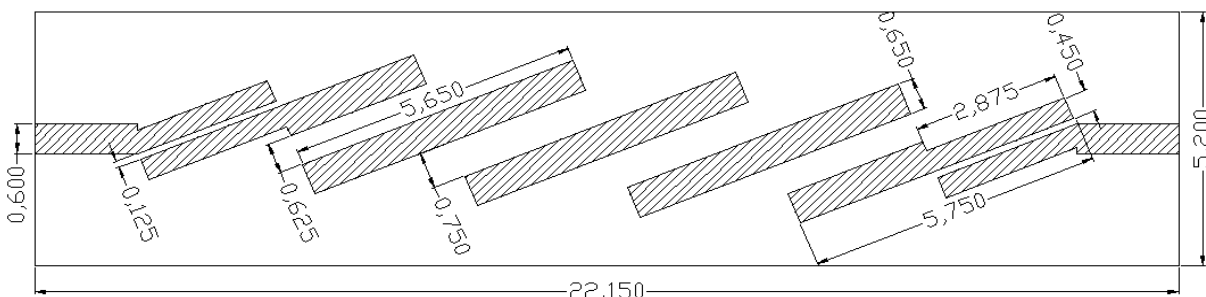


Рис. 7.80

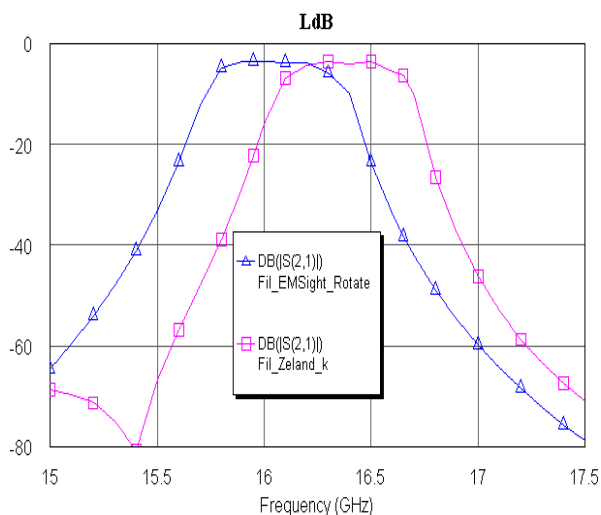


Рис. 7.81

Созданная при моделировании в Microwave Office топология фильтра показана на рис. 7.80. Расстояние от платы до верхней крышки корпуса 4 мм.

На графике рис. 81 показано сравнение анализа в Microwave Office, используя EMSight (синяя кривая), и в IE3D (красная кривая). В Microwave Office использовалась сетка с размером ячеек Grid_X и Grid_Y = 0.05 мм. С меньшей сеткой компьютер считать отказался (не хватило памяти и свободного места на диске). Сдвиг характеристики вниз по частоте в результатах EMSight обусловлен аппроксимацией проводников ячейками прямоугольной сетки, которая увеличивает длину резонаторов. По этой же причине ширина полосы пропускания может отличаться от реальной.

Затем для моделирования был назначен AXIEM. Тип портов выбран **Connect to lower**, нижняя плоскость – идеальный проводник.

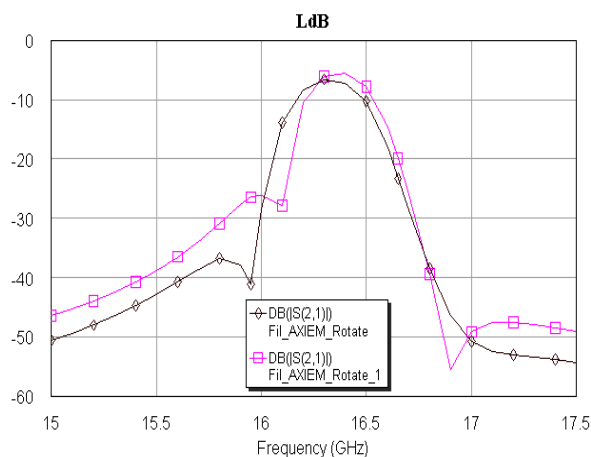


Рис. 7.82

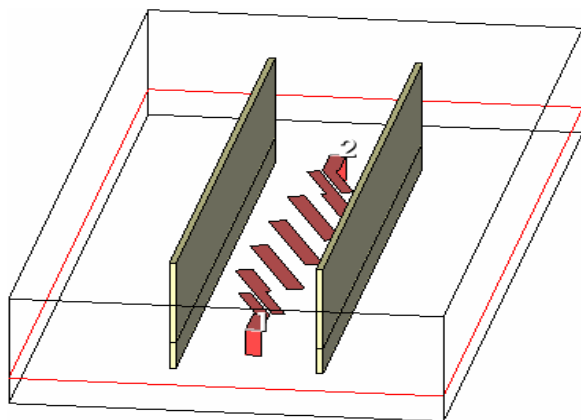


Рис. 7.83

Полученные характеристики показаны на рис. 7.82. Коричневая кривая, когда верх – свободное пространство (**Approx Open** на вкладке **Dielectric Layers** окна свойств корпуса). Малиновая кривая, когда верх – идеальный проводник.

Была сделана попытка имитировать боковые стенки корпуса установкой узких перемычек между верхней и нижней земляными плоскостями вдоль топологии фильтра (рис. 7.83). Полученная характеристика показана на рис. 7.84.

Затем были установлены узкие перемычки между верхней и нижней земляными плоскостями, которые имитируют переднюю и заднюю стенки корпуса (рис. 7.85). Полученная характеристика показана рис. 7.86.

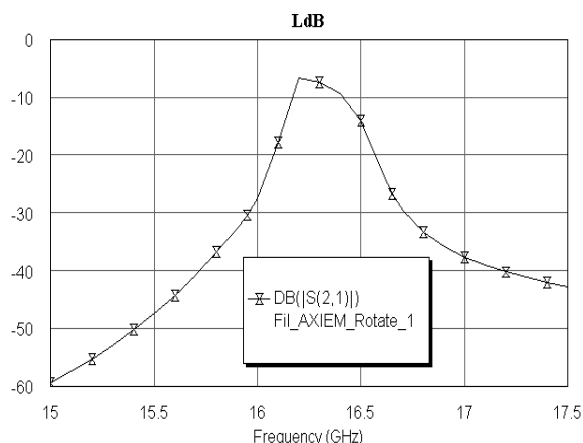


Рис. 7.84

Ни одна из характеристик не приблизилась к результатам, полученным в IE3D.

Причина в том, что для анализа использовались установки опций по умолчанию, которые для подобной структуры не являются оптимальными.

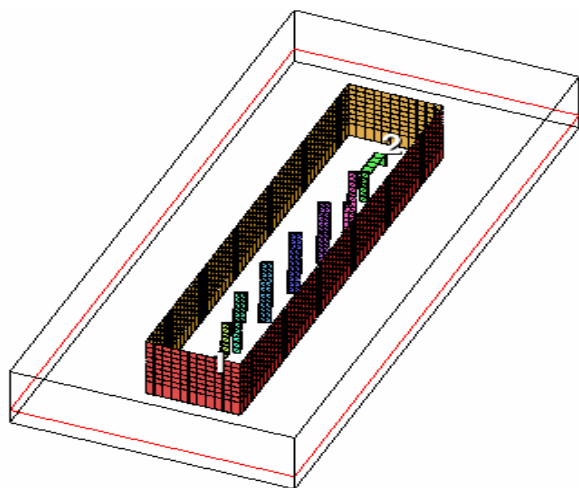


Рис. 7.85

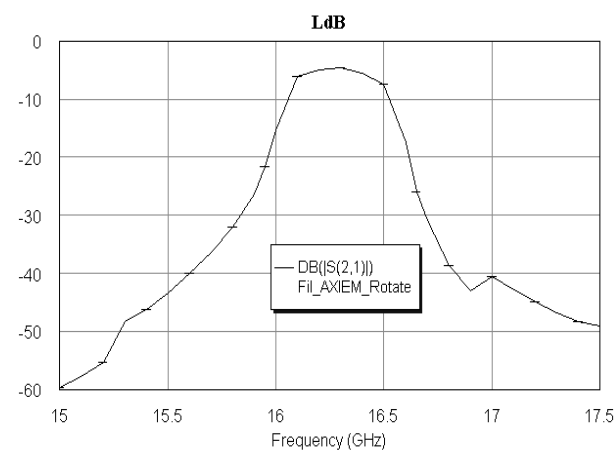


Рис. 7.86

Во-первых, о размерах ячеек сетки. При анализе в AXIEM использовались размеры ячеек $\text{Grid}_X=0.025$ и $\text{Grid}_Y=0.025$. Такие мелкие ячейки оправданы в EMSight, чтобы точнее аппроксимировать наклонные резонаторы. В AXIEM такая мелкая сетка практически не увеличивает точность анализа, но на много увеличивает время расчета и требуемое количество памяти. При ширине проводника 0.6 мм можно взять размер ячеек 0.1 мм. При этом будет расположено две треугольные ячейки по ширине наклонного проводника и плюс ячейки вдоль края проводника (рис. 7.87). Такая сетка достаточна, чтобы получить точные результаты (размер ячеек составит почти сотую часть от длины волны).

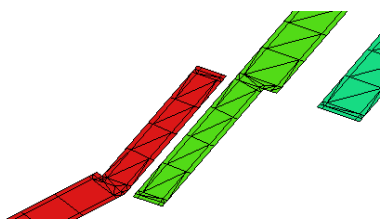


Рис. 7.87

Во-вторых, в окне опций электромагнитной структуры (щёлкнуть правой кнопкой мышки по имени структуры в окне просмотра проекта и выбрать **Options**) на вкладке **AXIEM** нужно установить опции **Matrix entry accuracy = High+** и **Compression accuracy = Very high** (рис. 7.88).

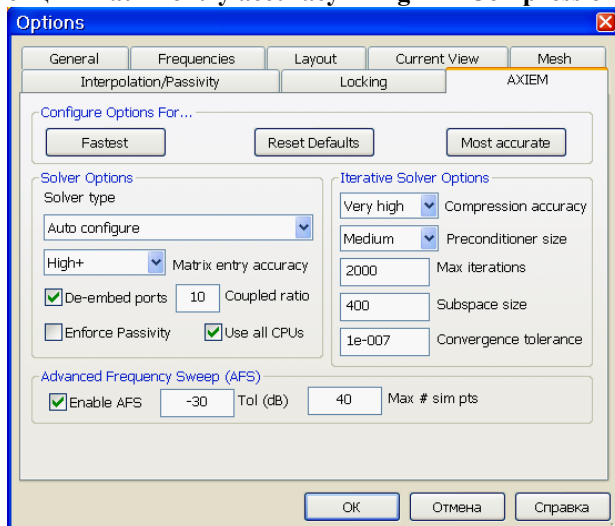


Рис. 7.88

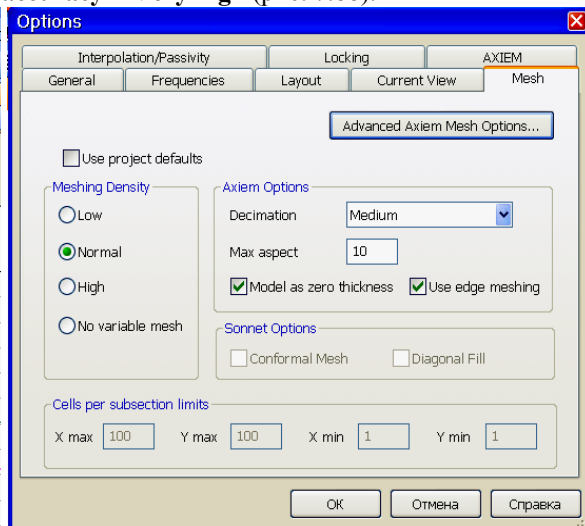


Рис. 7.89

В IE3D анализ выполнялся без учёта толщины проводников. Поэтому для более точного сравнения результатов толщину проводников лучше считать равной нулю. На вкладке **Mesh** окна опций нужно снять отметку в **Use project defaults** и отметить опции **Model as zero thickness**, чтобы толщина проводников была нулевой, и **Use edge meshing**, чтобы создать узкие ячейки вдоль края проводника (рис. 7.89).

Полученные при таких установках характеристики структуры с верхней крышкой и без неё (верх – свободное пространство) показаны на рис. 7.90. Кривые хорошо совпадают с результатами анализа в IE3D в полосе пропускания, но отличаются в полосах загораживания. Это объясняется отсутствием боковых стенок.

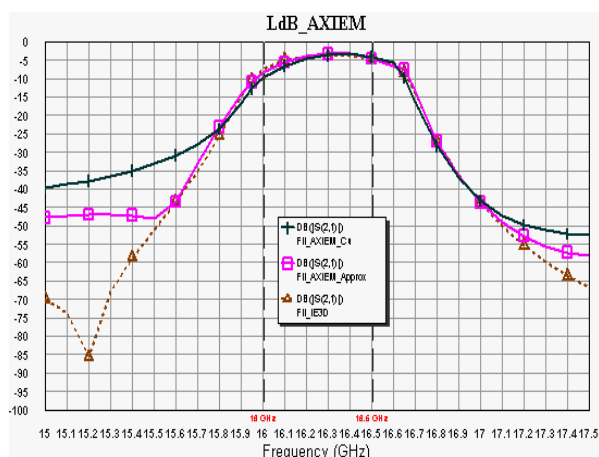


Рис. 7.90

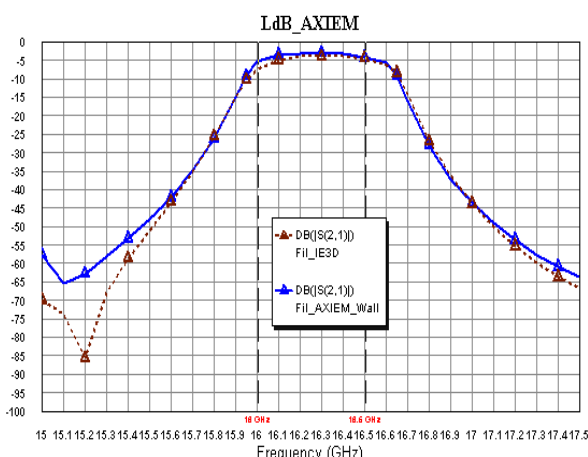


Рис. 7.91

Выполнив анализ структуры с боковыми стенками и с верхней крышкой, получаем характеристику, показанную на рис. 7.91. Она уже хорошо совпадает с результатами IE3D.

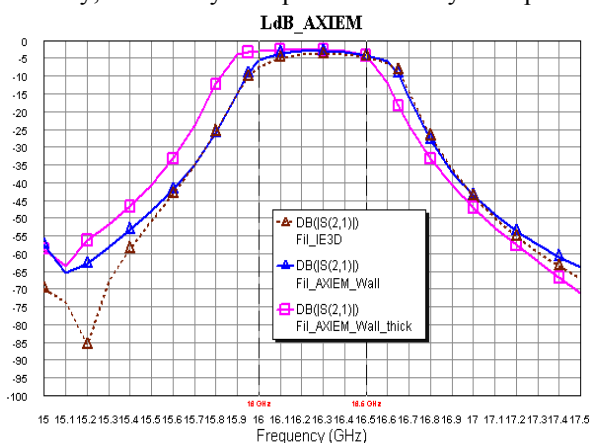


Рис. 7.92

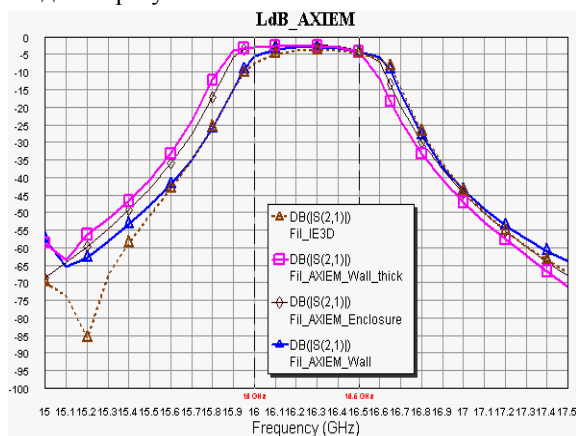


Рис. 7.93

Если учесть толщину проводников (снять отметку опции **Model as zero thickness** в окне рис. 7.89), то получаем характеристику, показанную на рис. 7.92 красной линией. Характеристика сдвинута

вниз по частоте и полоса пропускания шире. Это и следовало ожидать, т.к. у толстых проводников электрическая длина больше из-за краевых эффектов и связь между резонаторами сильнее.

Если кроме боковых стенок, создать переднюю и заднюю (как на рис. 7.85), то расчётная характеристика с учётом толщины проводника будет как на рис. 7.93 (тонкая коричневая линия).

8. Использование экстракции

8.1. Общие положения.

Под экстракцией (извлечением) понимается создание электромагнитной структуры из одного или нескольких элементов схемы или топологии схемы. Имя созданной электромагнитной структуры отображается в окне просмотра проекта в группе EM Structures. Затем эта структура передаётся решающему устройству для электромагнитного анализа. Результаты анализа извлечённой структуры замещают модели элементов схемы, включённых в экстракцию. Т.е. созданная электромагнитная структура как бы встраивается в схему в качестве подсхемы вместо элементов, включённых в экстракцию.

Экстракция не гарантирует получения точных результатов, потому что схема и её топология не всегда точно отражают реальную топологию устройства. Но она может повысить точность анализа и упростить создание электромагнитной структуры по сравнению с её созданием вручную. Однако экстракцию лучше не использовать, если нет уверенности, что топология элементов схемы с хорошей точностью отражает реальную топологию устройства.

При использовании экстракции необходимо соблюдать осторожность. Например, если в топологии схемы имеется тонкая линия, то можно получить разомкнутую цепь (решающее устройство может “не заметить” тонкую линию). Если имеются перекрывающиеся элементы топологии схемы, можно получить короткое замыкание.

Прежде чем начинать экстракцию, необходимо в схему или в глобальные определения добавить элемент многослойной подложки **STACKUP**. Если этот элемент поместить в глобальные определения, он будет доступен для всех электромагнитных структур, создаваемых в проекте. Этот элемент используется для определения слоёв диэлектрика и проводников. Если в проекте должно быть несколько элементов с разным количеством слоёв, то нужно добавить несколько элементов **STACKUP**.

Кроме того, в схему должен быть добавлен элемент **EXTRACT**. В окне просмотра проекта раскройте группу **Simulation Control** и переместите в окно схемы этот элемент. Элемент **EXTRACT** определяет решающее устройство (симулятор), которое должно использоваться для анализа извлечённой электромагнитной структуры, имя для извлекаемой структуры и ряд опций для выбранного решающего устройства и процесса экстракции. В окне свойств элемента **EXTRACT** имеются такие же вкладки, как и в окне свойств электромагнитной структуры. Т.е. ряд опций можно установить и в окне свойств элемента, и в окне свойств электромагнитной структуры. Если эти опции имеют различные значения, то предпочтение отдаётся опциям элемента **EXTRACT**, которые отменяют действие опций, установленных в окне свойств электромагнитной структуры. Если всё же необходимо использовать значения опций, установленных в окне свойств электромагнитной структуры, установите в элементе **EXTRACT** параметр **Override_Options** в **No**.

Чтобы определить элемент схемы для экстракции, в окне схемы дважды щёлкните по элементу схемы или щёлкните по нему правой кнопкой мышки и выберите **Properties**, чтобы открыть диалоговое окно **Element Options**. На вкладке **Model Options** в области **EM Extraction Options** отметьте **Enable** и в поле **Group name** введите новое имя группы, в которую будет входить извлекаемая структура, или, используя раскрывающееся меню, выберите любое имя из имён, уже определённых в элементе **EXTRACT**.

Вы можете выбрать несколько элементов в схеме и включить экстракцию для всех выбранных элементов сразу. Для этого выделите все элементы, дважды щёлкните мышкой по любому элементу и отметьте **Enable**.

Элементы для экстракции можно выбирать аналогичным образом и в окне топологии схемы (**Layout View**). Часто это более удобно, поскольку этот способ позволяет определить элементы, которые находятся близко друг к другу. При использовании топологии схемы в экстракцию можно включить вспомогательные топологические элементы, не связанные со схемой. Это элементы, начерченные в окне топологии вручную (например, реперные знаки или текст).

Процесс экстракции можно отменить, щёлкнув правой кнопкой мышки по элементу **EXTRACT** и выбрав **Toggle Enable**. В этом случае каждый элемент схемы, выбранный для экстракции, ведёт себя так, как будто экстракции не было. Это даёт возможность видеть влияние экстракции на результаты моделирования.

Частоты для анализа извлечённой электромагнитной структуры берутся из той схемы, из которой извлекается структура. Причём изменить эти частоты в опциях извлечённой структуры нельзя, это можно сделать только в опциях элемента **EXTRACT**. Однако делать это не рекомендуется, т.к. возникнет дополнительная погрешность анализа на не совпадающих частотах для схемы и для извлечённой структуры. Частоты для анализа в опциях схемы могут быть изменены. Однако если это сделано после выполнения первого анализа, то частоты для извлечённой структуры автоматически не изменятся. Это нужно сделать вручную в опциях элемента **EXTRACT** до выполнения анализа на новых частотах.

До выполнения анализа желательно просмотреть извлекаемую электромагнитную структуру, чтобы проверить правильность создаваемой топологии. Щёлкните правой кнопкой мышки по элементу **EXTRACT** в окне схемы и выберите **Add Extraction**. Альтернативно можно щёлкнуть правой кнопкой мышки по имени схемы в окне просмотра проекта и выбрать **Add Extraction**. Эта команда создаёт элек-

тромагнитную структуру с именем, установленным в элементе **EXTRACT**, из выбранных в схеме элементов для экстракции. Если в схеме нет выбранных для экстракции элементов, ничего не создаётся.

Рассмотрим простой пример экстракции короткозамкнутого отрезка микрополосковой линии.

8.1.1. Моделирование короткозамкнутого отрезка микрополосковой линии.

1. Создайте новый проект с именем **Short-Line**.
2. Создайте схему с именем **MLin**.

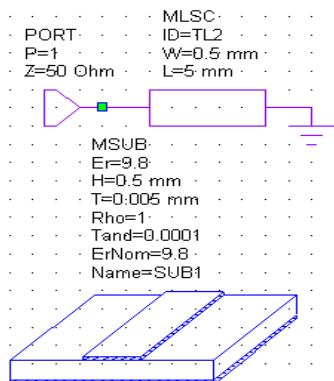


Рис. 8.1

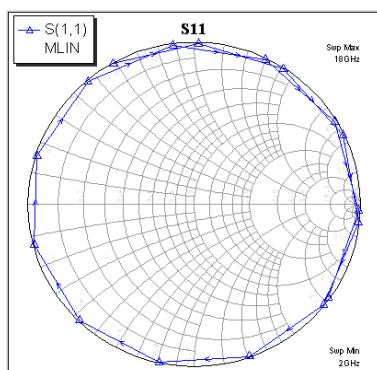


Рис. 8.2

3. Откройте окно просмотра элементов. Раскройте группу **Microstrip** и из подгруппы **Lines** поместите в окно схемы элемент короткозамкнутого отрезка линии **MLSC**. Добавьте порт на входе схемы (рис. 8.1).
4. Дважды щёлкните по элементу **MLSC** и введите **W=0.5 mm** и **L=5 mm**.
5. Добавьте в схему элемент подложки **MSUB**. Дважды щёлкните по этому элементу и введите **Er=9.8**, **H=0.5 mm**, **T=0.005 mm**, **Tand=0.0001** и **ErNom=9.8**.

6. Дважды щёлкните по **Project Options** и введите частоты для анализа от **2** до **18 ГГц** с шагом **1 ГГц**.
7. Создайте график **Smith Char** с именем **S11** и добавьте к нему комплексную переменную **S11**.
8. Щёлкните по значку **Analyze** на панели инструментов. График показан на рис. 8.2.

Теперь подготовим схему для экстракции.

Добавьте к схеме элемент подложки **STACKUP** и дважды щёлкните по этому элементу, чтобы открыть окно свойств. Параметры этого элемента должны быть такими же, как и у элемента **MSUB**.

1. На вкладке **Material Defs** окна свойств элемента **STACKUP** в области **Dielectric Definitions** добавьте слой диэлектрика **Diell**, для которого введите **Er=9.8** и **TanD=0.0001** (рис. 8.3). В области **Conductor Definitions** добавьте материал **Copper** (рис. 8.4) и установите для него красный цвет.

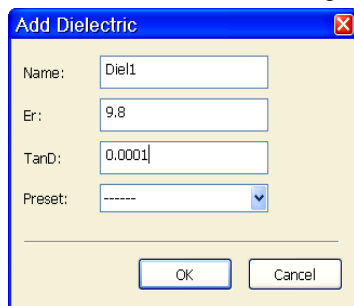


Рис. 8.3

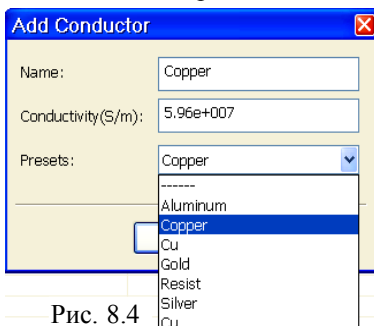


Рис. 8.4

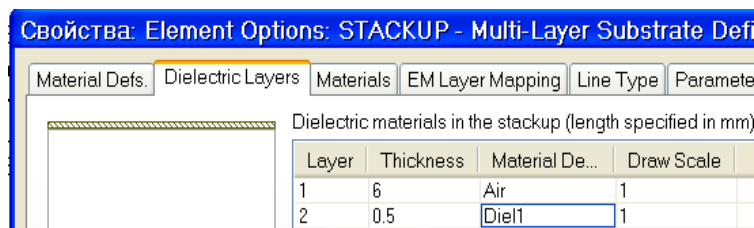


Рис. 8.5

2. На вкладке **Dielectric Layers** для слоя **1 (Air)** введите толщину (**Thickness**) **6**. Добавьте слой **2**, для которого введите толщину **0.5** и тип диэлектрика (**Material De...**) – **Diell** (рис. 8.5).
3. На вкладке **Materials** добавьте материал с именем **Copper** и определите для него тип материала **Copper** в столбце **Material De...** Параметры на остальных вкладках оставьте по умолчанию.

В окне просмотра элементов

щёлкните по **Simulation Control** и добавьте к схеме элемент **EXTRACT**.

Дважды щёлкните по элементу **EXTRACT**.

1. На вкладке окна **Parameters** свойств для **EM_Doc** введите **"MLin_EM"**. Это будет имя извлечённой электромагнитной структуры, которое будет отображаться в окне просмотра проекта.
2. Для **Simulator** введите **EMSight**. По умолчанию здесь стоит **{Choose}** (Выбирать). Щёлкните по этому значению мышкой, затем щёлкните по появившейся кнопке в правом конце поля и выберите **EMSight**.
3. Введите размеры ячеек геометрической сетки **X_Cell_Size=0.1** и **Y_Cell_Size=0.1**.
4. Введите смещение референсной плоскости для портов **1 mm**.
5. Для **STACKUP** введите **"SUB2"** аналогично вводу для **Simulator**.

6. Остальные параметры на этой вкладке и на всех других вкладках оставьте по умолчанию. Нажмите **ОК**.

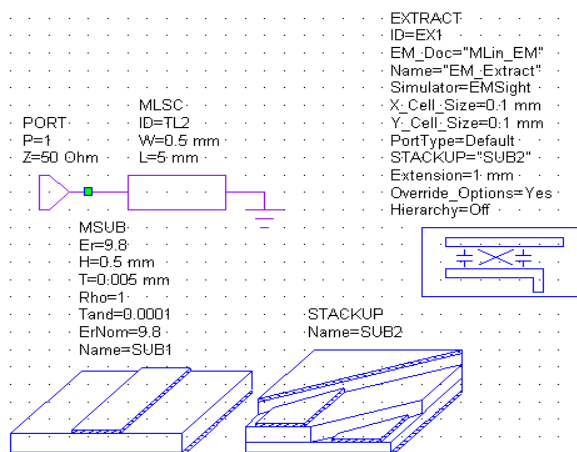


Рис. 8.6

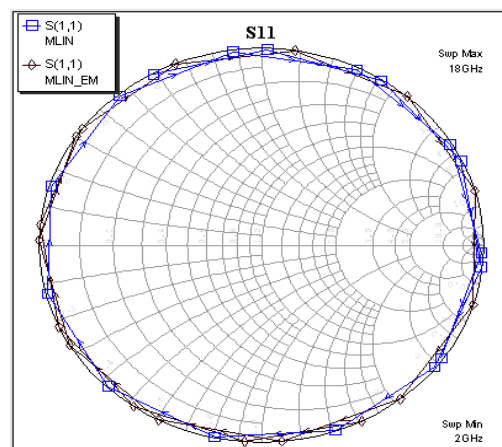


Рис. 8.7

Полученная схема показана на рис. 8.6.

Включите элемент **MLSC** в экстракцию. Для этого дважды щёлкните по элементу **MLSC** и на вкладке **Model Options** в области **EM Extraction Options** отметьте **Enable**. Выполните анализ схемы. Характеристика показана на рис. 8.7. Вместо короткозамкнутой линии для извлечённой структуры получили характеристику разомкнутой линии.

В окне просмотра элементов в группе **EM Structures** появилась извлечённая электромагнитная структура **MLin_EM**. Откройте окно этой структуры. Вместо короткозамкнутого отрезка в электромагнитной структуре мы получили разомкнутый отрезок (рис. 8.8). Процедура экстракции не знает, как осуществляется заземление в этой схеме.

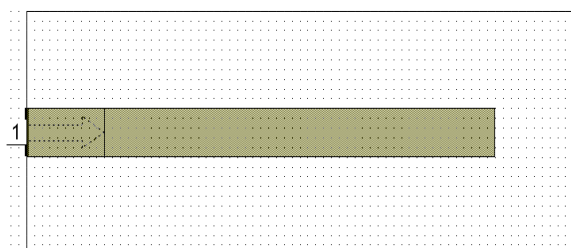


Рис. 8.8

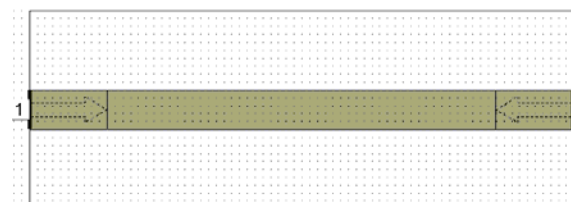


Рис. 8.10

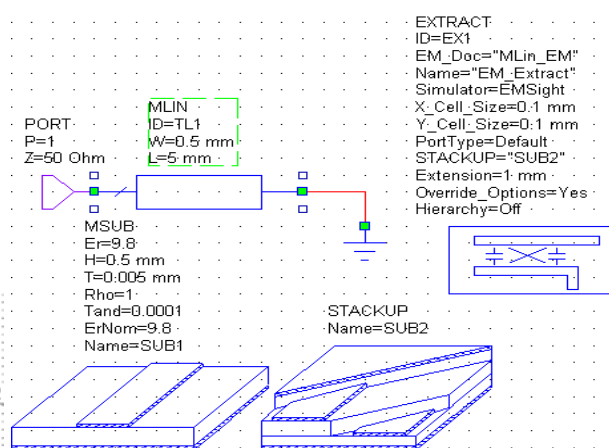


Рис. 8.9

Обратите внимание, что общая длина проводника равна 6 мм (5 мм – заданная длина элемента **MLSC** и 1 мм – заданное смещение референсной плоскости). Также обратите внимание, что длина и ширина корпуса выбраны автоматически.

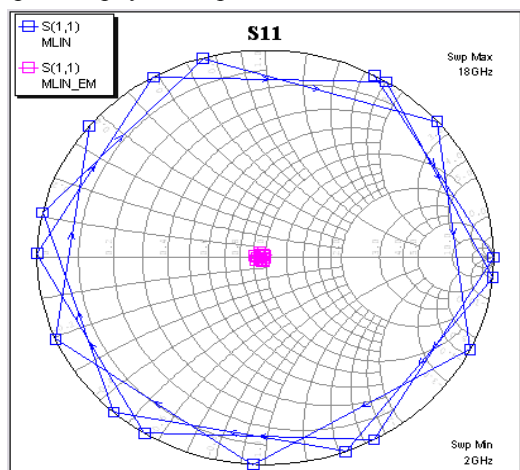


Рис. 8.11

Заменим в схеме элемент **MLSC** элементом **MLIN** с такими же значениями **W** и **L** и с землёй на правом конце (рис. 8.9).

Дважды щёлкните по элементу **MLIN** и включите его в экстракцию, как описано выше. Поскольку мы не изменили имя извлекаемой структуры в элементе **EXTRACT**, извлечённая ранее структура будет заменена новой.

В этом случае элемент земли не имеет поставленного ему в соответствие топологического элемента. Процесс экстракции видит, что к правому концу элемента **MLIN** подключен другой элемент с неизвестной топологией и просто устанавливает второй порт для подключения элемента. В результате получаем отрезок линии, нагруженный на согласованное сопротивление на входе и выходе (рис. 8.10). График извлечённой структуры сосредоточен вблизи единицы на диаграмме Смита (рис. 8.11).

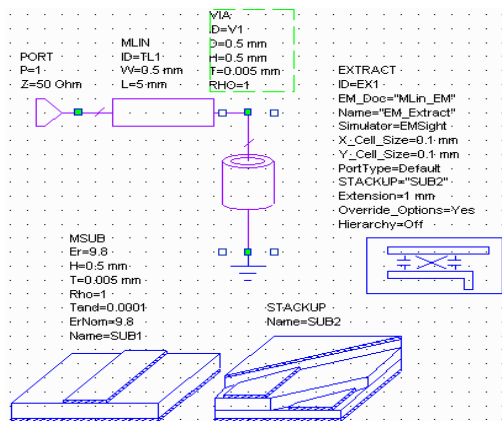


Рис. 8.12

ставленную задачу. Самый простой способ – использовать модель **VIA1P**.

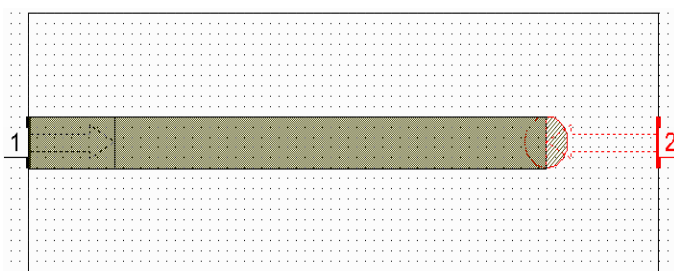


Рис. 8.13

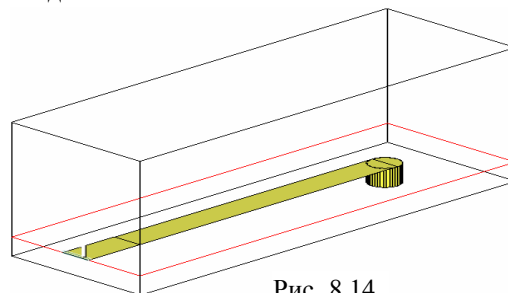


Рис. 8.14

Откройте окно просмотра элементов, в схеме удалите элемент **VIA** и землю. Вместо удалённых элементов вставьте элемент **VIA1P** (рис. 8.15). Дважды щёлкните по элементу **VIA1P** и введите такие же параметры, как и для элемента **VIA**.

Выполните анализ, полученные графики показаны на рис. 8.16.

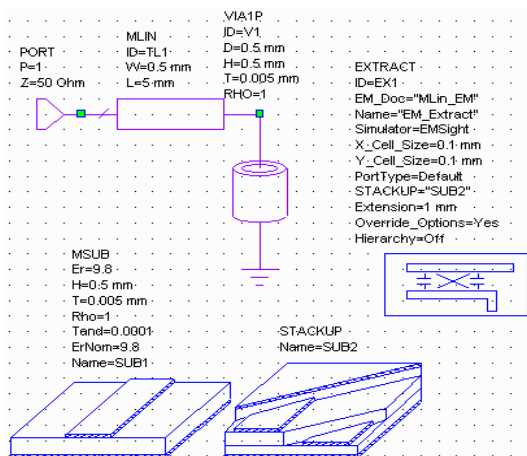


Рис. 8.15

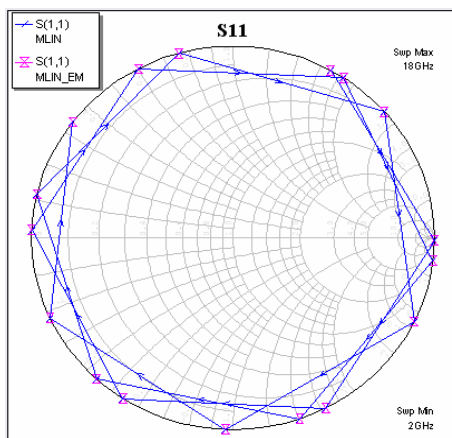


Рис. 8.16

Другой способ заключается в том, чтобы создать отдельную схему заземлённой перемычки и вставить её в нашу схему в качестве подсхемы.

Создайте схему **VIA**, как показано на рис. 8.17 и вставьте её в схему **MLin** в качестве подсхемы (рис. 8.18). Дважды щёлкните по

элементу подсхемы **SUBCKT** и включите её в экстракцию. Результат будет таким же, как и в предыдущем случае.

Сделав активным окно извлечённой электромагнитной структуры и щёлкнув по значку **Substrate Information** на панели инструментов, чтобы открыть окно свойств корпуса, вы можете убедиться, что все параметры созданного корпуса соответствуют параметрам, установленным в элементах **STACKUP** и **EXTRACT**.

Из приведённого примера хорошо видно, что прежде чем выполнять анализ, нужно просмотреть извлечённую структуру, чтобы оценить её соответствие реальной топологии. Рассмотрим следующий простой пример.

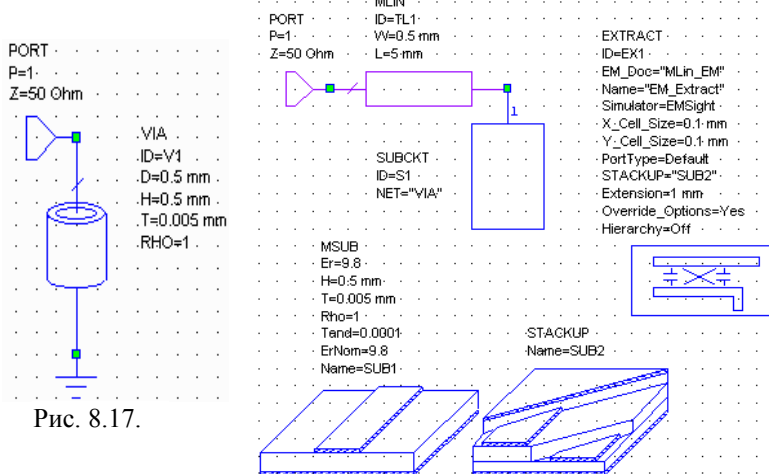


Рис. 8.17.

Рис. 8.18

8.1.2. Моделирование разомкнутого шлейфа.

Создайте схему, показанную на рис. 8.19.

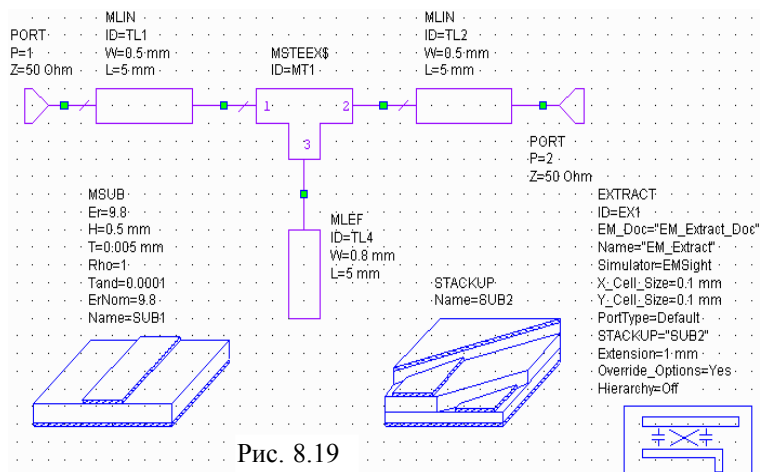


Рис. 8.19

Для элементов **STACKUP** и **EXTRACT** введите такие же параметры, как в предыдущем примере.

Замечание. При указанных установках в элементе **EXTRACT** размеры корпуса устанавливаются автоматически. При желании эти размеры вы можете задать вручную. Для этого в окне свойств элемента **EXTRACT** на вкладке **Parameters** щёлкните по кнопке **Show Secondary** и введите нужные значения **X_Dimension** и **Y_Dimension**.

Выделите все элементы схемы и назначьте их для экстракции. Щёлкните правой кнопкой мышки по имени схемы в окне просмотра проекта и вы-

берите **Add Extraction**. Или щёлкните по элементу **EXTRACT** правой кнопкой мышки и выберите **Add Extraction**.

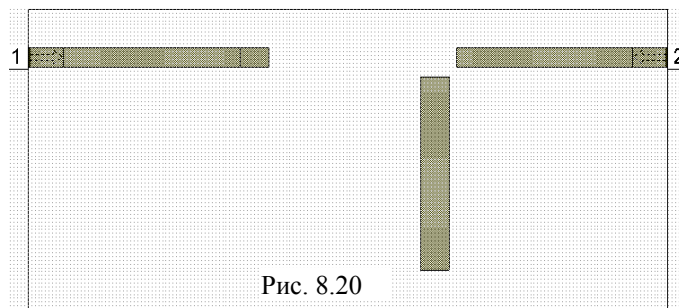


Рис. 8.20

В окне просмотра проекта появится имя извлекаемой структуры. Дважды щёлкните по этому имени, чтобы открыть окно электромагнитной структуры. Она может иметь вид, показанный на рис. 8.20. Ясно, что созданная структура не соответствует действительности.

Чтобы исправить её, откройте окно схемы и щёлкните по значку **View Layout**. Топология будет иметь такой же вид, как на рис. 8.20.

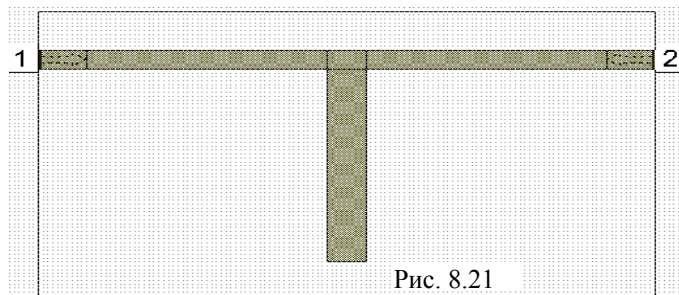


Рис. 8.21

Выделите все элементы топологии и щёлкните по значку **Snap Together** на панели инструментов. Элементы будут соединены правильно.

Откройте окно схемы, щёлкните правой кнопкой по элементу **EXTRACT** и выберите **Add Extraction**. Извлечённая топология будет иметь вид, показанный на рис. 8.21. Эта структура уже пригодна для выполнения анализа.

В этом примере использовался симулятор **EMSight**. Если предполагается использовать **AXIEM**, необходимо указать, какого типа порты должны быть установлены.

Сделайте копию схемы. Дважды щёлкните по элементу **EXTRACT** и замените значение **Simulator=EMSight** на значение **Simulator= AXIEM**.

Щёлкните по значку **View Layout** на панели инструментов.

Щёлкните по входному проводнику, чтобы выделить его.

Выберите в меню **Draw>Extraction Port** и установите порт на входе структуры.

Дважды щёлкните по установленному порту. В открывшемся окне в поле **Explicit Ground Reference** введите **Connect to lower**, в поле **Ref. Plane Distance** введите **1**, нажмите **OK**. Аналогично установите порт на выходе структуры.

Щёлкните правой кнопкой по элементу **EXTRACT** и выберите **Add Extraction**. Извлечённая структура показана на рис. 8.22, а её трёхмерное отображение на рис. 8.23.

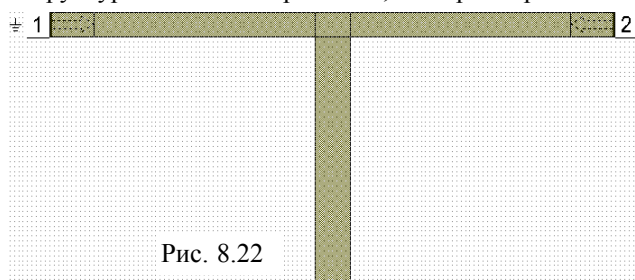


Рис. 8.22

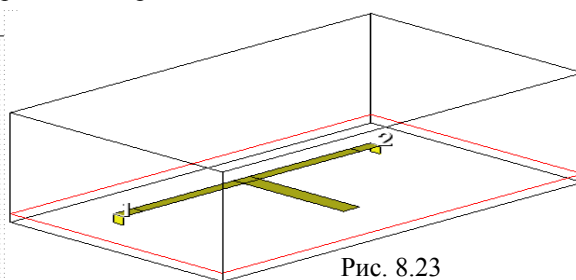


Рис. 8.23

Если в топологии предполагается выполнить трассировку проводников, это нужно сделать в топологии схемы до выполнения экстракции.

Рассмотрим следующий простой пример.

8.1.3. Моделирование разветвителя.

Создайте схему рис. 8.24.

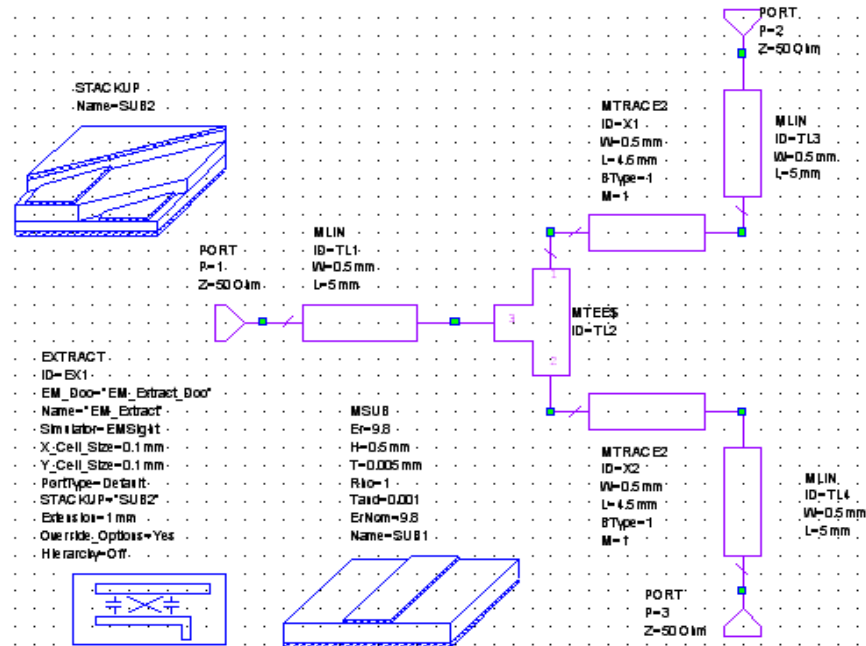


Рис. 8.24

левой кнопкой в местах изгиба проводника, выполните трассировку этого элемента, как показано на рис.

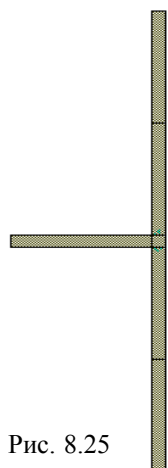


Рис. 8.25

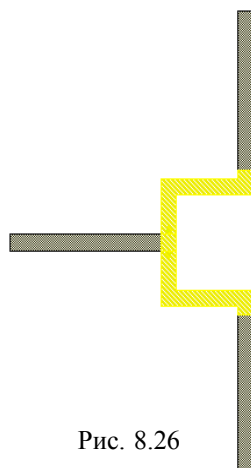


Рис. 8.26

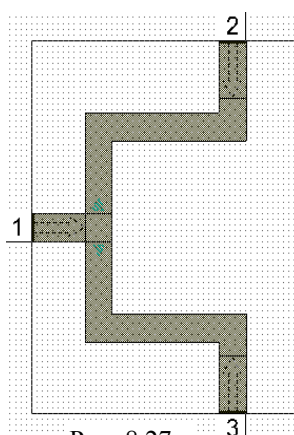


Рис. 8.27

Допустим, нужно включить в экстракцию элемент **MTEE5** и два элемента **MTRACE2**.

Щёлкните по значку **View Layout** на панели инструментов, чтобы открыть топологию схемы. Выделите всю топологию и щёлкните по значку **Snap Together** на панели инструментов. Топология будет иметь вид, показанный на рис. 8.25.

Дважды щёлкните по верхнему топологическому элементу **MTRACE2**. На элементе появятся ромбики для выполнения трассировки.

Дважды щёлкните по нижнему ромбику и, двигая мышку и щёлкая

8.26. По окончании трассировки дважды щёлкните кнопкой мышки. Аналогично выполните трассировку нижнего элемента **MTRACE2**. Воспользуйтесь командой **Snap Together**, чтобы соединить все проводники. Получится топология, показанная на рис. 8.26.

Выделите элементы, предназначенные для экстракции. Заметим, что эти же элемен-

ты можно было выделить не в топологии, а в схеме.

В окне просмотра проекта щёлкните правой кнопкой мышки по имени схемы и выберите **Add Extraction**. Извлечённая структура показана на рис. 8.27.

Из одной и той же схемы можно выполнить несколько экстракций электромагнитных структур для нескольких различных элементов или групп элементов схемы. Необходимым условием для экстракции нескольких различных элементов в различные электромагнитные структуры является то, что все эти элементы на физической плате должны быть разнесены достаточно далеко, чтобы между ними не было связи.

Для выполнения нескольких экстракций из одной схемы, в этой схеме должно быть столько элементов **EXTRACT**, сколько предполагается выполнить экстракций. Для каждой экстракции должно быть определено индивидуальное имя извлекаемой структуры (**EM_Doc**) и индивидуальное имя группы (**Name**) в соответствующем элементе **EXTRACT**.

Например, чтобы извлечь структуры входного и выходных элементов **MLIN** в схеме рис. 8.24, нужно добавить в эту схему три элемента **EXTRACT**.

В первом из этих элементов должно быть, например, **EM_Doc="EM_Extract_Doc1"** и **Name="EM_Extract1"**. Во втором – **EM_Doc="EM_Extract_Doc2"** и **Name="EM_Extract2"**. В третьем – **EM_Doc="EM_Extract_Doc3"** и **Name="EM_Extract3"**. Щёлкая по каждому элементу **EXTRACT** правой кнопкой мышки и выбирая **Add Extraction**, мы получим извлечённые структуры трёх отрезков линий (элементов **MLIN**). Вид схемы и извлечённые электромагнитные структуры показаны на рис. 8.28.

5. На вкладке **Dielectric Layers** для слоя 1 с материалом **Air** введите толщину слоя 4. Добавьте слой 2 с толщиной **0.305** и материалом **Diel_1**.

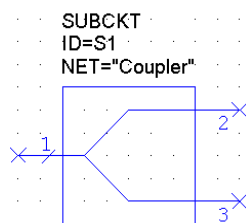


Рис. 8.30

6. На вкладке **Materials** добавьте материал **Copper** с параметрами **Thickness=0.018** и **Material De...=Copper**.
7. Нажмите **OK**. Теперь окно глобальных определений можно закрыть.
8. Создайте схему с именем **Divider**.
9. В окне просмотра элементов раскройте группу **Subcircuits** и перетащите в окно схемы подсхему **Coupler**. Дважды щёлкните по элементу подсхемы и в окне свойств откройте вкладку **Symdol**. В списке символов найдите и отметьте символ **SPLIT2@system.syf** и нажмите **OK**. Элемент подсхемы

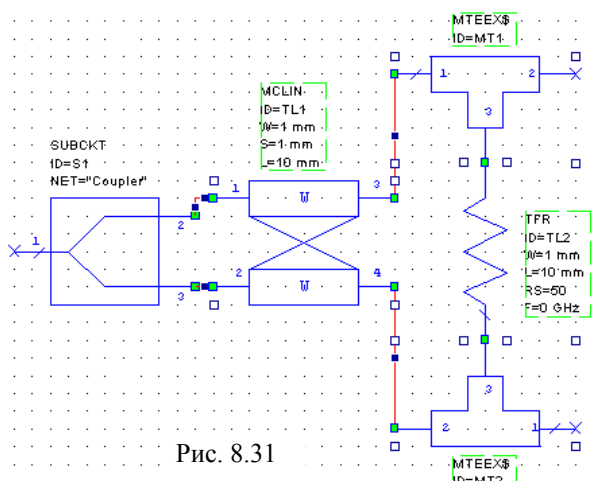


Рис. 8.31

Coupler будет выглядеть, как показано на рис. 8.30.

10. В окне просмотра элементов раскройте группу **Microstrip** и затем подгруппу **Coupled Lines**. Перетащите элемент **MCLIN** и расположите его рядом с элементом подсхемы.
11. Раскройте группу **Components**, перетащите в окно схемы элемент **TFR** и расположите его, развернув на 90 градусов, рядом с элементом **MCLIN**.
12. Раскройте группу **Junctions**, перетащите элемент **MTEEX\$** в окно схемы и подключите его плечом 3 к верхнему концу элемента **TFR**. Аналогично к нижнему концу элемента **TFR** подключите второй элемент **MTEEX\$**.
13. Соедините элементы, как показано на рис.

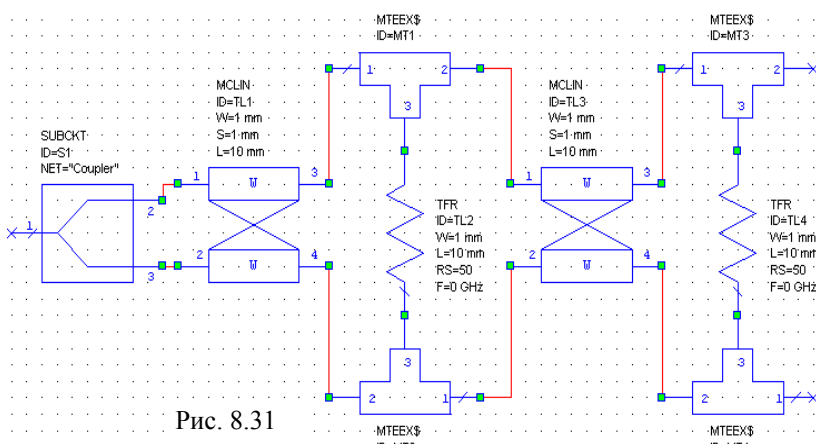


Рис. 8.31

8.31.

14. Выделите все элементы схемы, кроме элемента подсхемы как показано на рис. 8.31, и скопируйте их, щёлкнув по значку **Copy** на панели инструментов.
15. Щёлкните по значку **Paste** на панели инструментов и подключите скопированную часть схемы к уже имеющейся, как показано на рис. 8.31.
16. Действуя аналогично,

создайте схему, как показано на рис. 8.33, и установите порты.

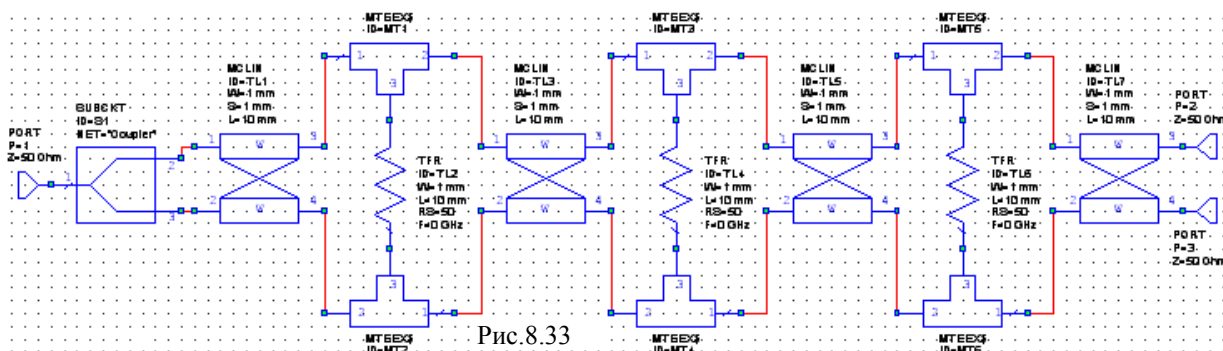


Рис. 8.33

17. Добавьте к схеме элемент подложки **MSUB**. Дважды щёлкните по этому элементу и введите параметры **Er=3.38**, **H=0.305**, **T=0.018**, **Rho=0.7118**, **TanD=0.0027** и **ErNom=3.38**, нажмите **OK**.
18. Добавьте к схеме переменные. В **Tools>TXLine** можно определить, что четверть длины волны на 8 ГГц примерно 5.8 мм, а ширина проводника примерно 0.6 мм. Поэтому, щёлкая по значку **Equation** на панели инструментов, введите следующие переменные: **L1=5.8**, **L2=5.8**, **L3=5.8**, **W1=0.3**, **W2=0.4**, **W2=0.5**, **RS1=100**, **RS2=200** и **RS3=400**.
19. Дважды щёлкните по первому элементу **MCLIN** и введите параметры **W=W1**, **S=0.2** и **L=L1**. Аналогично для второго элемента **MCLIN** введите параметры **W=W2**, **S=0.2** и **L=L2**. Для третьего элемента **MCLIN** введите параметры **W=W3**, **S=0.2** и **L=L3**. Для четвертого элемента **MCLIN** введите параметры **W=0.6**, **S=0.2** и **L=2**. Для первого элемента **TFR** введите параметры

$W=0.2$, $L=0.2$ и $RS=RS1$. Для второго элемента TFR введите параметры $W=0.2$, $L=0.2$ и $RS=RS2$. Для третьего элемента TFR введите параметры $W=0.2$, $L=0.2$ и $RS=RS3$.

20. Щёлкните по значку **Tune Tool** и назначьте для настройки все введённые переменные. Должна получиться схема, показанная на рис. 8.34.

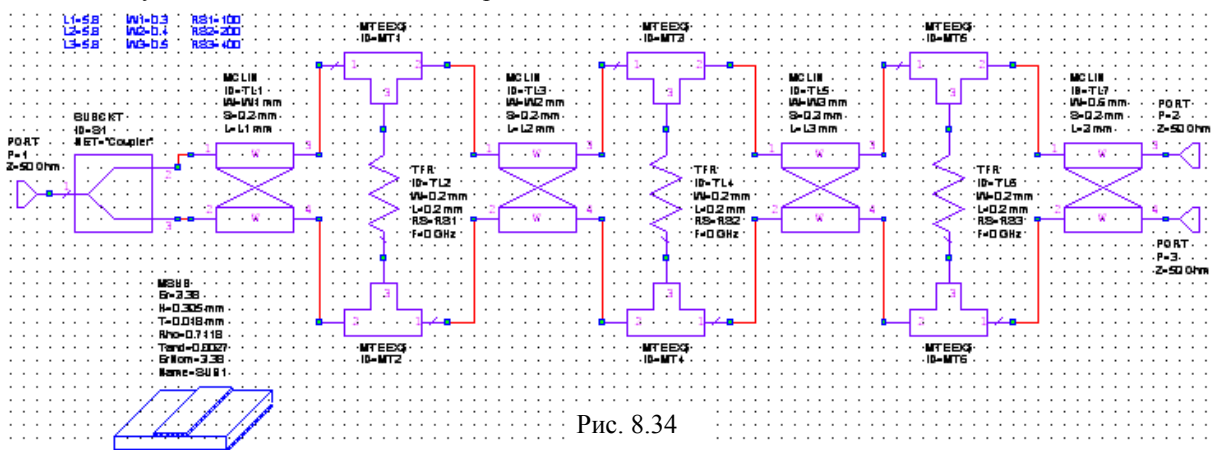


Рис. 8.34

Выполним анализ и настройку схемы.

Дважды щёлкните по **Project Options** и на вкладке **Frequencies** введите частоты от 3 до 13 ГГц с шагом 1 ГГц.

Щёлкните по значку **Add New Graph** на панели инструментов и создайте прямоугольный график с именем **LdB**.

Щёлкните по значку **Add New Measurement** на панели инструментов. В области **Measurement Type** отметьте **Port Parameters**, в области **Measurement** отметьте **S**, в поле **Data Source Name** введите **Divider**, в поле **To Port Index** введите 2, в поле **From Port Index** введите 1, отметьте **Mag** и **dB** и нажмите **Apply**. В поле **To Port Index** введите 3 и нажмите **Apply**. В поле **From Port Index** введите 2, нажмите **Apply** и **OK**.

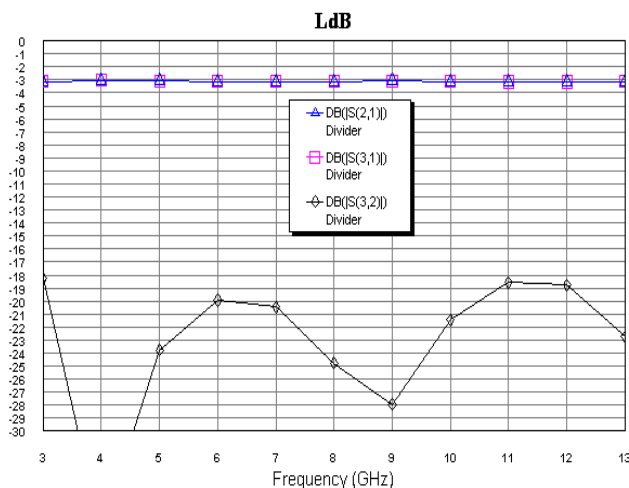


Рис. 8.35

Щёлкните по значку **Analyze** на панели инструментов. Полученный график показан на рис. 8.35.

Щёлкните по значку **Tune** на панели инструментов и выполните настройку схемы. Например, полученный график при значениях переменных, указанных на рис. 8.36, показан на рис. 8.37.

$L1=5.2$ $W1=0.3$ $RS1=100$
 $L2=4.9$ $W2=0.4$ $RS2=200$
 $L3=4.7$ $W3=0.5$ $RS3=400$

Рис. 8.36

Здесь размеры округлены с точностью до 0.05, чтобы для извлекаемых электромагнитных структур можно было использовать сетку с размером ячеек 0.05 мм.

Теперь подготовим схему для выполнения экстракции. В неё включим первые три элемента **MCLIN**. Т.к. эти элементы непосредственно друг с другом не связаны, потребуется три элемента **EXTRACT** с разными параметрами.

1. Сделайте активным окно схемы и откройте окно просмотра элементов.
2. В окне просмотра элементов щёлкните по группе **Simulation Control** и перетащите в схему элемент **EXTRACT**.
3. Дважды щёлкните по элементу **EXTRACT**, чтобы открыть окно свойств этого элемента.
4. На вкладке **Parameters** введите параметры
 $EM_DOC="CLIN1"$,
 $NAME="EM_EXTRACT1"$, $Simulator=EMSignit$,
 $X_Cell_Size=0.05$,
 $Y_Cell_Size=0.05$, $STACKUP="SUB1"$,

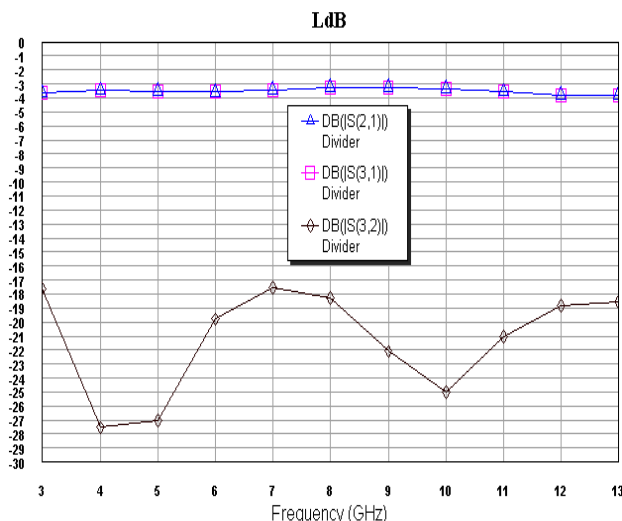


Рис. 8.37

Extension=0.5. Остальные параметры оставьте по умолчанию и нажмите **OK**. Скопируйте созданный элемент в буфер обмена.

- Вставьте скопированный элемент и измените имена извлекаемой структуры и группы на **EM_DOC="CLIN2"**, **NAME="EM_EXTRACT2"**.
- Вставьте ещё один скопированный элемент и измените имена на **EM_DOC="CLIN3"**, **NAME="EM_EXTRACT3"**.
- Дважды щёлкните по первому элементу **EXTRACT**. На вкладке **Model Options** в области **EM Extraction Options** отметьте **Enable** и в поле **Group name** введите **EM_Extract1**, нажмите **OK**.
- Аналогично сделайте активными второй и третий элементы **EXTRACT** и введите имена **EM_EXTRACT2** и **EM_EXTRACT3** соответственно.

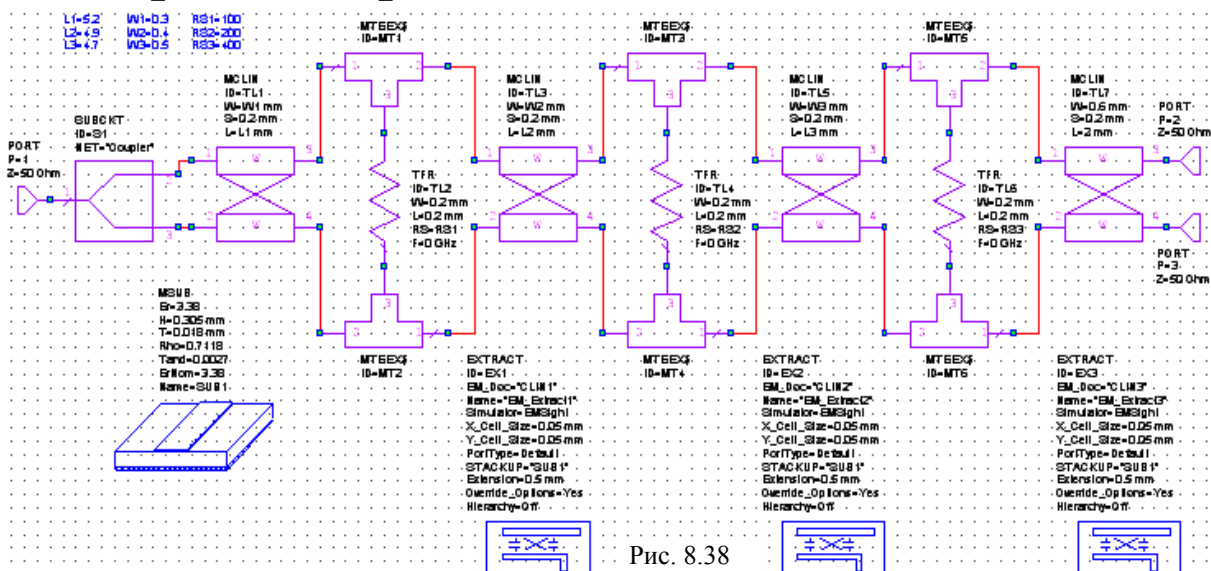


Рис. 8.38

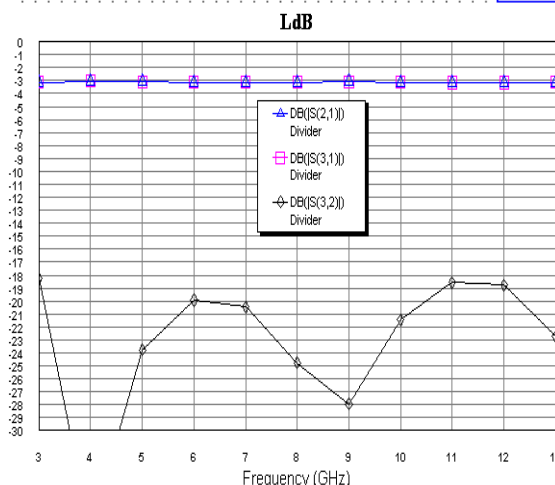


Рис. 8.39

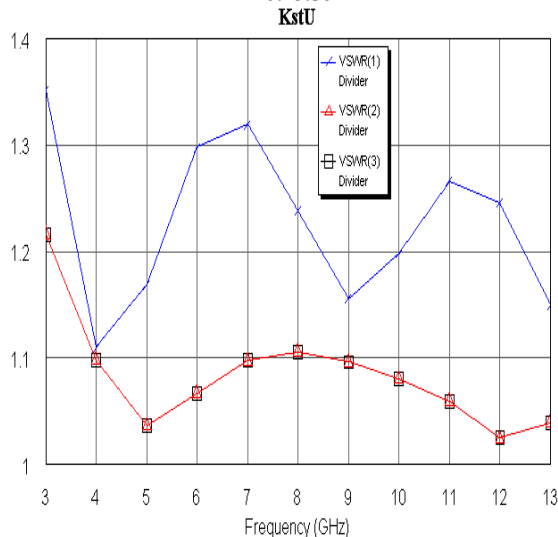


Рис. 8.40

Теперь схема готова к выполнению экстракции и должна выглядеть, как показано на рис. 8.38.

Чтобы просмотреть извлекаемые структуры, щёлкните правой кнопкой по первому элементу **EXTRACT** и выберите **Add Extraction**. Это же сделайте и с двумя другими элементами экстракции. В окне просмотра проекта в группе **EM Structures** появятся три электромагнитные структуры с именами **CLIN1**, **CLIN2** и **CLIN3**.

Откройте окно схемы и щёлкните по значку **Analyze** на панели инструментов. Полученный график показан на рис. 8.39.

Чтобы лучше видеть потери в плечах 2 и 3 делителя, создайте ещё один график с именем **LdBm** и добавьте к нему измеряемые величины **S21** и **S31** в **dB** для схемы **Divider**.

Чтобы просмотреть согласование по входу и выходам, создайте ещё один график с именем **KstU**. Добавьте к нему измеряемые величины **VSWR(1)**, **VSWR(2)** и **VSWR(3)**, выбрав тип измеряемой величины **Linear** и измеряемую величину **VSWR**. В поле **Port Index** введите **1**, в поле **Sweep Freq (FDOC)** введите **Use for x-axis**, не забудьте снять отметку в **Mag** и **dB**, нажмите **Apply**. Затем в поле **Port Index** введите **2** и нажмите **Apply**. В поле **Port Index** введите **3**, нажмите **Apply** и **OK**. Полученный график показан на рис. 8.40.

Щёлкнув по значку **Tune** на панели инструментов, можно выполнять настройку схемы. Поскольку при изменении значения любой переменной выполняется новый электромагнитный анализ, занимающий довольно продолжительное время, процедура ручной настройки для такой схемы не очень удобна.

Назначим переменные для оптимизации.

Откройте окно схемы. Щёлкните по переменной **L1=5.2** правой кнопкой мышки и выберите **Properties**. В открывшемся окне **Edit Equation** отметьте **Optimize** и

Constrain, в поле **Upper bound** введите верхний предел изменения переменной **6**, в поле **Lower bound** введите нижний предел изменения переменной **4.5**, нажмите **OK**. Для переменной **L2** установите пределы изменения **5.5** и **4.5**. Для переменной **L3** установите пределы изменения **5** и **4**.

Для переменной **W1** установите пределы изменения **0.35** и **0.25**. Для переменной **W2** установите пределы изменения **0.45** и **0.35**. Для переменной **W3** установите пределы изменения **0.55** и **0.45**.

Для переменной **RS1** установите пределы изменения **120** и **80**. Для переменной **RS2** установите пределы изменения **230** и **170**. Для переменной **RS3** установите пределы изменения **450** и **350**.

Теперь нужно добавить цели оптимизации.

Щёлкните правой кнопкой мышки по **Optimizer Goals** и выберите **Add Optimizer Goal**. Введите цель для потерь между плечами 1 и 2. В списке измеряемых величин отметьте **Divider:DB(|S2,1|)** в области **Goal Type** отметьте **Meas=Goal**. В поле **Start** введите **4**, сняв отметку в **Min**. В поле **Stop** введите **12**, сняв отметку в **Max**. В поле **Goal start** введите **-3.2** (с учётом некоторых потерь в проводниках). Нажмите **OK**.

Снова щёлкните правой кнопкой мышки по **Optimizer Goals** и выберите **Add Optimizer Goal**. Добавьте цель с такими же параметрами для измеряемой величины **Divider:DB(|S3,1|)**.

Добавьте цель для измеряемой величины **Divider:DB(|S3,2|)**, т.е. для развязки выходных плеч. В области **Goal Type** отметьте **Meas<Goal**. В поле **Goal start** введите **-17**. Диапазон в этой и всех следующих целях вводите всё тот же от 4 до 12 ГГц.

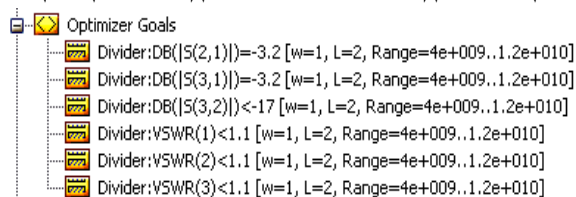


Рис. 8.41

Добавьте цель для согласования по входу, т.е. для измеряемой величины **Divider:VSWR(1)**. В области **Goal Type** отметьте **Meas<Goal**. В поле **Goal start** введите **1.1**.

Аналогично добавьте цели для согласования по выходам **Divider:VSWR(2)** и **Divider:VSWR(3)**.

Группа **Optimizer Goals** в окне просмотра

проекта будет выглядеть, как показано на рис. 8.41.

Откройте окно графика **KstU** и выберите в меню **Simulate>Optimize**. В открывшемся окне нажмите **Start**. Начнётся процесс оптимизации.

График **KstU** (рис. 8.42) и другие графики после выполнения оптимизации изменились мало. Произошла даже небольшая разбалансировка деления.

Откройте окно схемы **Divider**. Полученные после оптимизации параметры связанных линий и резисторов показаны на рис. 8.43.

L1=5.832	W1=0.303	RS1=89.36
L2=5.254	W2=0.3965	RS2=194.6
L3=4.654	W3=0.5179	RS3=377

Рис. 8.43

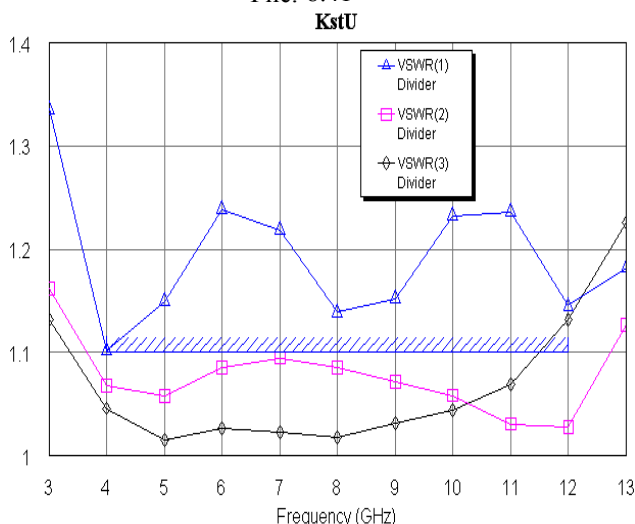


Рис. 8.42

Открывая окна извлечённых структур и измеряя размеры связанных линий, можете убедиться, что размеры топологии изменились в соответствии с изменением параметров элементов **MCLIN**. Заметим, что измерять нужно расстояние между референсными плоскостями, т.к. при экстракции отрезки от порта до референсной плоскости при экстракции добавляется к длине линии, указанной в свойствах элемента этой линии в схеме.

Выполненный вариант экстракции не является единственным и, видимо, не самым удачным.

Включим в экстракцию все элементы схемы разветвителя, кроме резисторов.

Удалите из схемы два последних элемента **EXTRACT** и все три извлечённых структуры **CLIN1**, **CLIN2** и **CLIN3**. Дважды щёлкните по оставшемуся элементу **EXTRACT** и на вкладке **Parameters** замените **EM_Dok="CLIN1"** на **Name="Div"** и **"EM_Extract1"** на **Name="EM_Extract"**.

Нажмите клавишу **Shift** и, щёлкая левой кнопкой мышки по всем элементам разветвителя (кроме последнего элемента **MCLIN**), выделите их. Дважды щёлкните по любому выделенному элементу или щёлкните правой кнопкой мышки по любому выделенному элементу и выберите **Properties**. В открывшемся окне на вкладке **Model Options** отметьте **Enable** и в поле **Group name** введите **EM_Extract**.

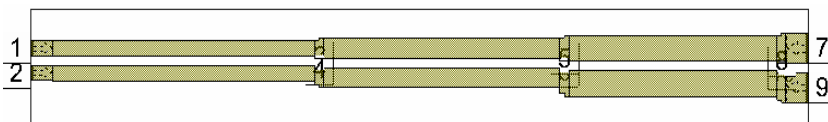


Рис. 8.44

Щёлкните правой кнопкой мышки по элементу **EXTRACT** и выберите **Add Extraction**. Извлечённая структура будет выглядеть, как показано на рис. 8.44.

Щёлкните по значку **Analyze** на панели инструментов. Полученные характеристики практически не отличаются от предыдущих.

L1=5.958 W1=0.295 RS1=80.67
L2=5.181 W2=0.3999 RS2=227.3
L3=4.437 W3=0.5252 RS3=378.2

Рис. 8.45

Выберите в меню **Simulate>Optimize** и нажмите **Start**.

В данном случае оптимизация изменила характеристики незначительно.

Полученные после оптимизации параметры связанных линий и резисторов показаны на рис. 8.45.

В экстракцию можно включить и резисторы.

Откройте окно схемы. Нажмите клавишу **Shift** и, щёлкая по элементам резисторов, выделите их. Щёлкните правой кнопкой мышки по любому выделенному элементу резистора и выберите **Properties**. На вкладке **Model Options** отметьте **Enable** и в поле **Group name** введите **EM_Extract**. Верните прежние значения переменным (рис. 8.36), чтобы они были кратными 0.05 мм.

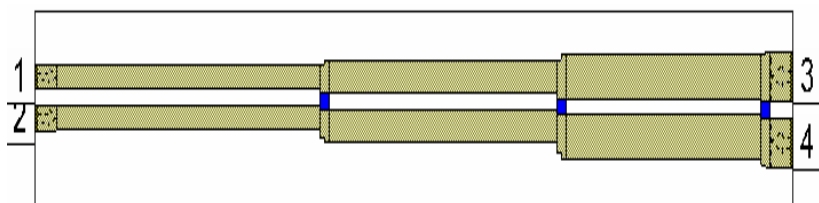


Рис. 8.46

Щёлкните правой кнопкой мышки по элементу **EXTRACT** и выберите **Add Extraction**. Извлечённая структура **Div** будет выглядеть, как показано на рис. 8.46. Однако анализировать её нельзя. При извлечении проводников им присваивается материал с идеальной проводимостью (**Perfect Con-**

ductor). Так было и во всех случаях, приведённых выше. Для резисторов присвоен неизвестный материал (**Material undefined**). В этом случае анализ будет выполняться так, будто резисторов нет, и результат будет неверным. Можно в извлечённой структуре добавить материал резисторов и отредактировать соответственно извлечённую структуру. Но в процессе анализа структура будет извлечена снова с прежними параметрами. К сожалению, в экстракции нет механизма для передачи извлекаемым структурам параметров материала проводников.

Однако извлечённую в этом варианте экстракции структуру можно использовать для создания электромагнитной структуры, не связанной со схемой, чтобы не рисовать её вручную.

Для создания такой структуры, откройте окно схемы, щёлкните по элементу **EXTRACT** правой кнопкой мышки и выберите **Toggle Enable**, чтобы отключить экстракцию.

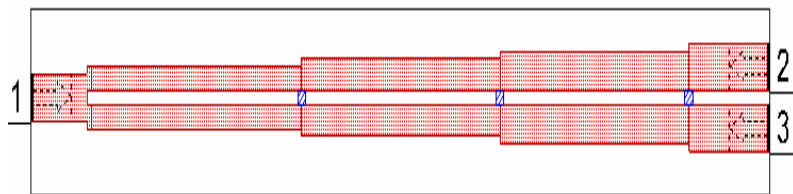


Рис. 8.47

Извлечённую структуру нужно отредактировать. Откройте окно структуры **Div**. Удалите все порты и примыкающие к ним отрезки линий до референсных плоскостей. Удалите топологические элементы, соответствующие элементам **MTEEXS**, расположенные над резисторами. Сдвиньте про-

водники так, чтобы между ними не было зазоров. Сдвиньте резисторы так, чтобы они располагались, как показано на рис. 8.47. Обратите внимание, что элементы **TFR** имеют небольшие контактные площадки, которые видны на структуре при большом увеличении элемента резистора. Передвигать резисторы нужно с этими площадками. Откройте окно структуры **Coupler**, выделите эту структуру и скопируйте её, щёлкнув по значку **Copy** на панели инструментов. Откройте окно структуры **Div**, вставьте скопированную структуру и подключите её ко входу делителя, как показано на рис. 8.47. Заметим, что сделать это удалось только после нескольких попыток. При щелчке по значку **Paste** на панели инструментов, вместо вставки скопированной структуры в окно, создавалась новая структура **Copper_1**, которую приходилось удалять и начинать копирование и вставку сначала. Возможно, процедура экстракции и работа с извлечёнными структурами ещё не доработана. На выходах делителя добавьте отрезки проводников длиной 1.0 мм и шириной 0.6 мм.

Измените размеры корпуса, чтобы вписать в него полученную структуру (**X_Dim=18.3**, **Y_Dim=2.4**).

На вкладке **Material Defs** свойств корпуса в области **Impedance Definitions** добавьте материалы **Res1**, **Res2** и **Res3** с сопротивлением на квадрат **100**, **200** и **400** Ом соответственно. На вкладке **Materials** в столбце **Name** добавьте **Res1**, **Res2** и **Res3** с материалами в столбце **Material De...** **Res1**, **Res2** и **Res3**.

Выделите всю топологию созданной структуры, щёлкните правой кнопкой мышки по любому выделенному элементу и выберите **Shape Properties**. В поле **EM Layer** введите **2**, в поле **Material** введите **Copper**, чтобы всем элементам, включая обкладки резисторов назначить материал медь.

Щёлкните по первому резистору левой кнопкой мышки и затем правой кнопкой. Выберите **Shape Properties** и в поле **Material** введите **Res1**. Аналогично для второго резистора назначьте материал **Res2** и для третьего резистора – материал **Res3**.

Щёлкните по значку **Analyze** на панели инструментов. Полученные графики показаны на рис. 8.48 и 8.49.

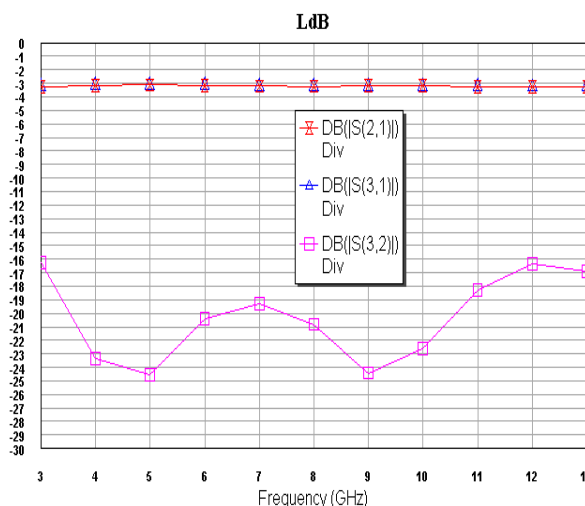


Рис. 8.48

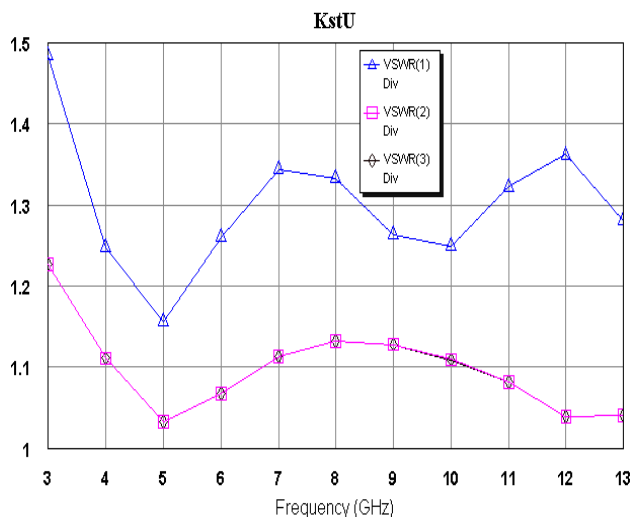


Рис. 8.49

8.2.2. Моделирование фильтра на короткозамкнутых шлейфах.

Требуется спроектировать полосовой фильтр на материале R03003 толщиной 0.254 мм на четвертьволновых короткозамкнутых шлейфах в диапазоне 5 – 11 ГГц.

С помощью инструмента **Tools>TXLine** определяем, что ширина полоски в МПЛ на средней частоте 8 ГГц примерно равна 0.6 мм и длина четвертьволнового отрезка – примерно 6 мм.

Используя эти данные, создадим предварительную схему с восемью шлейфами.

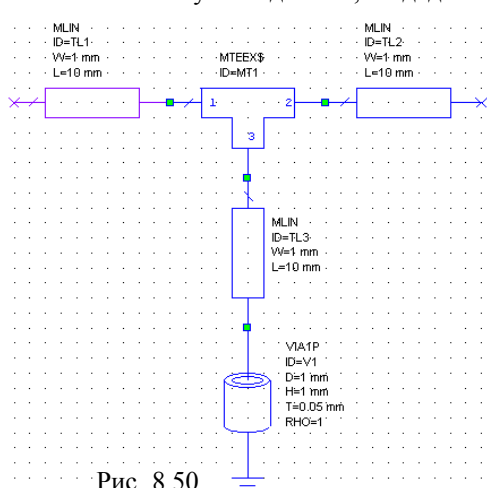


Рис. 8.50

на панели инструментов.

- Щёлкая по значку **Paste**, создайте схему с восемью резонаторами, как показано на рис. 8.51
- Добавьте к схеме элемент подложки **MSUB**. Дважды щёлкните по этому элементу и на вкладке **Parameters** введите $\epsilon_r=3.0$, $H=0.254$, $T=0.018$, $\tan\delta=0.0013$ и $\epsilon_r\text{Nom}=3.0$.

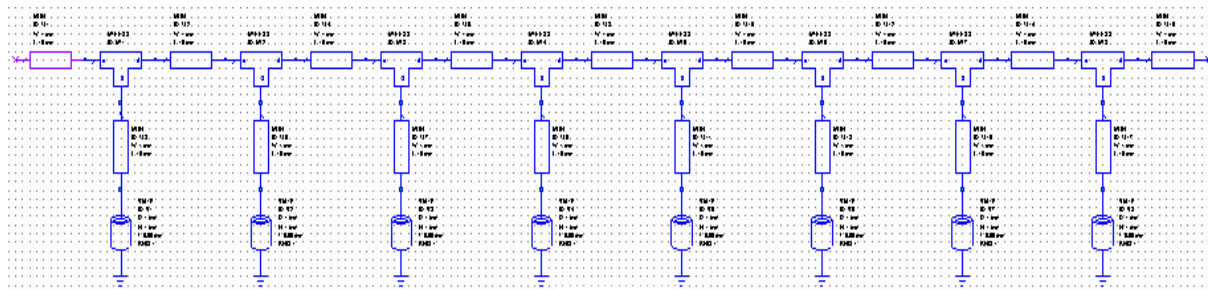


Рис.

- Добавьте к схеме переменные $W1=0.6$, $W2=0.6$, $W3=0.6$, $LS=6$, $LL1=6$, $LL2=6$, и $LL3=6$.
- Дважды щёлкните по первому элементу **MLIN** и введите параметры $W=0.6$ и $L=2$. Аналогичные параметры введите для последнего элемента **MLIN**.
- Дважды щёлкните по второму элементу **MLIN** и введите параметры $W=0.6$ и $L=LL1$. Аналогичные параметры введите для предпоследнего восьмого элемента **MLIN**.
- Дважды щёлкните по третьему элементу **MLIN** и введите параметры $W=0.6$ и $L=LL2$. Аналогичные параметры введите для седьмого элемента **MLIN**.
- Для всех остальных элементов **MLIN** введите параметры $W=0.6$ и $L=LL3$.

13. Для первого и последнего шлейфов введите параметры $W=W1$ и $L=LS$.
14. Для второго и предпоследнего шлейфов введите параметры $W=W2$ и $L=LS$.
15. Для всех остальных шлейфов введите параметры $W=W3$ и $L=LS$.
16. Для всех элементов **VIA1P** введите параметры $D=0.3$, $H=0.254$ и $T=0.017$.
17. Добавьте порты на входе и выходе схемы, щёлкая по значку **Port** на панели инструментов.

Часть созданной схемы показана на рис. 8.52

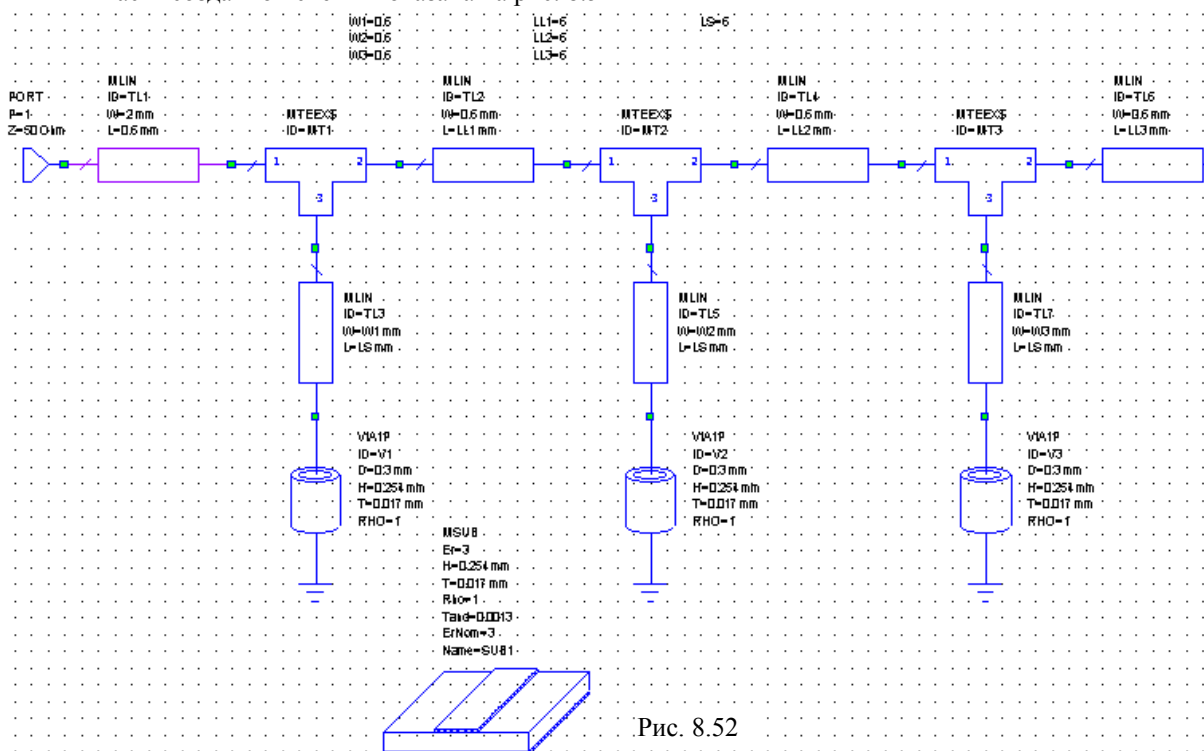


Рис. 8.52

Щёлкнув по значку **Add New Graph** на панели инструментов, создайте прямоугольный график с именем **LdB**. Щёлкните по имени графика в

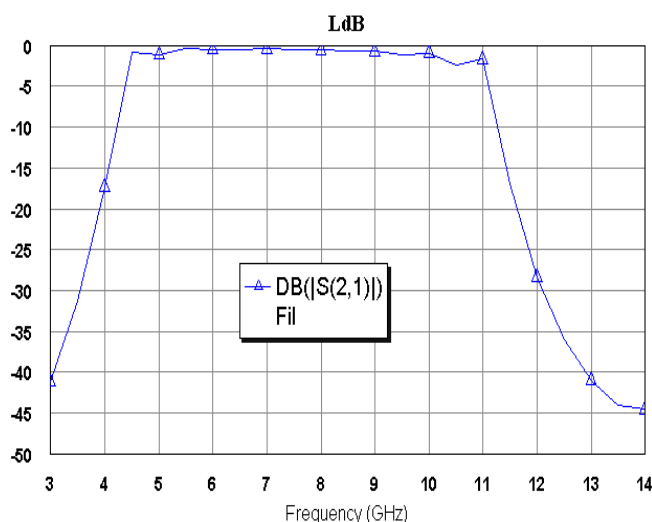


Рис. 8.53

окне просмотра проекта правой кнопкой мышки, выберите **Add Measurement** и добавьте единицу измерения **S21 в dB**.

Определите частоты для анализа от **3 до 14 ГГц** с шагом **0.5 мм**.

Щёлкните по значку **Analyze** на панели инструментов. Полученный график показан на рис. 8.53

Теперь подготовьте схему к экстракции.

1. Добавьте к схеме элемент **STACKUP**. Дважды щёлкните по этому элементу. На вкладке **Material Defs** в области **Dielectric Definitions** добавьте слой **Diel_1** с параметрами **Er=3** и **TanD=0.0013**. На вкладке **Dielectric Layers** для слоя **1** введите толщину **4**. Добавьте слой **2** с **Thickness=0.254** и **Material De...=Diel_1**. На вкладке **Materials** добавьте слой с именем **Copper** толщиной **0.0017** и материалом **Copper**. Нажмите **OK**.
2. Добавьте в схему элемент **EXTRACT**. Дважды щёлкните по этому элементу и на вкладке **Parameters** введите **EM_Doc="F5_11"**, **Simulator=EMSignet**, **X_Cell_Size=0.1**, **Y_Cell_Size=0.1**, **Extension=0.5**. Остальные параметры оставьте по умолчанию и нажмите **OK**.
3. Выделите все элементы схемы. Дважды щёлкните по любому выделенному элементу схемы и на вкладке **Model Options** отметьте **Enable**, нажмите **OK**.
4. Щёлкните по значку **View Layout** на панели инструментов, чтобы открыть окно топологии схемы. Если соединения элементов в топологии отображаются неверно, выделите все элементы топологии схемы и щёлкните по значку **Snap Together** на панели инструментов, чтобы исправить отображение топологии.

- Откройте окно схемы, щёлкните правой кнопкой мышки по элементу **EXTRACT** и выберите **Add Extraction**, чтобы просмотреть извлечённую электромагнитную структуру. Она должна выглядеть, как показано на рис. 8.54.

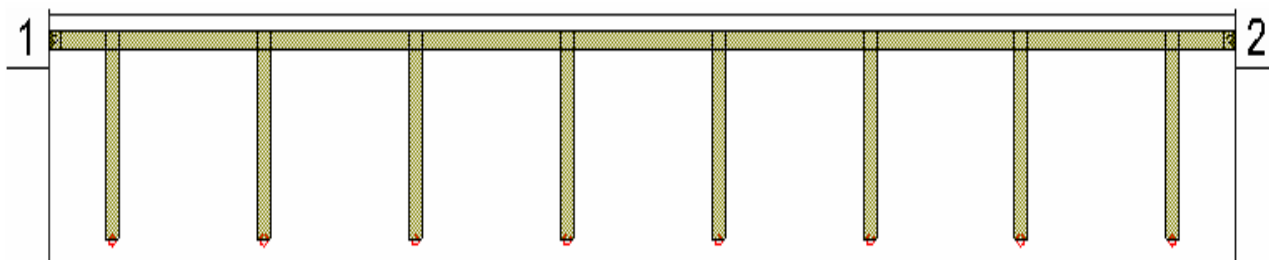


Рис. 8.54

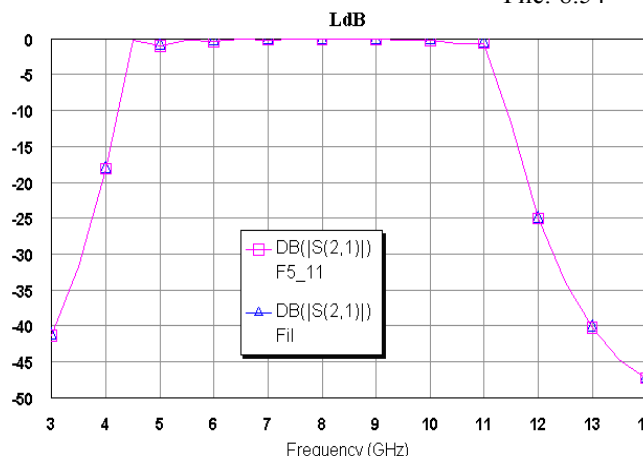


Рис. 8.55

Щёлкните по значку **Analyze** на панели инструментов. Полученный график показан на рис. 8.55.

Подготовьте переменные к оптимизации. Выберите в меню **View>Variable Browser**. В открывшемся окне со списком переменных найдите строки с переменными, добавленными в схему **LL1**, **LL2**, **LL3**, **W1**, **W2**, **W3** и **LS**. Для всех этих переменных отметьте столбцы **Optimize** и **Constrained**. Для переменных **LL1**, **LL2**, **LL3** и **LS** введите пределы изменения значений **Upper=6.2** и **Lower=5.5**. Для переменных **W1**, **W2** и **W3** введите **Upper=1** и **Lower=0.3**. Окно будет выглядеть, как показано на рис. 8.56. Закройте окно.

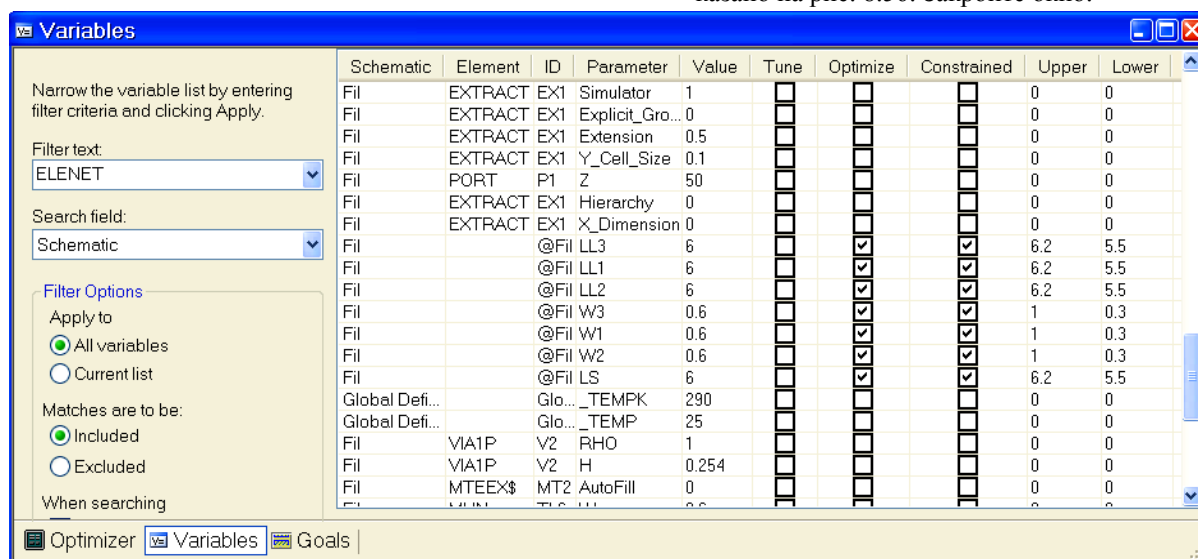


Рис. 8.56

Добавьте цели оптимизации. В начале добавьте цель оптимизации в полосу пропускания. Щёлкните правой кнопкой мышки по **Optimizer Goals** в окне просмотра проекта и выберите **Add Optimizer Goal**. В списке **Measurement** отметьте **Fil:DB(|S(2,1)|)**, отметьте **Meas>Goal**, снимите отметку в **Min** и в поле **Start** введите **5**, снимите отметку в **Max** и в поле **Stop** введите **11**, в поле **Goal start** введите **-0.2**. Нажмите **OK**.

Теперь введите цели оптимизации в полосах заграждения. Щёлкните правой кнопкой мышки по **Optimizer Goals** в окне просмотра проекта и выберите **Add Optimizer Goal**. В списке **Measurement** отметьте **Fil:DB(|S(2,1)|)**, отметьте **Meas<Goal**, снимите отметку в **Max** и в поле **Stop** введите **4**, в поле **Goal start** введите **-25**. Нажмите **OK**.

Снова щёлкните правой кнопкой мышки по **Optimizer Goals** в окне просмотра проекта и выберите **Add Optimizer Goal**. В списке **Measurement** отметьте **Fil:DB(|S(2,1)|)**, отметьте **Meas<Goal**, снимите отметку в **Min** и в поле **Start** введите **12**, в поле **Goal start** введите **-25**. Нажмите **OK**.

W1=0.6683 LL1=6.193 LS=5.882
W2=0.6572 LL2=6
W3=0.7247 LL3=5.802

Рис. 8.57

Выберите в меню **Simulate>Optimize**. Нажмите **Start** в открывшемся окне.

Полученные после оптимизации значения переменных показаны на рис. 8.57.

Создайте график **VSWR** и, щёлкнув правой кнопкой по графику и выбрав **Properties**, измените свойства графика так, чтобы удобнее наблюдать характеристику согласования в полосе пропускания.

Полученные после оптимизации характеристики показаны на рис. 8.58 и 8.59.

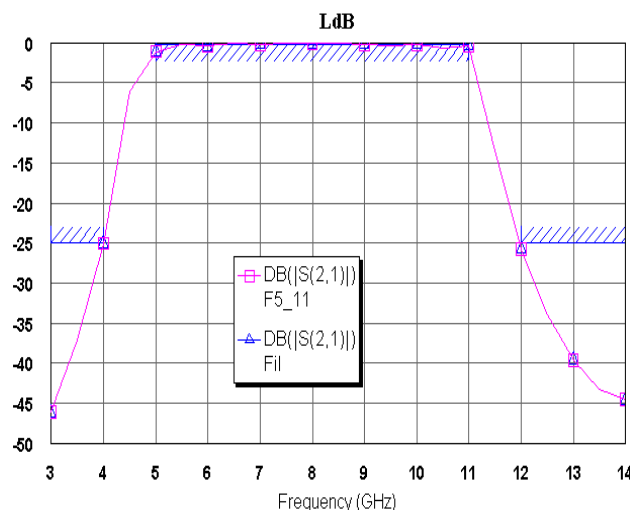


Рис. 8.58

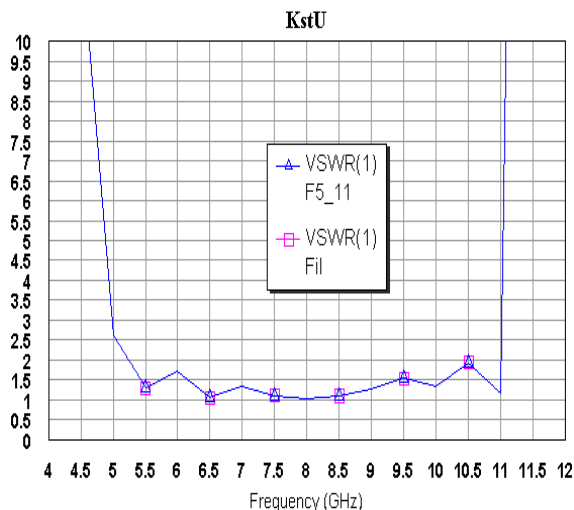


Рис. 8.59

Согласование в полосе пропускания можно ещё улучшить. Можно попытаться выполнить ещё новую оптимизацию, выбрав другой метод оптимизации. Можно попробовать подстроить, используя инструмент настройки. Для этого при открытом окне схемы щёлкните по значку **Tune Tool** на панели инструментов и назначьте для настройки все переменные в схеме. Выполнять настройку не очень удобно, т.к. смещение любого движка на инструменте настройки приводит к новому анализу, который длится довольно долго, т.к. выполняется электромагнитный анализ.

Можно изменять параметры и вручную. В этом случае нельзя редактировать извлечённую структуру, т.к. извлечённая структура определяется параметрами элементов схемы и при новом анализе будет извлечена прежняя структура. Нужно изменять параметры элементов в схеме, параметры структуры будут изменены автоматически в процессе экстракции.

W1=0.4 LL1=6.1
W2=0.6 LL2=5.6 LS=5.9
W3=0.8 LL3=5.5

Рис. 8.60

При значениях параметров, показанных на рис. 8.60, расчётные характеристики имеют вид рис. 8.61 и 8.62.

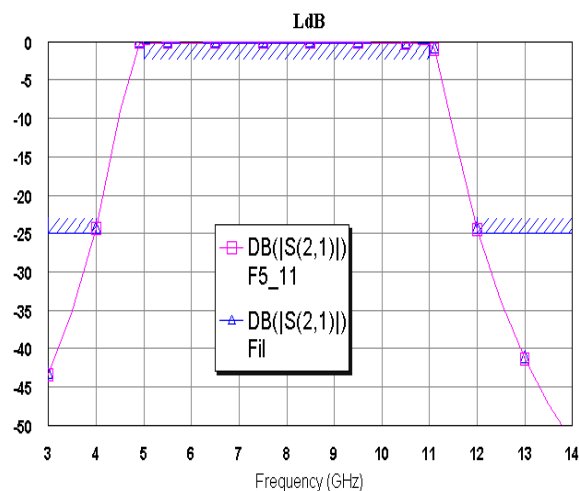


Рис. 8.61

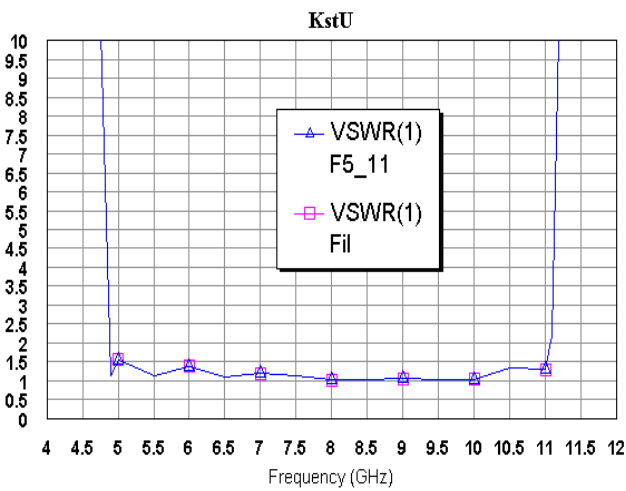


Рис. 8.62