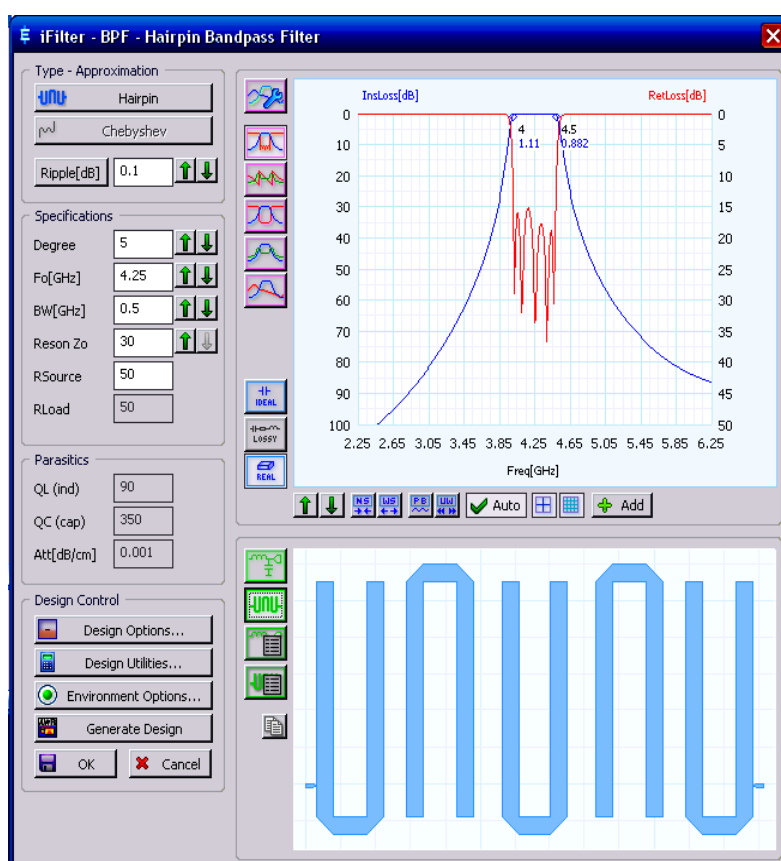


# Проектирование фильтров в Microwave Office с помощью iFilter



2010 г.

# Оглавление

Оглавление.....	1
1. Интерфейс пользователя .....	2
1.1. Type – Approximation (Тип – Аппроксимация).....	2
1.1.1. Выбор типа фильтра.....	2
1.1.2. Выбор типа характеристики.....	3
1.2. Specifications (Технические требования).....	4
1.3. Parasitics (Паразитные элементы).....	4
1.4. Design Control (Управление проектом).....	4
1.4.1. Design Options (Опции проекта).....	4
1.4.2. Design Utilities (Утилиты проекта).....	7
1.4.3. Environment Options (Опции среды).....	9
1.4.4. Generate Design (Генерировать проект).....	9
1.5. Редактирование свойств графика.....	10
1.6. Отображение результатов синтеза.....	12
2. Примеры синтеза.....	13
2.1. Синтез фильтров на сосредоточенных элементах.....	13
2.1.1. Полосно-пропускающий фильтр.....	13
2.1.2. Фильтр нижних частот.....	17
2.2. Синтез микрополосковых фильтров.....	18
2.2.1. Фильтр нижних частот с частотой среза 2 ГГц.....	18
2.2.2. Фильтр нижних частот с частотой среза 10 ГГц.....	22
2.2.3. Полосно-пропускающий фильтр с боковыми связями 3 – 3.1 ГГц.....	25
2.2.4. Полосно-пропускающий фильтр со ступенчатыми резонаторами 1.9–2.1 ГГц.....	30
2.2.5. Полосно-пропускающий шпилечный фильтр 4 – 4.5 ГГц.....	35
2.2.6. Полосно-пропускающий встречноштыревой фильтр 11 – 14.5 ГГц.....	39
2.2.6. Полосно-пропускающий фильтр на параллельных шлейфах 4 – 8 ГГц.....	43
2.2.7. Полосно-заграждающий фильтр на параллельных шлейфах.....	46
2.2.8. Полосно-пропускающий фильтр с боковыми связями 14 – 18 ГГц.....	48

iFilter – это программа синтеза фильтров, которая выполняется в AWRDE. Синтез фильтров базируется на известном методе использования фильтров-прототипов нижних частот. iFilter позволяет синтезировать фильтры на сосредоточенных и на распределённых элементах. Основное внимание в этом пособии уделено микрополосковым фильтрам. Использовалась AWR v9\_04\_4969\_2.

Е.Е. Дмитриев

## 1. Интерфейс пользователя

iFilter отображается в окне просмотра проекта в группе Wizards, если она установлена и имеется соответствующий файл лицензии.

Чтобы запустить iFilter, разверните группу **Wizards** и дважды щёлкните по **iFilter Filter Wizard**. Или щёлкните правой кнопкой по **iFilter Filter Wizard** и выберите **RUN**. Откроется основное окно программы рис. 1.1.

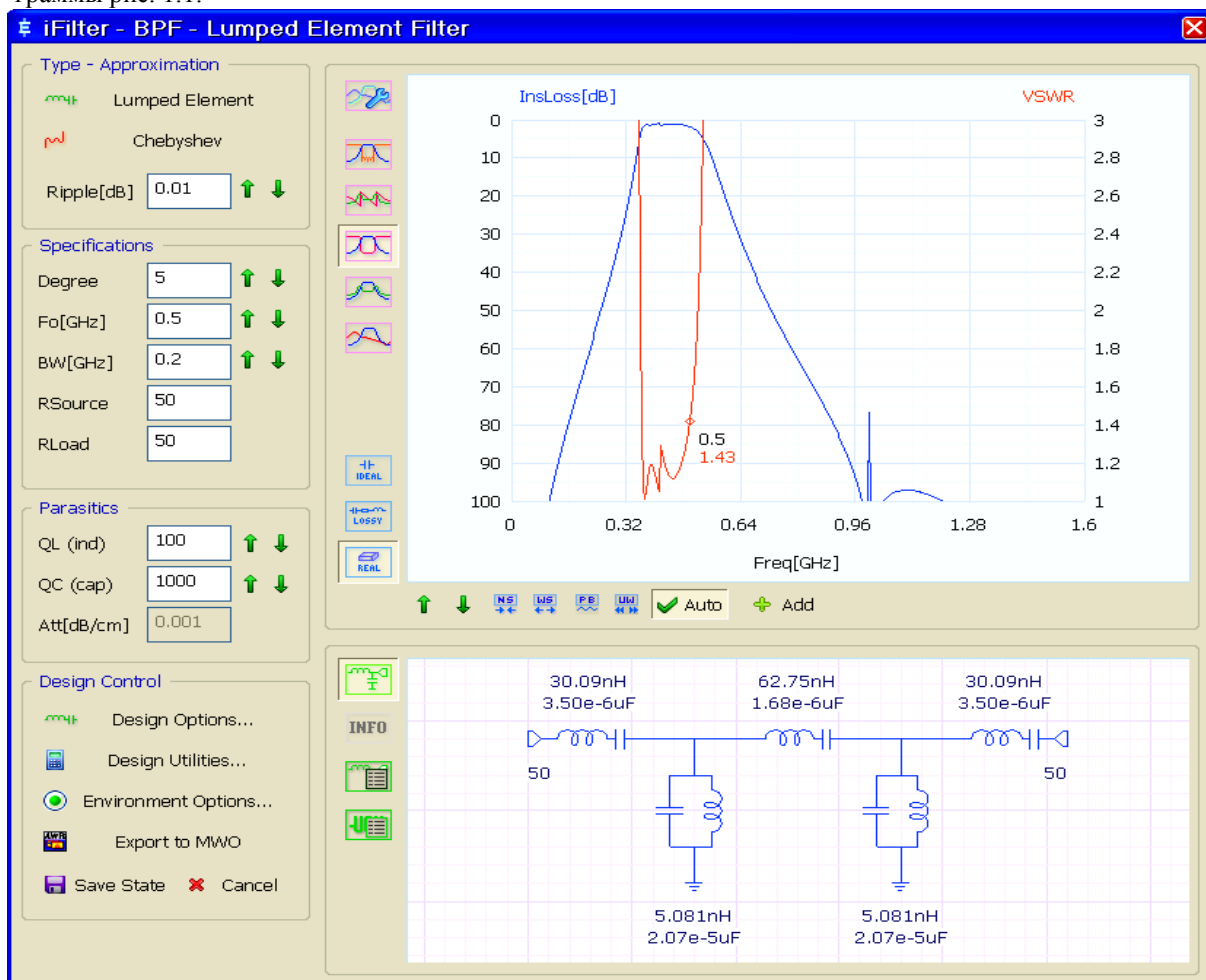


Рис. 1.1

В этом окне имеется несколько областей, описанных далее.

При загрузке программы в основном окне отображаются данные, которые в нём были установлены при выполнении предыдущего синтеза фильтра в этой программе.

### 1.1. Type – Approximation (Тип – Аппроксимация).

В этой области находятся опции для выбора типа фильтра (на сосредоточенных или распределённых элементах), типа характеристики и установки пульсаций в полосе пропускания.

#### 1.1.1. Выбор типа фильтра.

Для выбора типа фильтра щёлкните по верхней кнопке в области **Type – Approximation**. На рис. 1.1 это кнопка **Lumped Element**. Имя кнопки зависит от выбранного типа фильтра. Щелчок по этой кнопке открывает окно **Select Filter Type** рис. 1.2.

В верхней части этого окна расположена панель **Passband**, которая содержит следующие кнопки, определяющие тип синтезируемого фильтра:



**Lowpass** – фильтр нижних частот.

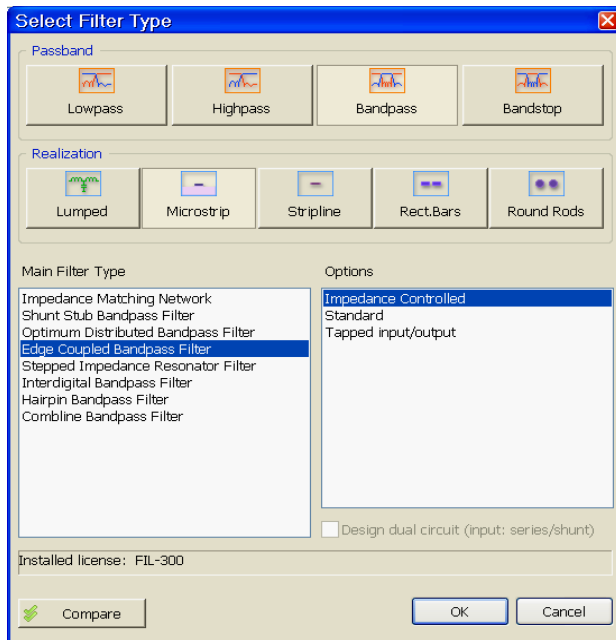


Рис. 1.2

о окна со списками. Левое окно **Main Filter Type** содержит список возможных вариантов реализации фильтра в зависимости от выбранного типа фильтра и способа реализации.

Правое окно **Options** содержит список некоторых уточнений к выбранному варианту реализации, например, тип связи и др.

Если отметить **Design dual circuit (input: series/shunt)**, будет синтезироваться фильтр, дуальный к выбранному установкам. Эта опция работает в том случае, если дуальный тип фильтра возможен. Например, если выбрано **Lowpass** и **Lumped** и отмечено **Design dual circuit (input: series/shunt)**, то схема фильтра будет начинаться с параллельной ёмкости, а не с последовательной индуктивности, если сопротивления источника и нагрузки равны. Если эти сопротивления определены иначе, возможный вариант схемы будет выбран автоматически, независимо от установки данного флажка.

### 1.1.2. Выбор типа характеристики.

Для выбора типа характеристики щёлкните по второй кнопке сверху в области **Type** –

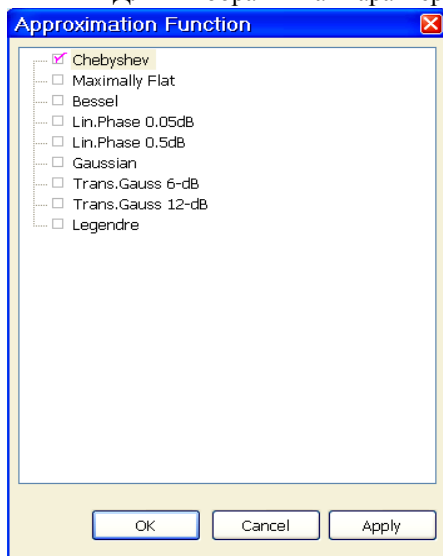


Рис. 1.3

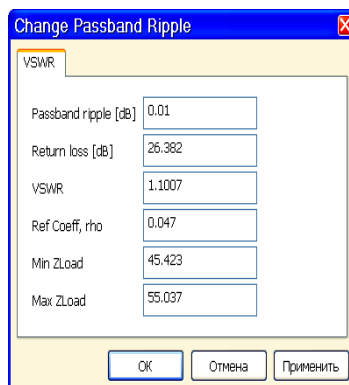




Рис. 1.4


Это поле доступно только для характеристик фильтров, имеющих пульсации в полосе пропускания.

Если щёлкнуть по кнопке **Ripple[dB]**, открывается окно рис. 1.4, в котором можно ввести величину пульсаций не только в прямом ослаблении, но и в возвратных потерях, VSWR или в коэффициенте ослабления. Все эти параметры взаимно связаны. При изменении одного из них, изменяются и остальные. Значения **Min ZLoad** и **Max ZLoad** только для информации. Они показывают, при каких отклонениях сопротивления нагрузки от 50 Ом значение VSWR сохраняется.


Возможный порядок фильтра (**Degree**) зависит от выбранного типа фильтра и его реализации. Например, для полосно-пропускающего фильтра с характеристикой **Chebyshev** порядок фильтра может быть в пределах 1 – 50, если выбран фильтр на сосредоточенных элементах (**Lumped**), и в пределах 3 – 15, если выбран фильтр на микрополоске с боковыми связями (**Edge Coupled Bandpass Filter**).


 **Highpass** – фильтр верхних частот.


 **Bandpass** – полосно-пропускающий фильтр.


 **Bandstop** – полосно-заграждающий фильтр.


Ниже расположена панель **Realization**, кнопки на которой определяют способ реализации фильтра:

 **Lumped** – фильтр на сосредоточенных элементах.

 **Microstrip** – фильтр на микрополосковой линии.

 **Stripline** – фильтр на симметричной полосковой линии.

 **Rect. Bars** – фильтр на прямоугольных стержнях.



 **Round Rods** – фильтр на круглых стержнях.

Ниже указанных панелей находятся два

**Approximation**. На рис. 1.1 это кнопка **Chebyshev**. Имя кнопки зависит от выбранного типа характеристики. Щелчок по этой кнопке открывает окно **Approximation Function** рис. 1.3.

Доступные типы характеристики зависят от выбранного типа и способа реализации фильтра. Выбрав тип характеристики, нажмите **Apply** и **OK**.

В поле ввода **Ripple[dB]** в области **Type – Approximation** (см. рис. 1.1) вводится величина пульсаций в полосе пропускания. Нужное значение для пульсаций можно ввести с клавиатуры или щёлкая по кнопкам со стрелками

  справа от этого поля ввода.

## 1.2. Specifications (Технические требования).

В этой области определяются необходимые исходные параметры для синтезируемого фильтра. В зависимости от выбранного типа фильтра и его реализации список доступных параметров изменяется. В списке могут быть следующие параметры:

**Degree** – порядок фильтра-прототипа нижних частот.

**Fp** – частота отсечки для фильтров ФНЧ и ФВЧ.

**F0** – центральная частота для полосно-пропускающих и полосно-заграждающих фильтров. Границы полосы пропускания определяются как  $F_0 - BW/2$  и  $F_0 + BW/2$ . Эти границы определяются по заданному уровню пульсаций для Чебышевских фильтров и по уровню 3 дБ для других фильтров.

**BW** – ширина полосы пропускания для полосно-пропускающих фильтров и ширина полосы заграждения для полосно-заграждающих фильтров.

**RSource** – сопротивление источника.

**RLoad** – сопротивление нагрузки.

**Stopb.IL** – уровень потерь заграждения для эллиптического фильтра.


**Low Z0** – желательное сопротивление для низкоомных отрезков линий в фильтрах ФНЧ.

**High Z0** – желательное сопротивление для высокоомных отрезков линий в фильтрах ФНЧ.

**Lshunt** – желательная параллельная индуктивность в резонаторах полосовых фильтров с емкостной связью резонаторов.

**TLIN Z0** – полное сопротивление отрезков линии передачи для фильтров на резонаторах со ступенчатым импедансом (Stepped Impedance Resonator – SIR).

**Image Z0** – желательный уровень полного сопротивления фильтров с боковой связью.

Изменять эти параметры можно щёлкая по кнопкам  справа, или ввести нужное значение в поле ввода и нажать клавишу **Enter**, или щёлкнуть мышкой в нужном поле ввода параметра и вращать колёсико мышки.

## 1.3. Parasitics (Паразитные элементы).

В этой области определяются параметры, которые влияют на потери в фильтрах. Здесь доступны только три параметра. Для сосредоточенных элементов это добротности индуктивностей и емкостей (**QL** и **QC**), для отрезков линий – потери на единицу длины линии **Att[dB/cm]**. Дополнительные параметры можно определить в опциях проекта (**Design Options**) на вкладке **Parasitics**.

## 1.4. Design Control (Управление проектом).

В этой области устанавливается ряд опций, действующих в проекте и описанных далее.

### 1.4.1. Design Options (Опции проекта).

Здесь устанавливается ряд опций проекта в зависимости от типа и способа реализации фильтра. Обратите внимание, что в левом краю этой кнопки отображается значок, показывающий способ реализации фильтра, на сосредоточенных или распределённых элементах.

#### Фильтры на распределённых параметрах.

Если фильтр на распределённых элементах, открывается окно **Distributed Model Options** рис. 1.5, в котором имеется несколько вкладок. Перечисленные на вкладках опции могут быть доступны или не доступны в зависимости от типа синтезируемого фильтра.

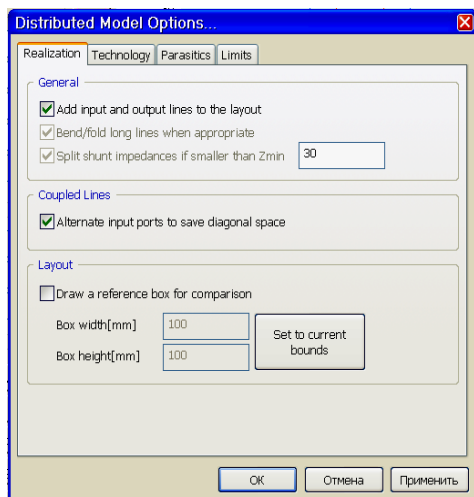


Рис. 1.5

На вкладке **Realization** имеются следующие опции:

В области **General** (Общие):

- **Add input and output lines to the layout** – добавляет отрезки линий на входе и выходе в топологии.
- **Bend/fold long lines when appropriate** – изгибает/свёртывает линии, если возможно.
- **Split shunt impedances if smaller than Zmin**. Действует для фильтров на шлейфах. Если эта опция отмечена, то шлейфы с сопротивлением, ниже указанного (30 Ом на рис. 1.5), заменяются двумя параллельными шлейфами с большим сопротивлением. Это позволяет избежать слишком широких шлейфов.

В области **Coupled Lines** (Связанные линии):

- **Alternate input ports to save diagonal space.** Эта опция влияет на топологию фильтров со ступенчатыми резонаторами (**Stepped Impedance Resonator Filter**). Если она включена, порты располагаются на одной линии, в противном случае – по диагонали.

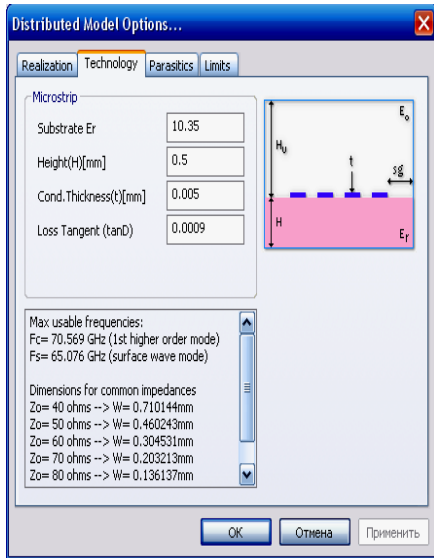


Рис. 1.6

В области **Layout** (Топология):

- **Draw a reference box for comparison.** Если эта опция отмечена, в отображении топологии в нижней правой части основного окна будет показан прямоугольник с введёнными размерами ширины и длины. Размеры прямоугольника выбираются такими, чтобы в нём разместилась топология. Щелчок по кнопке **Set to current bounds** устанавливает текущие размеры

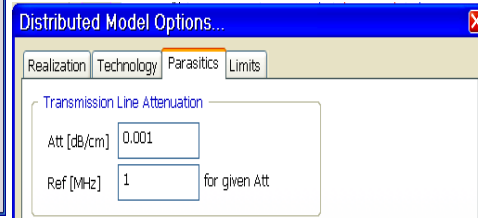


Рис. 1.7

прямоугольника. Таким образом можно оценить необходимые размеры корпуса для фильтра. На синтез и анализ этот прямо-

угольник никак не

влияет и его размеры в MWO не передаются.

На вкладке **Technology** устанавливаются параметры линии передачи. На рис. 1.6 показан пример для микрополосковой линии. Здесь устанавливаются диэлектрическая проницаемость подложки **Substrate Er**, толщина проводника **Cond. Thickness(t)[mm]**, толщина подложки **Height(H)[mm]** и тангенс потерь **Loss Tangent (tanD)**. Щёлкнув мышкой в поле **Substrate Er** и вращая колёсико мышки, вы можете устанавливать значения **Er** для популярных материалов из внутренней базы. Аналогично можно устанавливать и толщину подложки.

В нижней части окна приводится некоторая справочная информация.

На вкладке **Parasitics** (рис. 1.7) вводятся потери в линии **Att [dB/cm]** на заданной частоте **Ref [MHz]**. Частотная зависимость потерь от частоты предполагается линейной.

На вкладке **Limits** (рис. 1.8) указываются предельные размеры отрезков линий.

В области **Printed Structures** указываются минимальная ширина **Min Width[mm]** и минимальный зазор **Min Spacing[mm]** для печатного изготовления плат. При щелчке по кнопке **Load Selected Limits** эти значения устанавливаются по умолчанию для материала, выбранного в списке ниже.

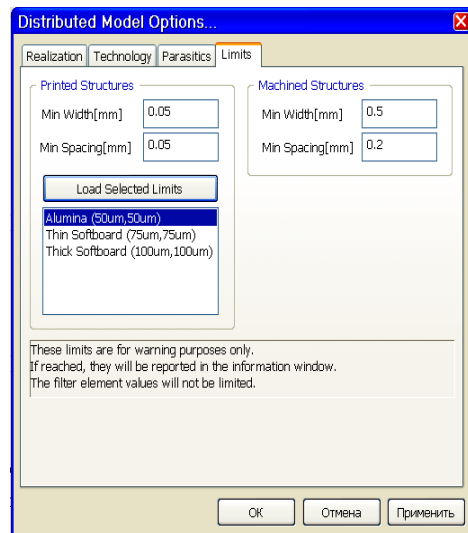


Рис. 1.8

В области **Machined Structures** указываются те же значения для обработки на станке.

В нижней части окна отображается поясняющая информация. На рис. 1.8 она поясняет, что эти пределы только для вывода предупреждений. Если установленный предел будет достигнут, то будет выведено предупреждение в окне информации. Параметры элементов фильтра ограничиваться не будет.

### Фильтры на сосредоточенных элементах.

Если фильтр на сосредоточенных элементах, открывается окно **Lumped Model Options** рис. 1.9.

В этом окне на вкладке **Realization** имеются два списка: **Inductors** (Индуктивности) и **Capacitors** (Конденсаторы). В этих списках содержатся диапазоны значений индуктивностей и емкостей, которые могут использоваться в схемах.

iFilter может заменять идеальные элементы схемы реальными элементами. Например, в списке **Inductors** отметьте диапазон индуктивностей **0 – 1 nH**. Справа от этого списка имеется переключатель возможных способов реализации индуктивности.

Если отмечено **INDQ/INDQP**, при анализе будет использоваться модель **INDQ** или **INDQP**.

Модель **INDQ** предполагает индуктивность с потерями. Модель **INDQP** кроме того учитывает собственную резонансную частоту **SRF**.

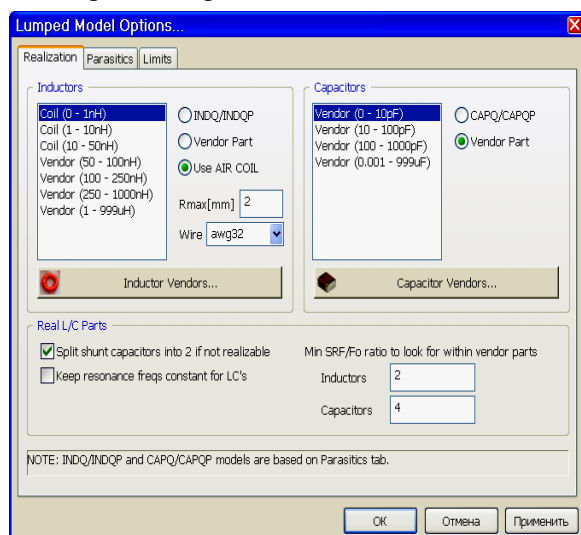


Рис. 1.9

Если отмечено **Use AIR COIL**, будет использоваться витая воздушная катушка. В этом случае вы должны определить максимальный радиус витка **Rmax[mm]** и тип провода **Wire**. iFilter будет искать катушку с максимальным радиусом и минимальным числом витков для требуемого значения индуктивности из выбранного диапазона значений.

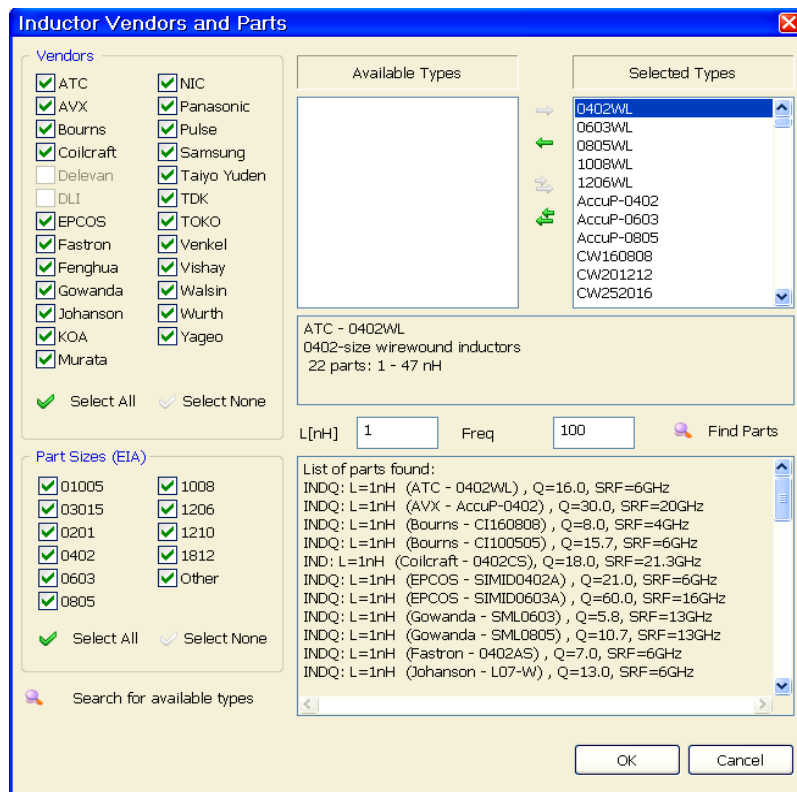


Рис. 1.10

Если в поле **L[nH]** ввести значение индуктивности, в поле **Freq** ввести частоту и щёлкнуть по **Find Parts**, то в списке ниже будут отображены все найденные индуктивности, которые могут работать на этой частоте.

Аналогичные операции можно выполнять и с элементами конденсаторов в области **Capacitors** окна рис. 1.9.

При использовании элементов поставщиков в их списках не всегда можно найти рассчитанные значения для всех L и C. Для подобных случаев в iFilter имеется две опции. Если в окне рис. 1.9 в области **Real L/C Parts** отметить **Split shunt capacitors into 2 if not realizable**, то iFilter будет автоматически искать пару конденсаторов, которые при параллельном соединении дадут требуемое значение ёмкости. Например, если нет конденсатора ёмкостью 3.7 pF, может быть найдена пара конденсаторов с ёмкостями 1 pF и 2.7 pF, которые при параллельном соединении дадут требуемую ёмкость 3.7 pF.

Если имеется LC резонатор и мы используем модели поставщиков, то можем не найти требуемых значений. В таком случае можно использовать вторую опцию **Keep resonance frequencies constant for LC's**. Допустим, мы получили необходимые значения  $L=1\text{nH}$ ,  $C=3.8\text{pF}$ . Резонансная частота этого LC резонатора – 2.581 GHz. Самое близкое стандартное значение ёмкости конденсатора – 3.9pF. Т.к. резонансная частота не должна измениться, мы можем не включать опцию **Split shunt capacitors into 2 if not realizable** и включить опцию **Keep resonance frequencies constant for LC's**.

В этом случае будет выбрано  $C=3.9\text{pF}$  и  $L=1.026\text{nH}$ .

В поле **Min SRF/F0 ratio to look for** вводится необходимое минимальное отношение собственной резонансной частоты элементов к средней частоте полосы пропускания фильтра. По умолчанию это отношение равно трём.

На вкладке **Parasitics** окна **Lumped Model Options** (рис. 1.11) определяются опции, влияющие на учёт потерь в фильтрах.

В области **Inductor and Capacitor Losses** в поля **QL** и **QC** вводятся значения добротностей индуктивности и ёмкости. Эти параметры можно определить двумя способами: простым и усовершенствованным. При

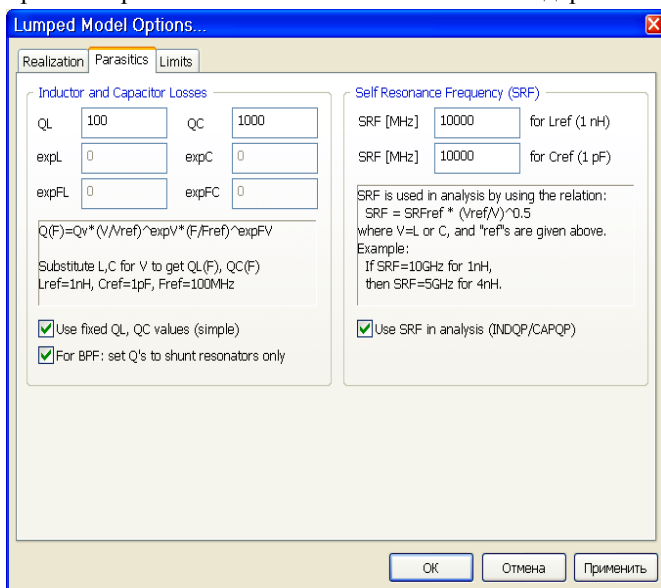


Рис. 1.11

простом способе значения  $Q$  считаются постоянными и независимыми от частоты. Чтобы определить простой способ, отметьте **Use fixed QL, QC vales (simple)**. В этом способе **QL** назначается всем индуктивностям, как отдельным, так и входящим в состав LC резонаторов. Аналогично **QC** назначается всем конденсаторам. Единственное исключение для полосовых фильтров, для которых можно назначить эти значения только для параллельных резонаторов, отметив **For BPF: set Q's to shunt resonators only**.

Чтобы установить усовершенствованный способ определения добротностей, снимите отметку **Use fixed QL, QC vales (simple)**.

Ниже полей для ввода добротностей приведена формула, по которой рассчитываются усовершенствованные значения добротностей и замечание, что вместо  $V$  подставляются  $L$  или  $C$  для определения **QL** или **QC**.

В этом способе можно определить зависимость добротности от значений индуктивности или ёмкости и от частоты. Для этого нужно установить значения экспонент в полях **expL**, **expC**, **expFL** и **expFC**. Эти значения можно установить в пределах от -2 до 2 (целые числа).

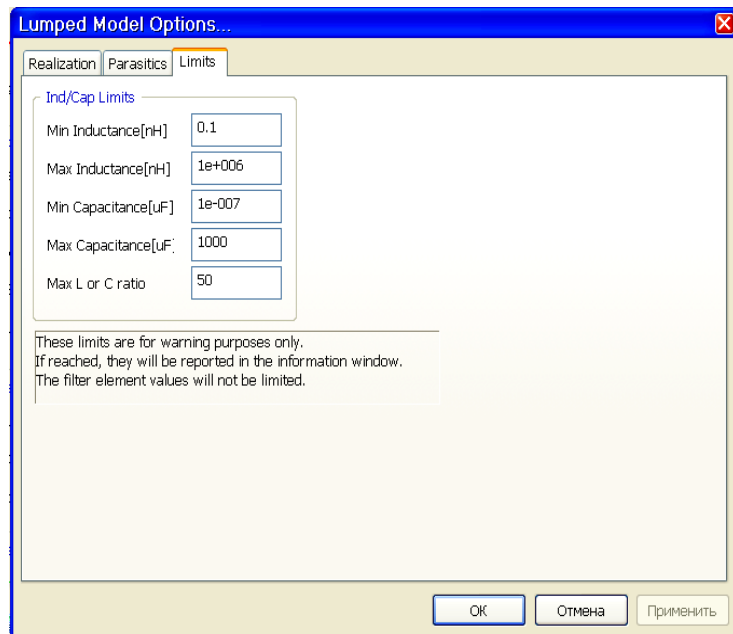


Рис. 1.12

В области **Self Resonance Frequency (SRF)** можно определить, нужно ли при анализе учитывать собственную резонансную частоту индуктивности и ёмкости. Для учёта SRF отметьте **Use SRF in analysis (INDQP/CAPQP)**.

В области **Self Resonance Frequency (SRF)** можно определить, нужно ли при анализе учитывать собственную резонансную частоту индуктивности и ёмкости. Для учёта SRF отметьте **Use SRF in analysis (INDQP/CAPQP)**.

На вкладке **Limits** (рис. 1.12) определяются минимальные и максимальные значения индуктивности и ёмкости, а также максимальное отношение  $L$  к  $C$ .

В нижней части окна отображается поясняющая информация. На рис. 1.12 она поясняет, что эти пределы только для вывода предупреждений. Если установленный предел будет достигнут, то будет выведено предупреждение в окне информации. Значения элементов фильтра ограничиваться не будут.

## 1.4.2. Design Utilities (Утилиты проекта).

В iFilter имеется несколько утилит, позволяющих выполнить некоторые вспомогательные расчеты.

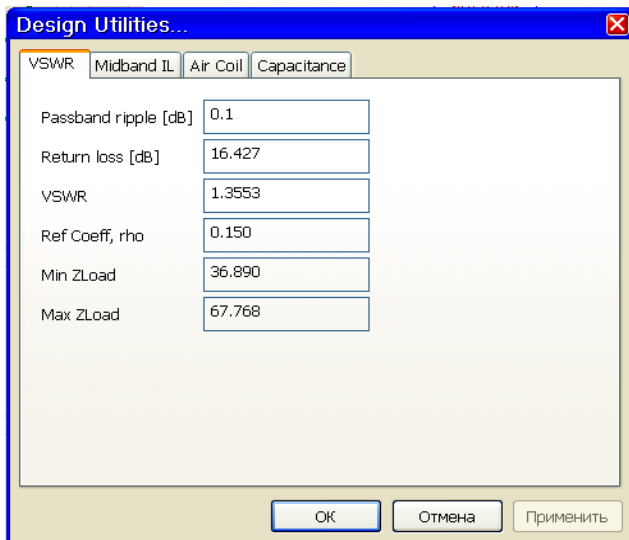


Рис. 1.13

На вкладке **VSWR** (рис. 1.13) можно пересчитать некоторые взаимно связанные параметры фильтра. Пересчитать можно следующие параметры:

**Passband ripple [dB]** – пульсации в полосе пропускания.

**Return loss [dB]** – возвратные потери.

**VSWR** – КСВН.

**Ref Coeff, rho** – Коэффициент отражения.

**Min ZLoad** – Минимальное сопротивление нагрузки.

**Max ZLoad** – Максимальное сопротивление нагрузки.

Изменение любого из трёх первых параметров обновит значения всех остальных параметров.



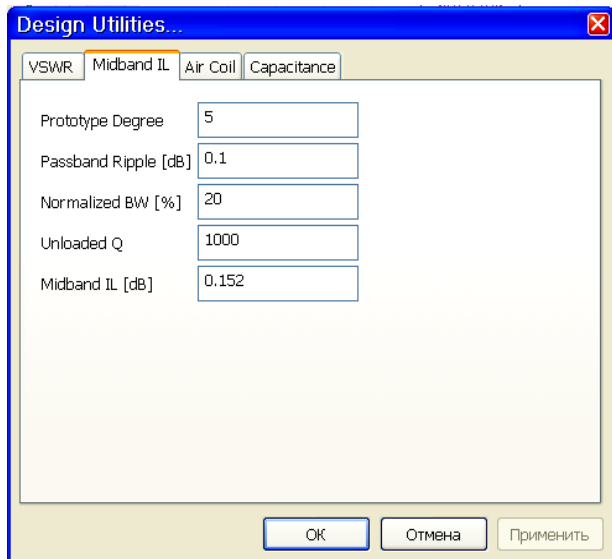


Рис. 1.14

На вкладке **Midband IL** (рис. 1.14) можно оценить потери на отражение в середине полосы пропускания (midband) полосового фильтра.

Если изменить значение в поле **Midband IL [dB]**, то будет вычислено и обновлено требуемое значение ненагруженной добротности в поле **Unloaded Q**.

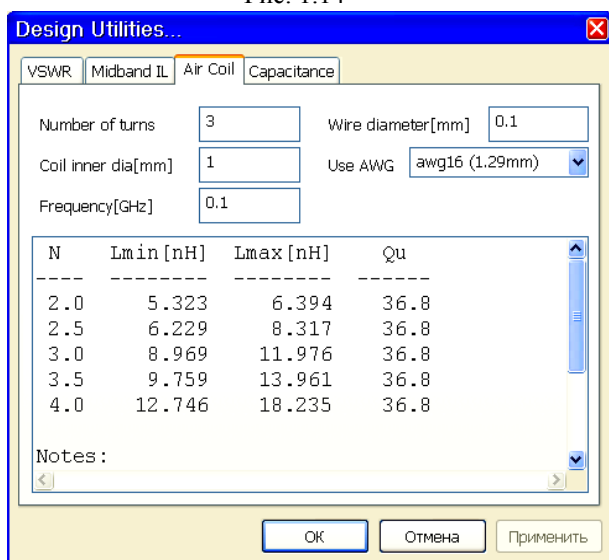


Рис. 1.15

На вкладке **Air Coil** (рис. 1.15) можно рассчитать параметры катушки индуктивности. Здесь могут быть рассчитаны минимальное и максимальное значения индуктивности, а также ненагруженная добротность. Индуктивность катушки зависит от зазора между витками. **Lmin [nH]** рассчитывается при отношении зазора к диаметру провода  $g/wd=2.0$  (свободная намотка), **Lmax [nH]** рассчитывается при  $g/wd=0.5$  (плотная намотка).

В поле **Number of turns** вводится количество витков.

В поле **Coil inner dia [mm]** вводится внутренний диаметр катушки.

В поле **Frequency [GHz]** вводится частота.

В поле **Wire diameter [mm]** вводится диаметр провода.

В поле **Use AWG** вводится тип используемого провода.

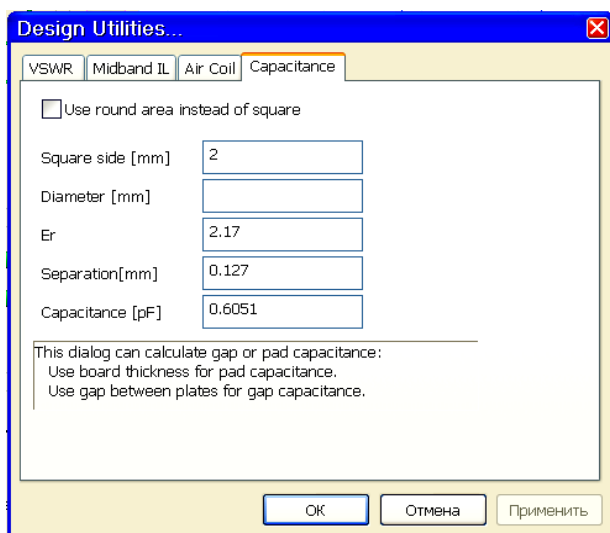


Рис. 1.16

На вкладке **Capacitance** (рис. 1.16) можно рассчитать параметры конденсатора.

Если отметить **Use round area instead of square**, квадратные обкладки конденсатора будут заменены круглыми.

В поле **Square side [mm]** вводится сторона квадратной обкладки конденсатора.

В поле **Diameter [mm]** вводится диаметр круглой обкладки конденсатора.

В поле **Er** вводится диэлектрическая проницаемость диэлектрика.

В поле **Separation [mm]** вводится расстояние между обкладками конденсатора.

В поле **Capacitance [pF]** отображается рассчитанное значение ёмкости конденсатора.

### 1.4.3. Environment Options (Опции среды).

Щелчок по этой кнопке открывает окно **Environment Options**. На вкладке **Units** (рис. 1.17) можно установить используемые единицы измерения. На вкладке **General** (рис. 1.18) имеется только одна опция **Flat buttons**. Если её отметить, кнопки в окне будут отображаться плоскими, т.е. их границы не отображаются. Если эту опцию не отмечать, кнопки будут выпуклыми.

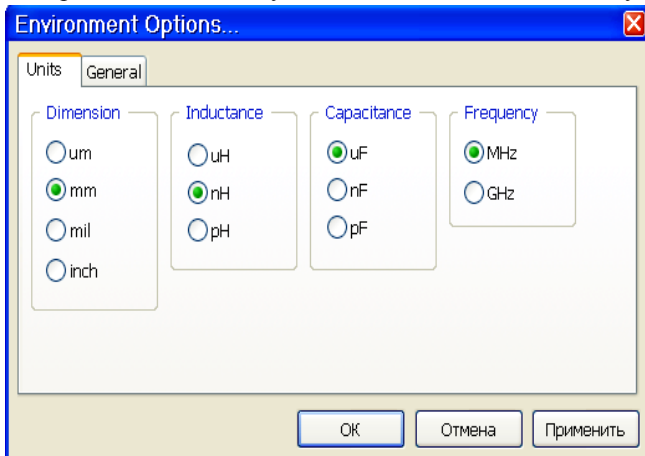


Рис. 1.17

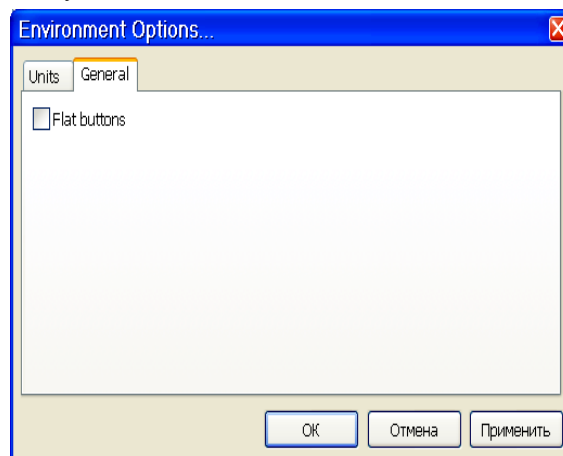


Рис. 18

### 1.4.4. Generate Design (Генерировать проект).

При щелчке по этой кнопке открывает окно **Export Design** (рис. 1.19), в котором устанавливаются опции экспорта синтезированного фильтра в MWO.

В поле **Base Name** введите имя экспортируемого фильтра. Это имя будет присвоено экспортируемой схеме. Все остальные окна в MWO (например, графики) будут использовать это имя, добавляя соответствующий текст в конце этого имени.

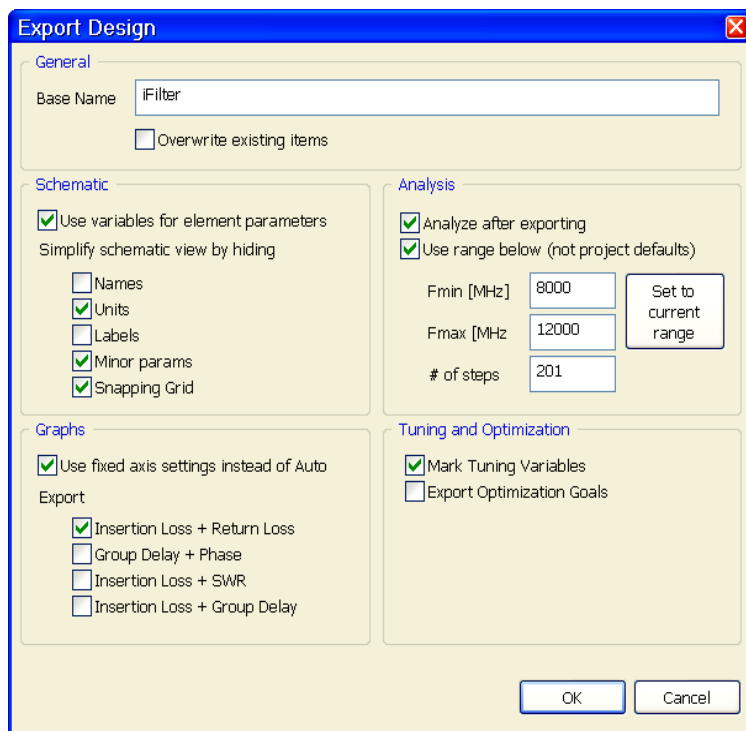


Рис. 1.19

В области **Graphs** определяются типы графиков, которые можно экспортировать в MWO.

Если отмечено **Use fixed axis settings instead of Auto**, масштаб по оси **Y** будет фиксированным. В противном случае Microwave Office выбирает масштаб по оси **Y** в зависимости от диапазона единиц измерения.

В списке **Export** перечислены типы графиков, которые могут экспортироваться в MWO.

В области **Analysis** определяются опции для выполнения анализа в MWO.

Если отметить **Analyze after exporting**, анализ будет выполнен автоматически сразу же после экспорта.

Если в MWO уже есть схема с таким именем, будет выведено предупреждение, что такая схема уже существует. Если вы хотите заменить эту схему, отметьте **Overwrite existing items**.

В области **Schematic** определяются опции экспорта схемы.

Если отмечено **Use variables for element parameters**, параметры схемы экспортируются как переменные, для которых создаются уравнения. Параметры элементов схемы при этом определяются через созданные уравнения, записанные выше схемы.

Ниже этой опции имеется список некоторых элементов схемы (**Simplify schematic view by hiding**), которые можно скрыть для упрощения отображения схемы. Отмеченные в этом списке элементы не будут отображаться на схеме. Это **Names** (имена), **Units** (единицы измерений), **Labels** (метки), **Minor params** (несущественные параметры) и **Snapping Grid** (сетка привязки).

Если отметить **Use range below (not project defaults)** для выполнения анализа экспортированной схемы будут использоваться частоты, переданные из iFilter. В противном случае будут использоваться частоты, установленные в проекте Microwave Office.

В поля **Fmin [MHz]** и **Fmax [MHz]** вводятся частоты, которые будут переданы в MWO для анализа. Щелчок по кнопке **Set to current range** устанавливает в этих полях текущий диапазон в iFilter.

В поле **# of steps** вводится количество частотных точек в диапазоне частот анализа, которое будет передано в MWO.

В области **Tuning and Optimization** вводятся опции, определяющие настройку и оптимизацию в MWO.

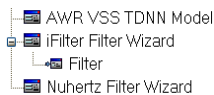


Рис. 1.20

Если отметить **Marc Tuning Variables**, переданные в MWO переменные или параметры будут включены в выполнение настройки.

Если отметить **Export Optimization Goals**, в MWO будут переданы цели оптимизации. Чтобы эти цели были переданы в MWO, они должны быть установлены в iFilter. Это делается щелчком по кнопке **Edit Chart Settings** (верхняя кнопка слева от графика), о чём будет сказано ниже.

Установив все опции, нажмите **OK**, чтобы передать проект в MWO. При этом основное окно

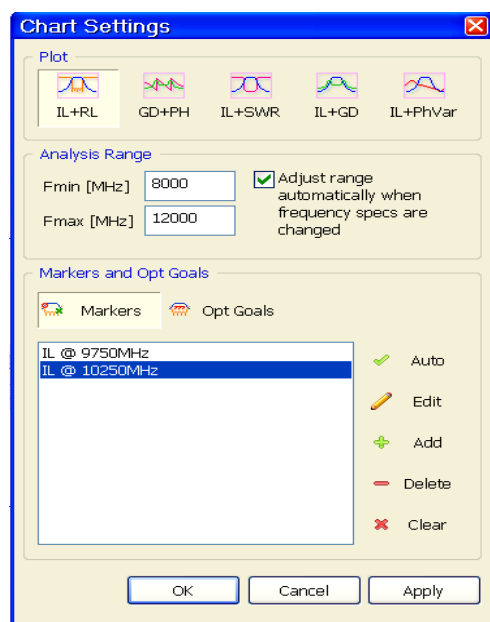



Рис. 1.21

iFilter остаётся на экране. Его можно закрыть двумя способами. Нажатие на кнопку **Cancel** закрывает окно iFilter без сохранения созданного проекта в iFilter. При нажатии на **OK** созданный в iFilter проект сохраняется и его имя появляется как подгруппа в группе **iFilter Filter Wizard** (рис. 1.20). Щёлкнув по этому имени правой кнопкой мышки и выбрав **Edit**, можно снова открыть окно iFilter для редактирования.

## 1.5. Редактирование свойств графика.

Для редактирования свойств графика имеется ряд кнопок с левой стороны графика в основном окне iFilter.

Щелчок по кнопке **Edit Chart Settings**  открывает окно **Chart Settings** рис. 1.21. В верхней части этого окна имеется область **Plot** с кнопками, щелчком мышкой по которым определяет тип создаваемого графика:

**IL+RL** – прямые и обратные потери.

**GD+PH** – групповое время задержки и фаза коэффициента передачи  $Ang(S_{21})$ .

**IL+SWR** – прямые потери и КСВН по входу.

**IL+GD** – прямые потери и групповое время задерж-

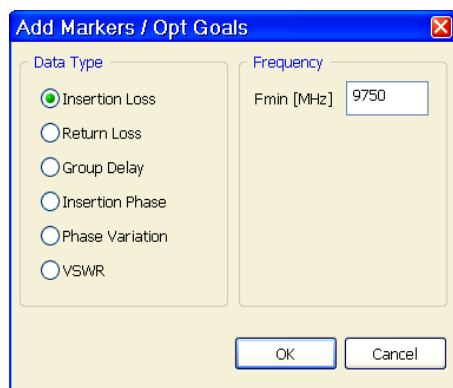


Рис. 1.22

ки.


**IL+PhVar** – прямые потери и изменение фазы относительно линейной.

Чтобы отобразить нужный график, щёлкните по соответствующей кнопке и затем щёлкните по кнопке **Apply** в нижней части окна.

Обратите внимание, что такие же значки имеются в основном окне слева от графика. Они позволяют изменить тип графика, не заходя в окно **Chart Settings**.

В области **Analysis Range** в поля **Fmin [MHz]** и **Fmax [MHz]** вводятся минимальная и максимальная частоты для анализа. Если отметить **Adjust range automatically when frequency specs are changed**, граничные частоты для анализа будут автоматически изменены, если будет изменён частотный диапазон для фильтра (например, будет изменена полоса пропускания полосового фильтра в основном окне).

В области **Markers and Opt Goals** можно установить маркеры на графике и цели оптимизации.

Чтобы установить маркеры, щёлкните по кнопке **Markers**. В окне списка маркеров нужно ввести частоты, на которых требуется установить маркеры. Для этого щёлкните по значку **Add**  справа от окна ввода. Откроется окно рис. 1.22. В области **Data Type** отметьте измеряемую величину, которую нужно отобразить на маркере. В поле **Fmin [MHz]** введите нужную частоту и нажмите **OK**.

Чтобы отредактировать маркер, выделите его в списке маркеров (рис. 1.21) и щёлкните по значку **Edit**. Чтобы маркер

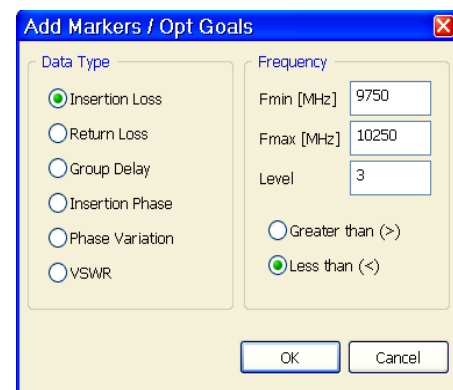


Рис. 1.23

удалить, щёлкните по значку **Delete**. Чтобы удалить сразу все маркеры, щёлкните по значку **Clear**.

Если щёлкнуть по значку **Auto**, будут автоматически установлены маркеры для граничных частот и центральной частоты для полосно-пропускающих фильтров.

Если нужно установить цели оптимизации, щёлкните по значку **Opt Goals** и затем по значку **Add**. Откроется окно рис. 1.23.

В области **Data Type** установите нужную измеряемую величину для оптимизации. В области **Frequency** установите диапазон частот для цели оптимизации в поля **Fmin [MHz]** и **Fmax [MHz]**. В поле **Level** введите уровень измеряемой величины, к которому должен стремиться процесс оптимизации. Отметьте, где должно находиться значение измеряемой величины, больше установленного уровня **Greater than (>)** или меньше установленного уровня **Less than (<)**. Нажмите **OK**.

Редактирование и удаление целей оптимизации делается так же, как и для маркеров. При щелчке по значку **Auto** автоматически устанавливаются цели в полосе пропускания и в полосе заграждения. Установленные цели оптимизации отображаются на графике.

В основном окне iFilter в нижней части окна графика слева от графика имеются ещё три кнопки.



– при нажатии на эту кнопку характеристика будет рассчитана для схемы с идеальными элементами. Для схемы на сосредоточенных элементах в MWO элементы передаются с их номинальными значениями, т.е. в схему передаются элементы **IND** и **CAP** для одиночных элементов или **SCL** и **PCL** для LC резонаторов.





– при нажатии на эту кнопку характеристика будет рассчитана для схемы с учётом потерь. Для схемы на сосредоточенных элементах в MWO элементы передаются с их номинальными значениями и значением добротности, т.е. в схему передаются элементы **INDQ** и **CAPQ** для одиночных элементов или **SCLQ** и **PCLQ** для LC резонаторов.





– при нажатии на эту кнопку характеристика будет рассчитана для схемы с реальными элементами. Если в схеме используются витые катушки индуктивности или элементы поставщиков, в MWO передаются элементы **INDQP** и **COIL**. Конденсаторы передаются как элементы **CAPQP**. Если элемент поставщика не имеет точной модели, анализ будет далёк от реального. В таком случае перед экспортом в MWO нужно вместо кнопки **REAL** выбрать кнопку **LOSSY**, или выбрать другого поставщика с более точной моделью.


В основном окне iFilter под графиком имеется ещё несколько кнопок.

При нажатии на кнопку  увеличивается диапазон частот для анализа.

При нажатии на кнопку  уменьшается диапазон частот для анализа.

При нажатии на кнопку  (**Narrow Analysis Span** – узкий диапазон анализа) диапазон анализа сужается и выполняется вблизи полосы пропускания для полосно-пропускающих фильтров или вблизи полосы заграждения для полосно-заграждающих фильтров.

При нажатии на кнопку  (**Wide Analysis Span** – широкий диапазон анализа) – выполняет анализ в широком диапазоне частот.

При нажатии на кнопку  (**Passband Analysis Span** – диапазон анализа полосы пропускания) диапазон анализа ограничивается полосой пропускания или полосой заграждения для соответствующих типов фильтров.

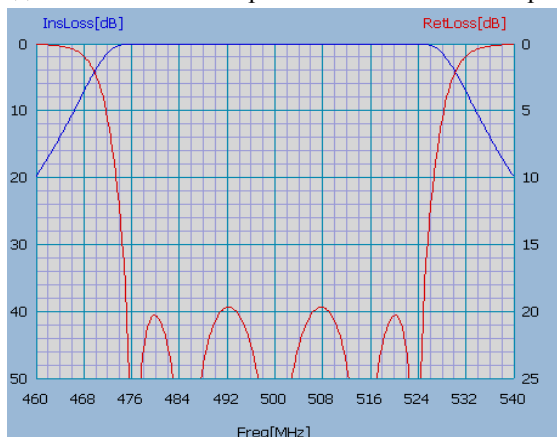




Рис. 1.24


на графике.

На рис. 1.24 показан график с крупной и мелкой сеткой. Заметим, что эта сетка на графике может быть почти незаметной (на рис. 1.24 увеличена контрастность в графическом редакторе).

Нажав на кнопку , можно установить маркеры.

При нажатии на кнопку  (**Ultra Wide Analysis Span** – сверхширокий диапазон анализа) – устанавливает очень широкий диапазон для анализа.

При нажатии на кнопку  (**Auto Snap when Passband Changes**) автоматически выполняется новый синтез и анализ, если изменена частота или полоса пропускания в области **Specifications**, аналог нажатия клавиши **Enter**.

Нажимая на кнопку  (**Show/Hide Major Graph Grids**) можно отобразить/скрыть крупную сетку на графике.

Нажимая на кнопку  (**Show/Hide Minor Graph Grids**) можно отобразить/скрыть мелкую сетку

## 1.6. Отображение результатов синтеза.

В правой нижней части основного окна расположена область для отображения результатов синтеза фильтра.

Рядом с этой областью с левой стороны расположены кнопки, определяющие, что должно быть отображено.



– **View Circuit Schematic.** Отображает схему фильтра.



– **View Layout.** Отображает топологию фильтра для фильтров на распределённых параметрах.



– **View Circuit Information.** Отображает информацию об элементах схемы и возможные ошибки в проекте.



– **View Physical Dimension.** Отображает физические единицы для элементов схемы (ширину и длину отрезков линий и пр.) и возможные ошибки в проекте.

Если у синтезированного фильтра получились недопустимые или нереализуемые параметры, значки отображения топологии и информации будут красного цвета (рис. 1.25). Значком красного цвета будут отмечены и строки в окне информации, а в скобках в такой строке указана причина ошибки. На этом рисунке в строке, отмеченной значком красного цвета, в скобках сообщается, что зазор очень мал. Однако это только предупреждающее сообщение. Анализ будет выполняться, и такой фильтр может быть передан в MWO для моделирования.

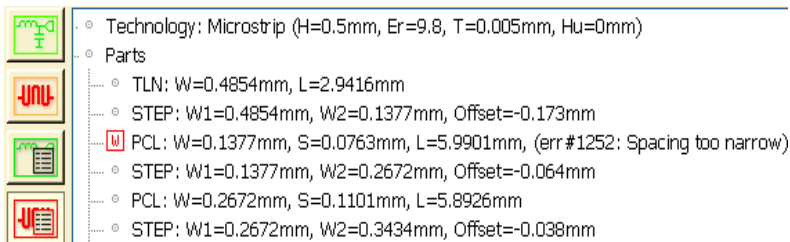


Рис. 1.25

**Замечание.** Перед открытием программы iFilter в MWO желательно установить те единицы измерения, которые вы будете использовать в iFilter. Однако это не обязательно, их можно будет изменить в любое время.

## 2. Примеры синтеза.

### 2.1. Синтез фильтров на сосредоточенных элементах.

#### 2.1.1. Полосно-пропускающий фильтр.

Требования: полоса пропускания 475 – 525 МГц, потери в полосе не более 4 дБ, уровень пульсаций в полосе пропускания 0.01 дБ, ослабление на частоте 600 МГц не менее 50 дБ.

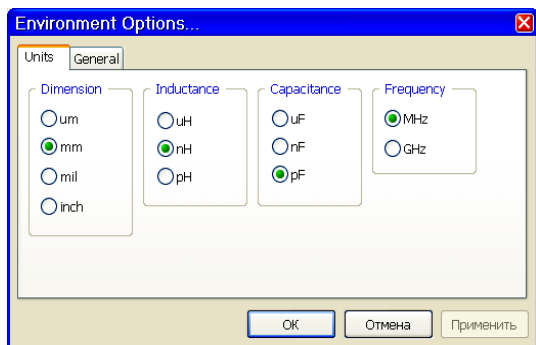


Рис. 2.1

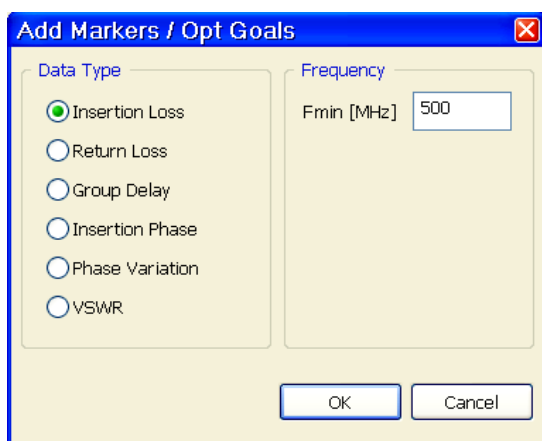


Рис. 2.2

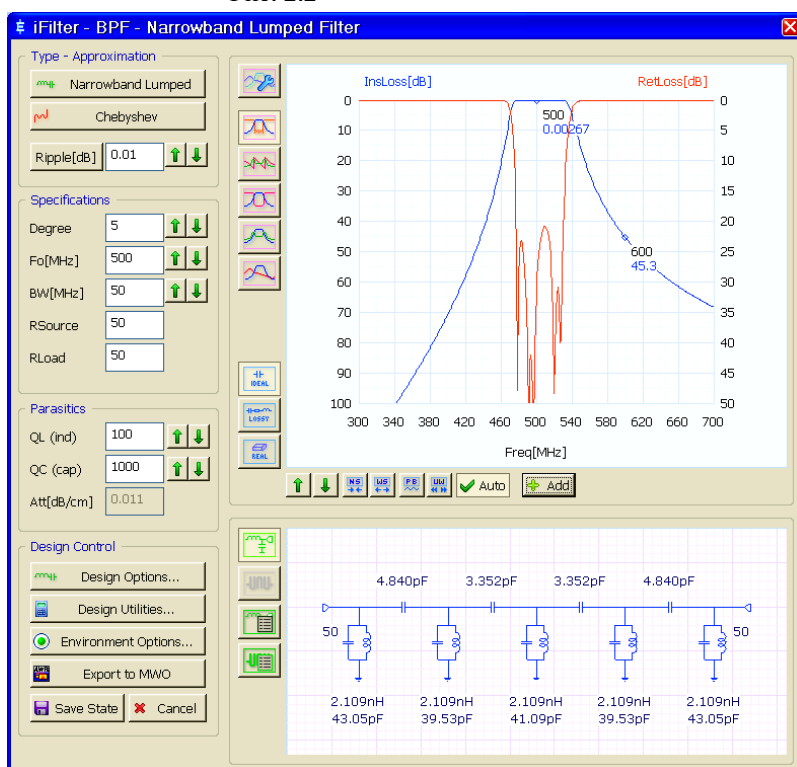


Рис. 2.3

Разверните группу **Wizards** и дважды щёлкните по **iFilter Filter Wizard**.

В основном окне в области **Design Control** щёлкните по кнопке **Environment Options**. В открывшемся окне на вкладке **Units** выберите единицы измерения, как показано на рис. 2.1.

На вкладке **General** можно снять отметку в **Flat buttons**, чтобы лучше были видны кнопки в основном окне.

В основном окне в области **Type-Approximation** щёлкните по верхней кнопке для выбора типа фильтра. В открывшемся окне **Select Filter Type** отметьте **Band-pass** и **Lumped**.

В левом окне списка типов фильтра **Main Filter Type** отметьте **Narrowband Lumped Filter** (Узкополосный фильтр).

В правом окне списка опций **Options** отметьте **Capacitive (identical shunt L)** – емкостной (идентично параллельной L) для синтеза фильтра с емкостными связями. Щёлкая по различным опциям в этом окне, вы можете видеть разницу в типах фильтра. Нажмите **OK**.


Щёлкните по второй кнопке в основном окне в области **Type-Approximation** и выберите тип характеристики **Chebyshev**.

В поле **Ripple[dB]** введите величину пульсаций в полосе **0.01**.

В области **Specifications** введите порядок фильтра (**Degree**) **5**, центральную частоту (**F0[MHz]**)

**500**, ширину полосы пропускания (**BW[MHz]**) **50**, сопротивления источника и нагрузки **50**.

Нажмите клавишу **Enter** или щёлкните по значку **Auto** под графиком. Синтез и анализ будут выполнены.

Слева от графика нажмите на кнопку **Insertion Loss and Return Loss** . Затем нажмите на кнопку **IDEAL**.

Внизу под графиком отметьте кнопку **WS**, чтобы установить широкую полосу частот для анализа.

Внизу под графиком щёлкните по кнопке **Add**, чтобы добавить маркеры. В открывшемся окне рис. 2.2 в области **Data Type** отметьте **Insertion Loss**, в поле **Fmin [MHz]** введите **500**, нажмите **Ok**. Аналогично добавьте второй маркер на частоте **600** МГц.

Основное окно будет выглядеть, как показано на рис. 2.3.

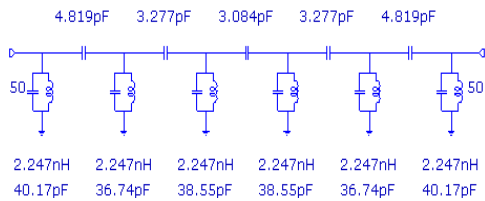


Рис. 2.4

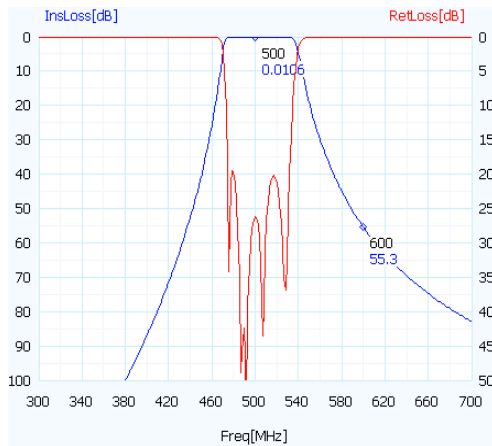


Рис. 2.5

Требование на частоте 600 МГц не выполняется. Чтобы его выполнить, нужно увеличить порядок фильтра. При этом увеличатся потери в полосе пропускания. Чтобы их уменьшить, можно несколько расширить полосу. Введите **6** в **Degree** и **55** в **BW [MHz]**. Схема будет выглядеть, как показано на рис. 2.4, а график – на рис. 2.5.

Обратите внимание, в этом типе фильтра все индуктивности в резонаторах имеют одно и тоже значение индуктивности. Т.е. в фильтре потребуется только один тип катушки индуктивности.

Оценить влияние возможных потерь можно двумя способами. Можно оценить возможные добротности индуктивности и конденсаторов и использовать их. Щёлкните по кнопке **Design Utilities** в основном окне iFilter. В открывшемся окне рис. 2.6 на вкладке **Air Coil** (витая катушка) введите **1** в поле **Number of Turns** (количество витков), **1** в поле **Coil inner dia [mm]** (внутренний диаметр), **500** в поле **Frequency [MHz]**. В поле **Use AWG** введите тип провода **awg32** (американский стандарт), который имеет диаметр 0.2 мм. Получаем, что можно ожидать добротность катушки 90. Закройте оно.

Покупные конденсаторы можно найти с добротностью 350 на частоте 500 МГц.

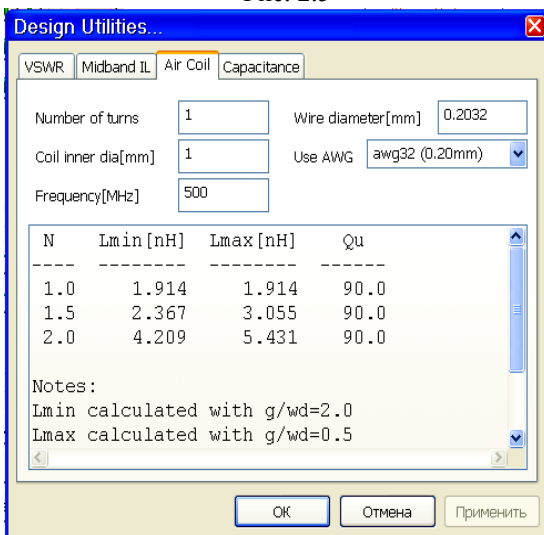


Рис. 2.6

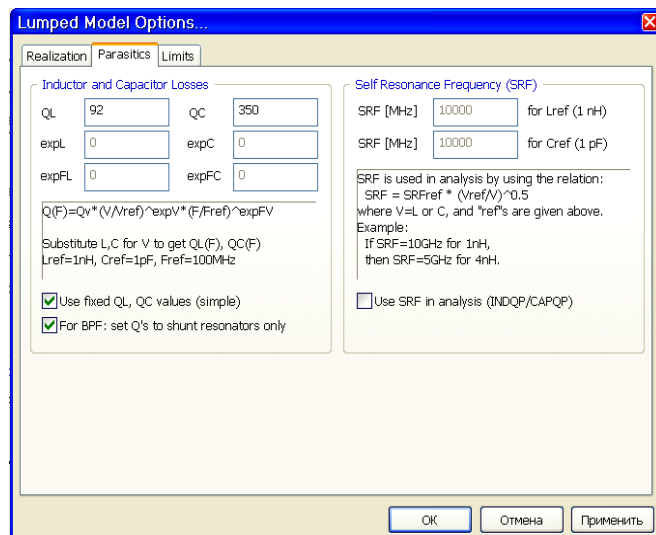


Рис. 2.7

Щёлкните по кнопке **Design Options** в основном окне iFilter. В открывшемся окне на вкладке

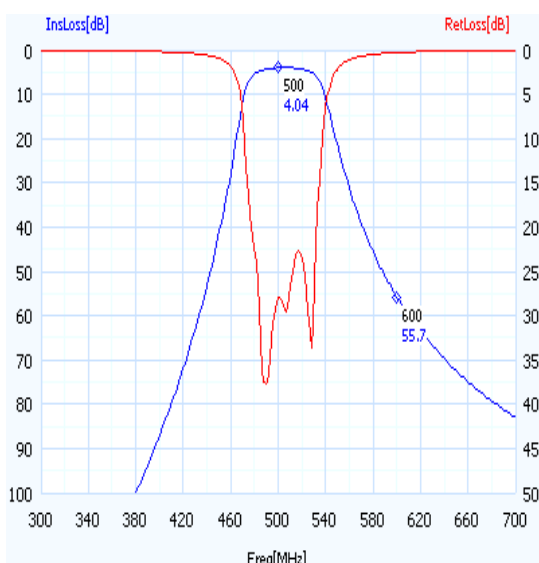


Рис. 2.8


рис. 2.7 в поле **QL** введите **90**, в поле **QC** введите **350**. На вкладке **Realization** в области **Inductors** отметьте **(1–10 nH)** и отметьте переключатель **INDQ/INDQP**. В области **Capacitors** отметьте **(0-10pf)** и отметьте **CAPQ/CAOQP**. Затем отметьте **(10-100pf)** и отметьте **CAPQ/CAOQP**. Нажмите **Применить** и **ОК**. Щёлкните по кнопке **Lossy** слева от графика. Полученный график с учётом потерь показан на рис. 2.8.

Влияние потерь можно также учесть, используя данные поставщиков элементов.

Щёлкните по кнопке **Design Options** в основном окне iFilter. На вкладке **Realization** в области **Inductors** отметьте **(1–10nH)** и отметьте переключатель **Vendor Part**. Затем щёлкните по кнопке **Inductor Vendors**. Откроется окно рис. 2.9. Допустим, вы используете индуктивности типа 0805 от Bourns. В окне рис. 2.9 щёлкните по кнопке **Select None**, чтобы в списке поставщиков **Vendors** снять все “галочки”. Затем в этом списке отметьте **Bourns**. Если список типов индуктивностей находится в области **Selected Types**, щёлкните по значку



слева от этого списка, чтобы перенести список в

область **Available Types**. В области **Part Sizes (EIA)** щёлкните по **Selected None**, чтобы снять все отметки, и затем отметьте **0805**. После этого щёлкните по кнопке **Search for available types**. В списке **Available Types** останутся только индуктивности нужного типа. Щёлкните по значку  справа от этого списка, чтобы перенести эти индуктивности в область **Selected Types**. В поле **L[nH]** введите **2.25**, в поле **Freq** введите **500** и щёлкните по кнопке **Find Parts**. Ниже будет отображён список найденных индуктивностей, наиболее близких к заданным параметрам. Выберите в этом списке наиболее подходящий тип и отметьте его в области **Selected Types**. Нажмите **OK**, чтобы закрыть это окно.

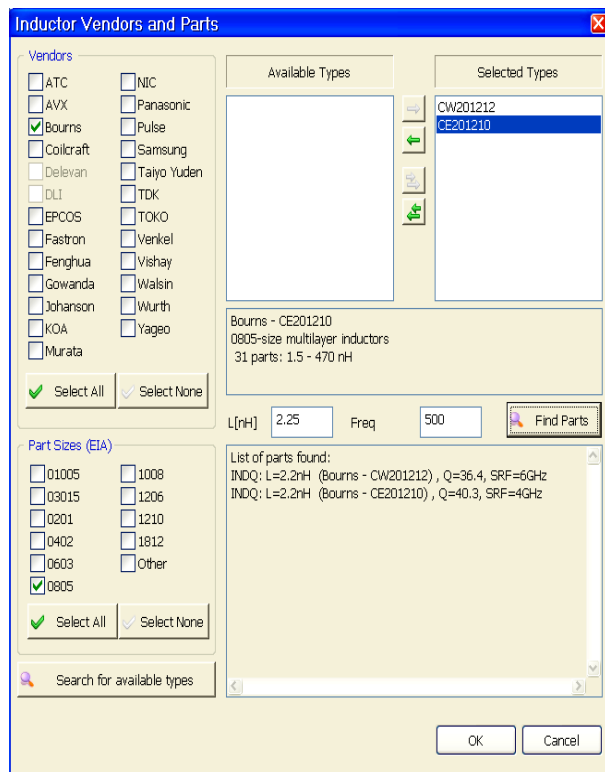


Рис. 2.9

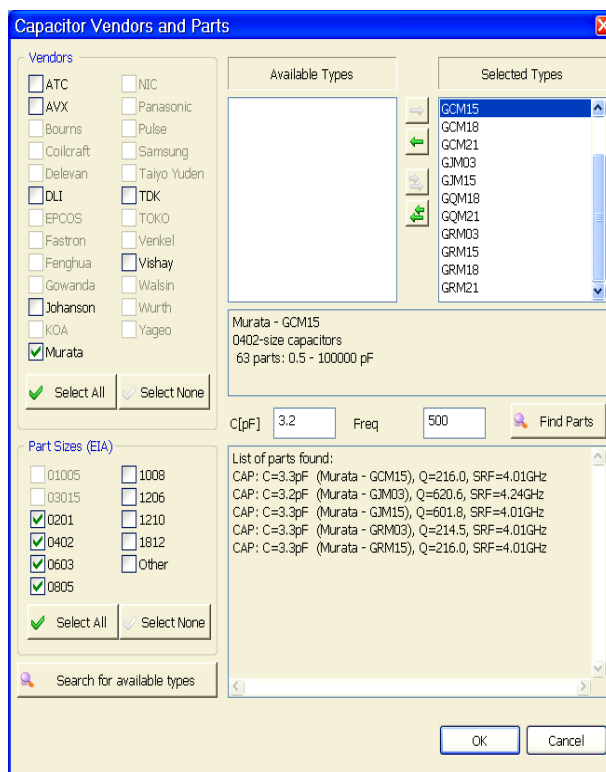


Рис. 2.10

В области **Capacitors** отметьте **Vendor Part** и в окне списка диапазонов значений ёмкости выберите **(0–10pF)** и щёлкните по кнопке **Capacitor Vendors**. То же самое сделайте для **(10–100pF)**. В открывшемся окне аналогично выберите поставщика и тип конденсаторов (рис. 2.10), нажмите **OK**, чтобы вернуться в окно **Lumped Model Options**.

В окне опций отметьте **Split shunt capacitors into 2 if not realizable**, щёлкните **Применить** и **OK**.

Заметим, что списки конкретных элементов со значением их параметров являются скорее справочными. iFilter среди выбранных типов элементов поставщиков, которых можно отметить несколько, ищет наиболее подходящие с самой высокой добротностью.

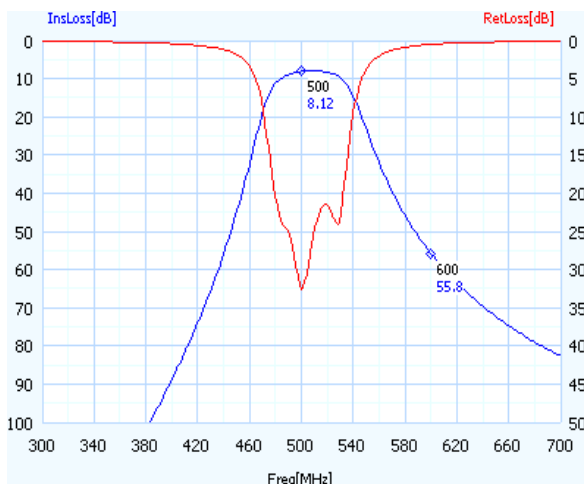


Рис. 2.11

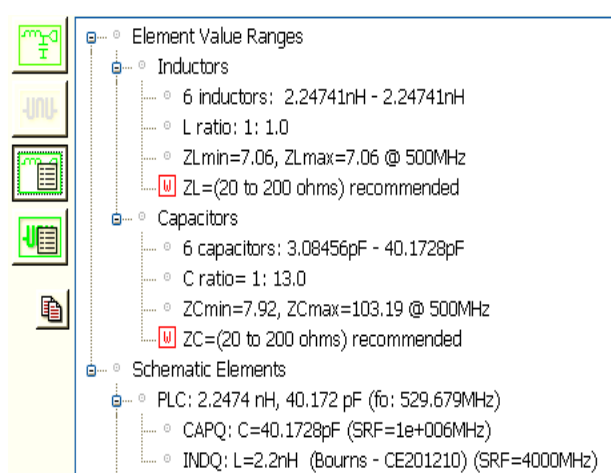


Рис. 2.12

Нажмите кнопку **REAL** слева от графика. Полученный график показан на рис. 2.11.

Чтобы просмотреть элементы синтезированной схемы, щёлкните по кнопке **View Circuit Information** в окне отображения результатов синтеза (рис. 2.12).



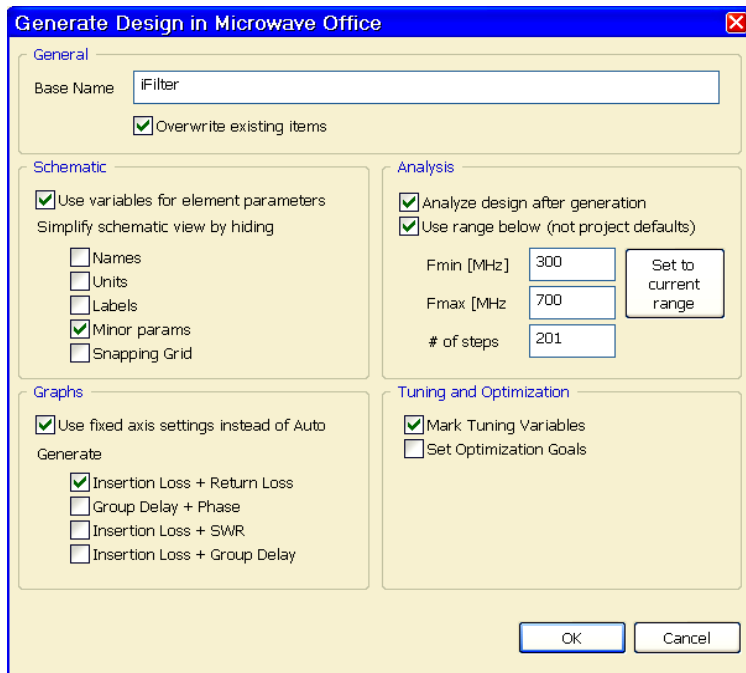


Рис. 2.13

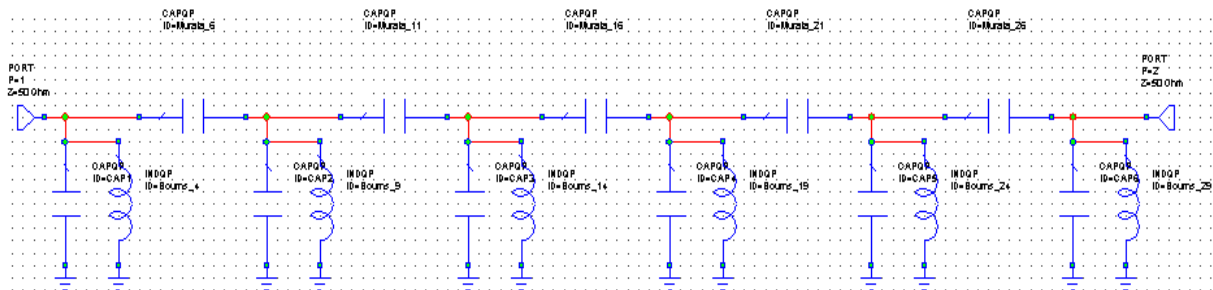


Рис. 2.14

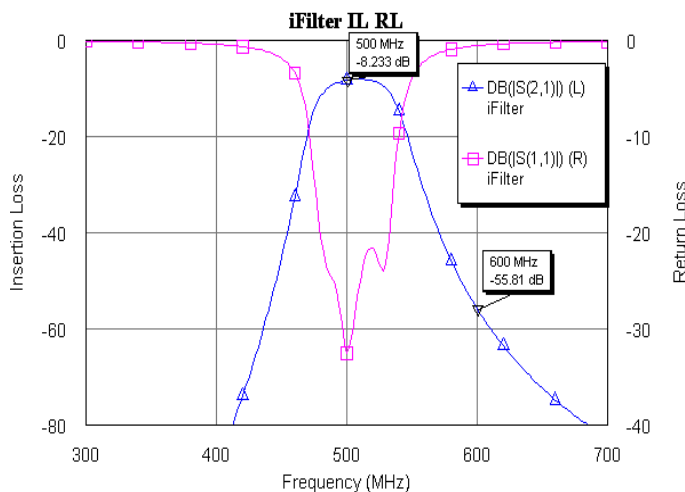


Рис. 2.15

Характеристика, рассчитанная с реальными элементами, может сильно отличаться от идеальной характеристики или рассчитанной с потерями из-за того, что не всегда поставщики представляют точные модели своих элементов.

Теперь можно экспортировать схему фильтра в Microwave Office. В основном окне iFilter щёлкните по кнопке **Generate Design**. В открывшемся окне рис. 2.13 отметьте **Minor params**, чтобы строки с параметрами не затемняли схему. Отметьте опции **Use variables for element parameters** и **Mark Tuning Variables**, чтобы параметры схемы были переданы как переменные и можно было выполнить настройку схемы. Нажмите **OK**. Схема будет передана в MWO (рис. 2.14). Закройте окно iFilter, нажав **OK** в этом окне.

Характеристика, посчитанная в MWO, показана на рис. 2.15.

**Обратите внимание на следующее:**

В MWO в схему переданы элементы **CAPQP** и **INDQP**. Дважды щёлкните по любому из этих элементов, чтобы открыть окно свойств. Значение ёмкости для элемента конденсатора и добротность заданы в векторном виде, определяющем их зависимость от частоты. Аналогично определены параметры и для элемента индуктивности. Назначить такие параметры для настройки или оптимизации нельзя. Это можно сделать только для паразитной индуктивности у конденсаторов и паразитной ёмкости у индуктивностей. Поэтому при экспорте в MWO не создавались переменные для настройки и оптимизации, хотя в опциях экспорта отмечены опции **Use variables for element parameters** и **Mark Tuning Variables**. В поле **Part Number** окна свойств элементов отображается используемый поставщик.

Отредактировать параметры элементов можно и вернувшись в iFilter.

Допустим, вы решили экспортировать схему в MWO так, чтобы можно было выполнить настройку. Для этого нужно отказаться от использования в схеме реальных элементов поставщиков.

Щёлкните по имени схемы **iFilter** в группе **iFilter Filter Wizard** правой кнопкой мышки и выберите **Edit**.

Щёлкните по кнопке **Design Options**. На вкладке **Realization** в списке **Inductors** для значений (**1 – 10nH**) отметьте **INDQ/INDQP**, в списке **Capacitors** для значений (**0 – 10pF**) и (**10 – 100pF**) отметьте **CAPQP/CAPQP**, нажмите **Применить** и **OK**.

В основном окне iFilter щёлкните по кнопке **Lossy** слева от графика.

Щёлкните по кнопке **Generate Design**. Отметьте **Overwrite existing items**, если хотите заменить имеющуюся схему с прежним именем, а не создавать новую. Нажмите **ОК**. Затем нажмите **ОК** в основном окне iFilter. В MWO будет передана схема, показанная на рис. 2.16.

В этой схеме созданы переменные, и они назначены для настройки.

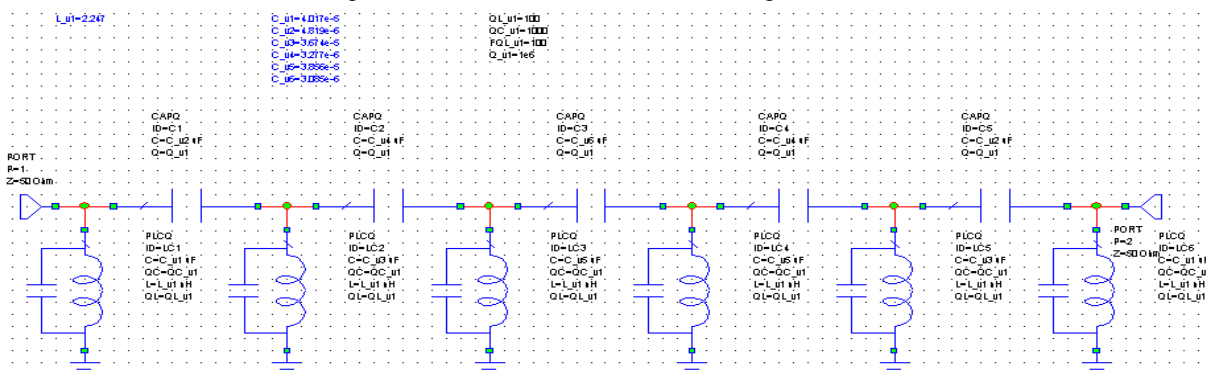


Рис. 2.16

## 2.1.2. Фильтр нижних частот.

Требования: частота среза 250 МГц, ослабление на частоте 450 МГц – 70 дБ, пульсации в полосе пропускания 0.1 дБ.

Откройте iFilter. Щёлкните по кнопке типов фильтра. В открывшемся окне **Select Filter Type** щёлкните по кнопкам **Lowpass** и **Lumped**, нажмите **ОК**.

Щёлкните по кнопке типов характеристик и выберите **Elliptic**. Нажмите **Apply** и **ОК**.

Введите **0.1** в поле **Ripple[dB]**.

В области **Specifications** введите **5** в поле **degree**, **250** в поле **Fp[MGz]**, **70** в поле **Stopb.IL[dB]**.

Щёлкните по значку **IDEAL** слева от графика.

Щёлкая по кнопке **Add** под схемой, установите маркеры на частотах **250** и **450** МГц.

Щёлкните по кнопке **WS**, чтобы установить широкую полосу частот для анализа

Основное окно будет выглядеть, как показано на рис. 2.17.

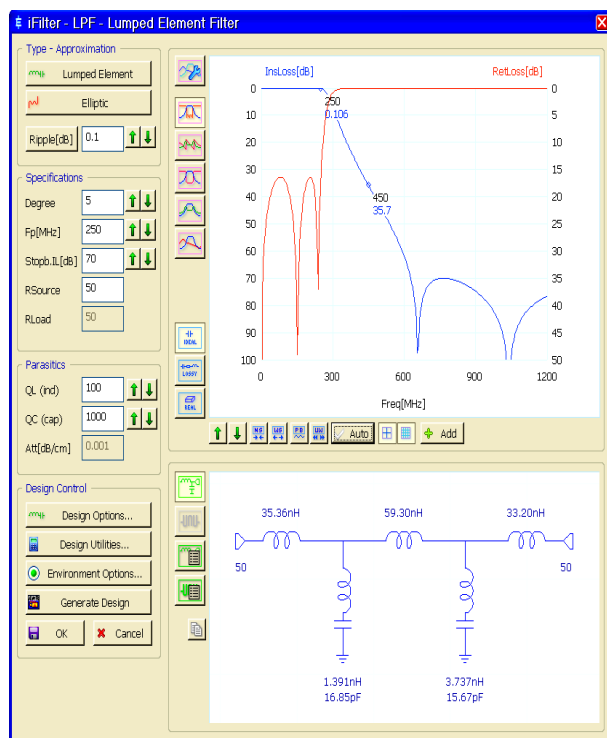


Рис. 2.17

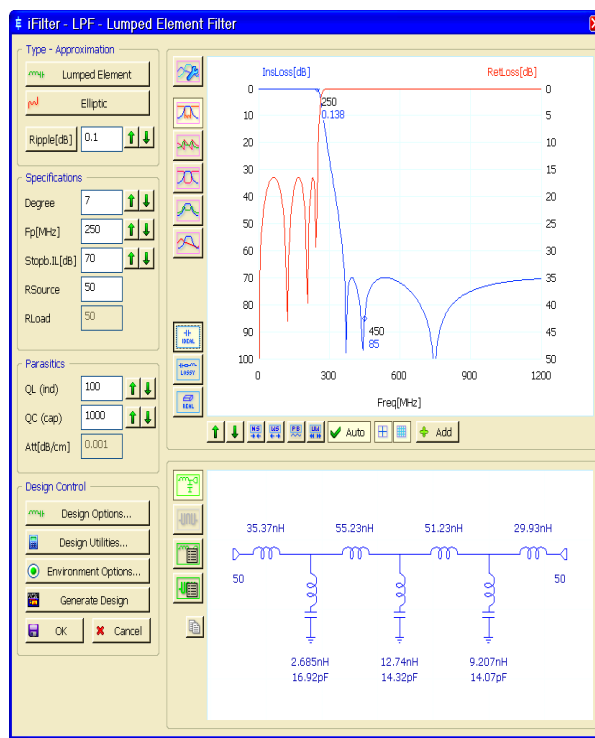


Рис. 2.18

На частоте 450 МГц требование не выполняется. Чтобы увеличить ослабление на этой частоте, измените порядок фильтра (**Degree**) на **7** и нажмите клавишу **Enter** или щёлкните по значку **Auto** ниже графика. График будет выглядеть, как показано на рис. 2.18.

Щёлкните по кнопке **Design Options** и установите способы реализации индуктивностей и конденсаторов для заданных диапазонов значений, при желании выберите поставщиков. Например, для индуктивностей в диапазонах значений (**1 – 10nH**), (**10 – 50nH**) и (**50 – 100nH**) выберите витые катушки **Use AIR COIL**, для конденсаторов в диапазоне (**10 – 100pF**) выберите **CAPQ/CAPQP** (рис. 2.19). Щёлкните по кнопке **Применить** и затем по кнопке **ОК**.

Щёлкните по кнопке **Generate Design**. В открывшемся окне рис. 2.20 отметьте нужный тип графика, отметьте **Use variables for element parameters** и **Mark Tuning Variables**, Щёлкните по кнопке **Set to current range** и нажмите **OK**. Затем нажмите **OK** в основном окне iFilter.

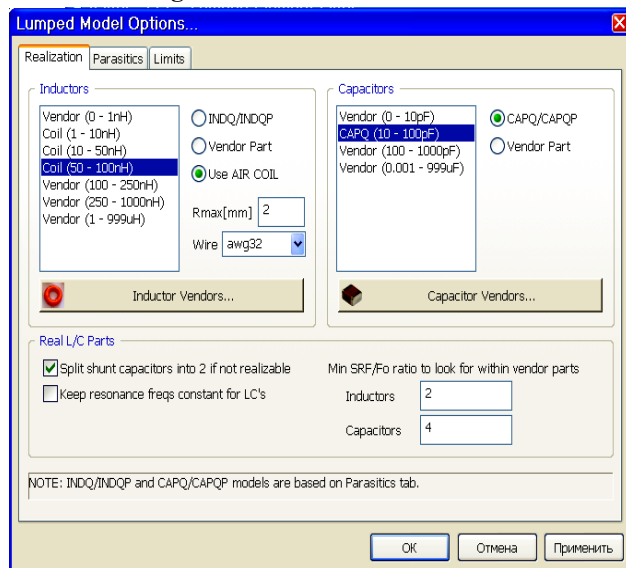


Рис. 2.19

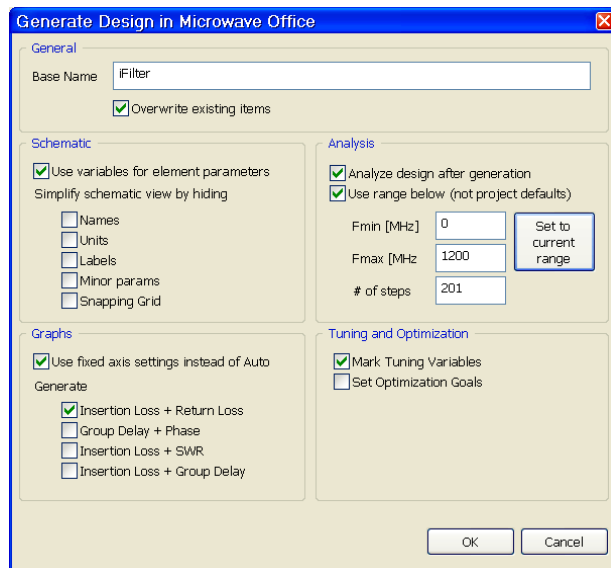


Рис. 2.20

Переданная в MWO схема показана на рис. 2.21, а рассчитанный в MWO график – на рис. 2.22.

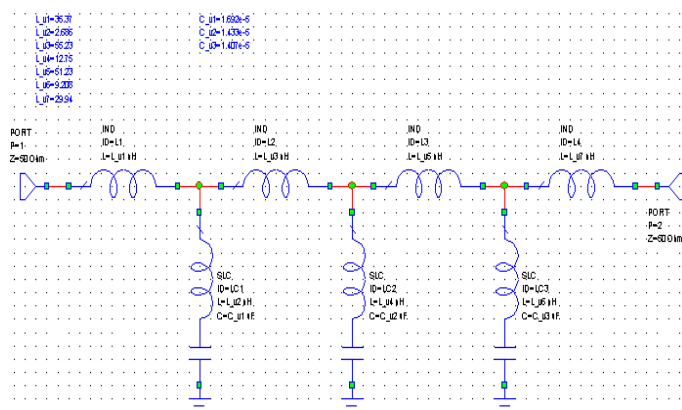


Рис. 2.21

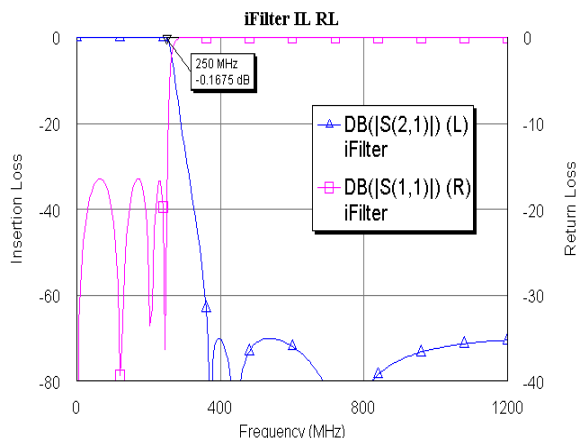


Рис. 2.22

## 2.2. Синтез микрополосковых фильтров.

### 2.2.1. Фильтр нижних частот с частотой среза 2 ГГц.

Требования: частота среза 2 ГГц, ослабление на частоте 4 ГГц не менее 20 дБ, подложка – поликор,  $h=1$  мм.

Откройте iFilter. Щёлкните по кнопке типов фильтра. В открывшемся окне **Select Filter Type** щёлкните по кнопкам **Lowpass** и **Microstrip**.

В списке **Main Filter type** отметьте **Stepped Impedance Lowpass Filter** (ступенчатый низкочастотный фильтр). В списке **Options** отметьте **Same Length, varying Z's** (одинаковая длина, переменные Z). Нажмите **OK**.

Щёлкните по кнопке типа характеристики и отметьте **Chebyshev**.

Щёлкните по кнопке **Environment Options**, на вкладке **Units** открывшегося окна отметьте единицы измерения **mm** и **GHz**, нажмите **Применить** и **OK**.

Введите **0.1** в поле **Ripple[dB]**.

В области **Specifications** введите **5** в поле **degree**, **2** в поле **Fp[GHz]**, **30** в поле **ElecLng[deg]** (электрическая длина в градусах).

Щёлкая по кнопке **Add** под схемой, установите маркеры на частотах **2** и **4** ГГц.

Щёлкните по верхней кнопке **Edit Chart Settings** слева от графика. В открывшемся окне **Chart Setting** в области **Analysis Range** в поле **Fmin [GHz]** введите **0**, в поле **Fmax [GHz]** введите **6** (диапазон для анализа), нажмите кнопку **IL+RL** (тип графика), нажмите **Apply** и **OK**.

В области **Design Control** щёлкните по кнопке **Design Options**. Откроется окно **Distributed Model Options**.

На вкладке **Realization** отметьте **Add input and output lines to the layout** (добавить линии на входе и выходе топологии).

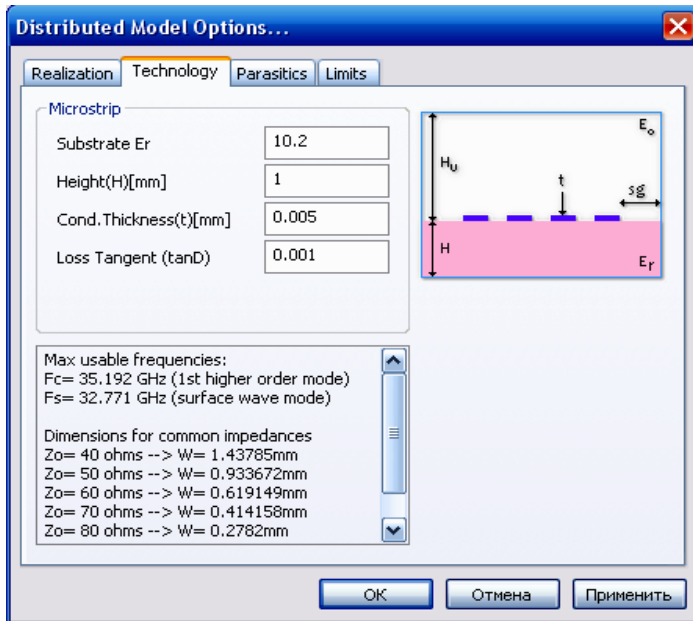


Рис. 2.23

На вкладке **Technology** (рис. 2.23) в поле **Substrate Er** введите **10.2**, в поле **Height(H)[mm]** (толщина подложки) введите **1**, в поле **Cond. Thickness(t)[mm]** (толщина проводника) введите **0.005**, в поле **Loss Tangent (tanD)** введите **0.001**.

В нижней части окна отображается информация о частотах, на которых возникнут высшие типы волн, а также ширина проводника для различных волновых сопротивлений.

Нажмите **Применить** и **ОК**.

Слева от графика нажмите кнопку **REAL**.

**Замечание.** Обратите внимание, если нажата кнопка **IDEAL**, то при экспорте в MWO, параметры отрезков линий будут переданы в волновых сопротивлениях и в электрических длинах. Если нажата кнопка **REAL**, параметры отрезков линий (длина и ширина) будут переданы в

единицах длины (мм).

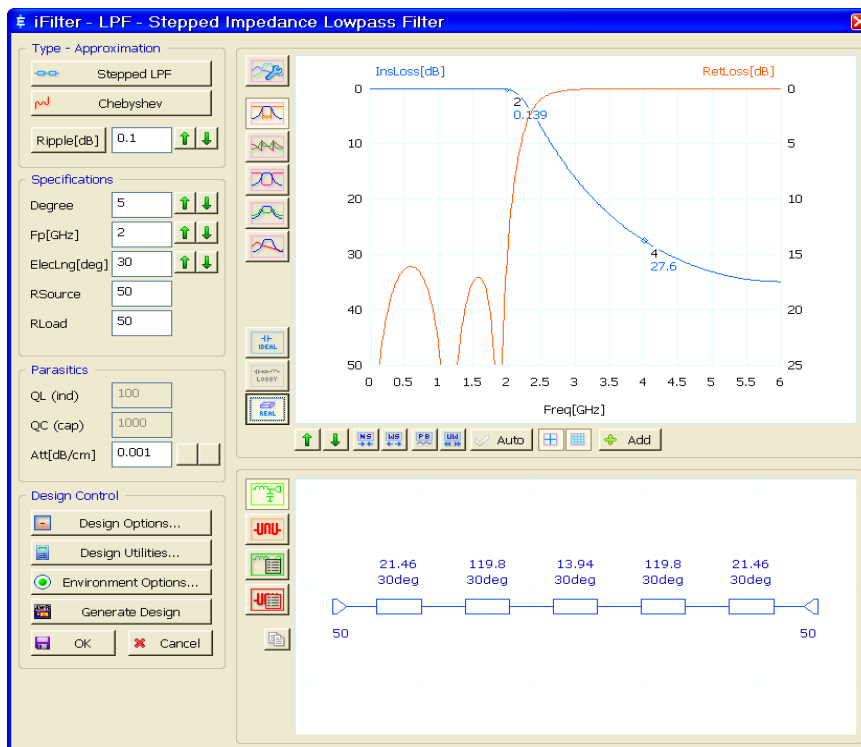


Рис. 2.24

Основное окно будет выглядеть, как показано на рис. 2.24. В нижней части окна в области отображения результатов синтеза в данном случае отображается схема фильтра.

Обратите внимание на отображение кнопок **View Layout** и **View Physical Dimension** слева от схемы. Они отображаются красным цветом. Это означает, что в топологии имеются нереализуемые параметры или другая ошибка.

Щёлкните по кнопке **View Physical Dimension**. В области отображения результатов синтеза будут отображены параметры синтезированной физической модели (рис. 2.25). Здесь возле некоторых элементов **TLIN** красным цветом отображён

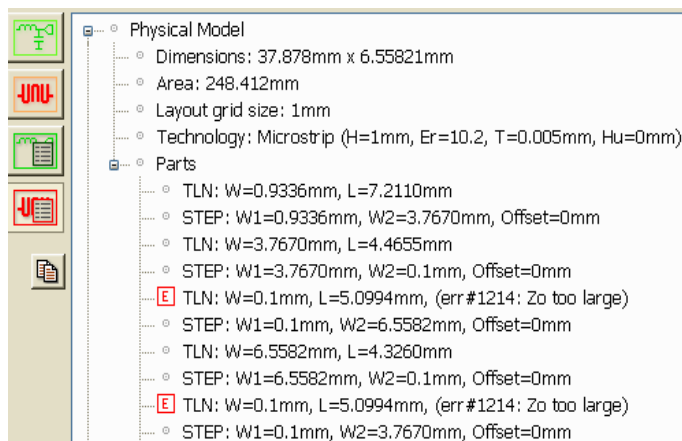


Рис. 2.25

символ **W** в квадратике, что означает, что нужно обратить внимание на ширину проводника **W**. В этой же строке дано рассчитанное значение **W=0.1mm** и в скобках пояснение, что  $Z_0$  слишком велико

Однако анализ выполняется и, при желании, вы можете передать эти данные в MWO и там отредактировать нереализуемые размеры и выполнить настройку фильтра. Но устранить это можно и в iFilter.

В поле **ElecLng[deg]** установите **35**. Ширина проводника будет увеличена и все предупреждения исчезнут.

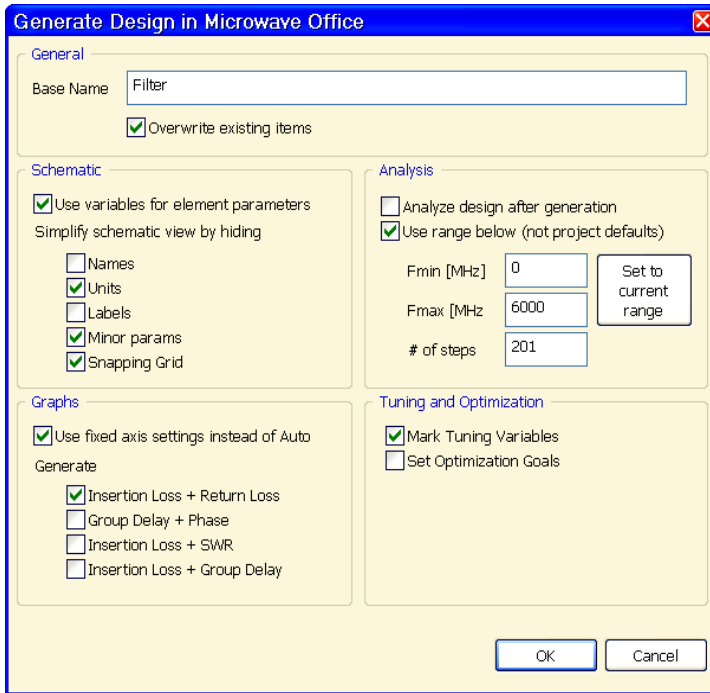


Рис. 2.26

танного диапазона единиц измерений. В этой же области отметьте тип графика **Insertion Loss + Return Loss**.

В области **Analysis** не отмечайте **Analyze after exporting** (Анализировать после экспорта). Если отметить эту опцию, то анализ будет выполнен автоматически сразу после экспорта, что обычно удобно. Однако если схема экспортирована с ошибкой, что иногда бывает, анализ выполняться не будет с выводом сообщения об ошибке. Отметьте **Use range below (not project defaults)**, чтобы для анализа использовать частоты, переданные из iFilter, а не частоты, установленные в проекте.

В этой же области в поля **Fmin [MHz]** и **Fmax [MHz]** введите минимальную **0** и максимальную **6000** частоты для анализа. Или щёлкните по кнопке **Set to current range**, чтобы установить текущие частоты в iFilter.

В области **Tuning and Optimization** отметьте **Mark Tuning Variables**, чтобы назначить переменные для настройки. В поле **# of steps** введите количество точек для анализа **201**.

Нажмите **OK**. Окно с опциями экспорта в MWO будет закрыто. Нажмите **OK** в основном окне iFilter. Это окно будет закрыто и в MWO появятся экспортированные схема (рис. 2.27) и пустой график.

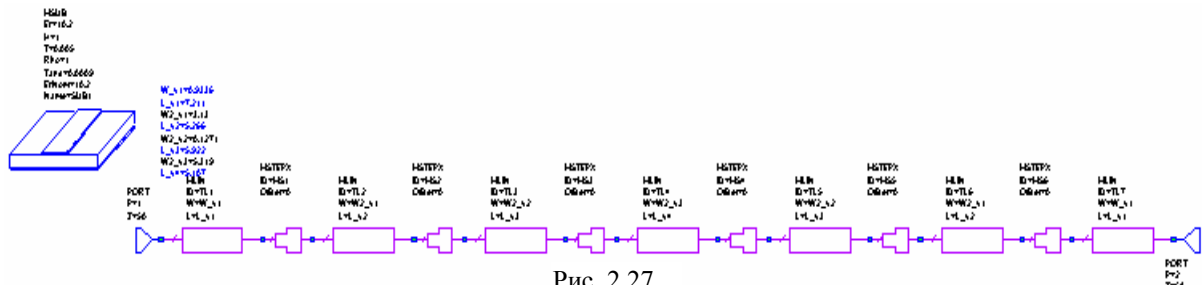


Рис. 2.27

Как видно на рис. 2.27, в схеме созданы переменные, которые включены для настройки (эти переменные отображаются синим цветом), и вы можете выполнять настройку. Однако не все переменные включены в настройку. Поэтому щёлкните по значку **Tune Tool** на панели инструментов и затем, щёлкая по переменным, отображённым чёрным цветом, включите их в настройку.

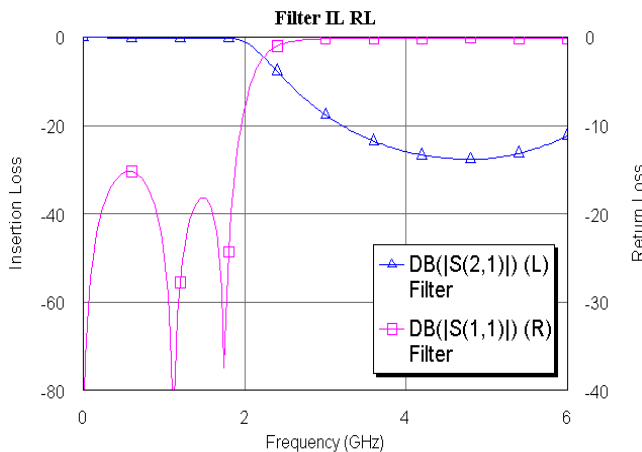


Рис. 2.28

Передайте синтезированную схему в MWO. Для этого щёлкните по кнопке **Generate Design**.

Откроется окно с опциями экспорта (рис. 2.26).

В области **General** в поле **Base Name** введите имя для экспортированной схемы, например **Filter**. В этой же области отметьте **Overwrite existing items**, если хотите заменить существующую схему с таким же именем.

В области **Schematic** отметьте **Use variables for element parameters**, если хотите, чтобы в MWO были созданы переменные для настройки схемы. В списке ниже этой опции отметьте элементы схемы, которые желательно скрыть для упрощения отображения схемы.

В области **Graphs** отметьте **Use fixed axis settings instead of Auto**, если хотите, чтобы масштаб по оси **Y** был фиксированным, а не устанавливался автоматически в зависимости от рассчитанного диапазона единиц измерений.

В глобальных единицах измерения (**Options>Project Options>Global Units**) установите единицу измерения частоты **GHz**.

Щёлкните по значку **Analyze** на панели инструментов, чтобы выполнить анализ в MWO. Рассчитанный график показан на рис. 2.28.

Чтобы сравнить графики до и после настройки, сделайте копию схемы. Установите

курсор на имя схемы в окне просмотра проекта, нажмите левую кнопку мышки и перетащите имя схемы на **Circuit Schematics**. Будет создана копия схемы с именем **Filter\_1**.

Откройте предыдущую схему **Filter**, щёлкните по значку **Tune Tool** на панели инструментов и затем, щёлкая по переменным, отображённым синим цветом, исключите их из настройки.

Откройте окно графика.

Чтобы на графике видеть характеристики обеих схем, щёлкните правой кнопкой мышки по имени измеряемой величины **Filter:DB(S(2,1))** в группе **Filter IL IR** в окне просмотра проекта и выберите **Properties**. В открывшемся окне в поле **Data Source Name** введите **All Sources** и нажмите **OK**. Аналогично отредактируйте измеряемую величину **Filter: DB(S(1,1))**.

Щёлкните по значку **Tune** на панели инструментов. Перемещая движки на блоке настройки, подстройте схему. При этом учитывайте размер ячеек сетки для будущей электромагнитной структуры. Выберем размер ячеек 0.05 мм по осям X и Y. Тогда размеры должны быть кратными 0.05 м. Вариант характеристики схемы после настройки показан на рис. 2.29.

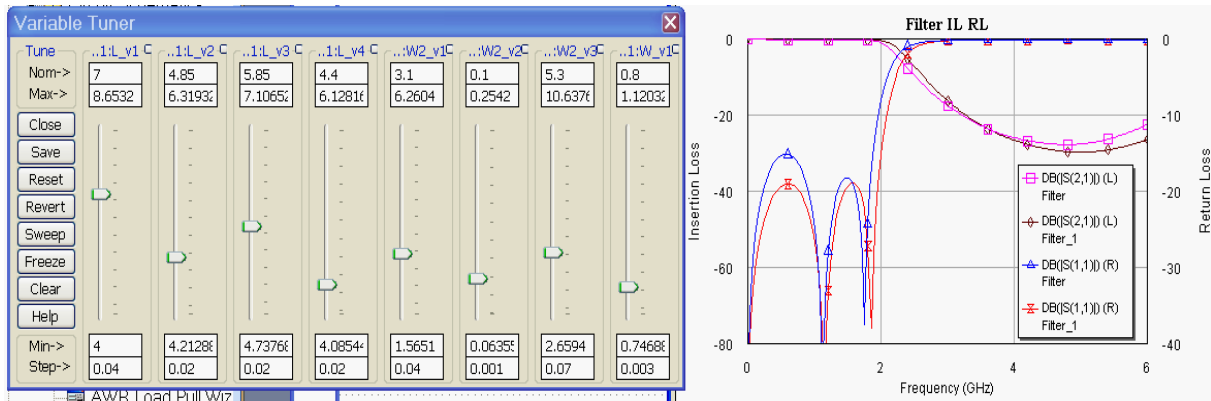


Рис. 2.29

Первичная схема **Filter** больше не нужна и её можно удалить.

Откройте окно схемы **Filter\_1** и щёлкните по значку **View Layout** на панели инструментов. Открывается окно топологии схемы. Выберите в меню **Edit>Select All**, чтобы выделить всю топологию, и щёлкните по значку **Snap Together** на панели инструментов, чтобы исправить отображение топологии. Полученная топология схемы показана на рис. 2.30.

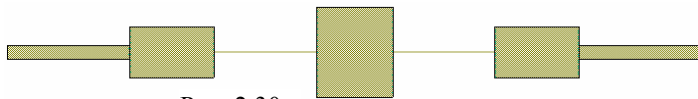


Рис. 2.30

Щёлкая по значку **Measure** на панели инструментов, измерьте размеры топологии, они получились 39.8 x 5.3.

Щёлкните по значку **Add New EM Structure** на панели инструментов.

Введите имя структуры **FN**, отметьте симулятор **AWR EMSight Simulator** и нажмите **Create**.

Щёлкните по значку **Substrate Information** на панели инструментов.

На вкладке **Enclosure** в поле **X\_Dim** введите **39.8**, в поле **Y\_Dim** введите **7.2**, в поля **Grid\_X** и **Grid\_Y** введите **0.05**.

На вкладке **Material Defs** введите **Er=10.2**, **TanD=0.001**.

На вкладке **Dielectric Layers** введите толщину 1-го слоя (**Air**) **6** мм, толщину второго слоя (**Diel\_1**) **1** мм. Нажмите **OK**.

Откройте окно топологии схемы, выделите всю топологию и щёлкните по значку **Copy** на панели инструментов.

Откройте окно электромагнитной структуры и щёлкните по значку **Paste** на панели инструментов. Вставьте скопированную структуру в корпус, симметрично относительно боковых стенок.

При всей выделенной топологии щёлкните по любому элементу топологии правой кнопкой мышки, выберите **Shape Properties** и введите **2** для слоя **EM Layer** и материал **1/2oz Cu**. Нажмите **OK**.

Выделяя входной и выходной проводники и щёлкая по значку **Edge Port** на панели инструментов, добавьте порты на входе и выходе со сдвигом референсных плоскостей 2 мм. Для этого дважды щёлкните по установленному порту мышкой и введите **2** в поле **Ref. Plane Distance**. Должна получиться структура, показанная на рис. 2.31.

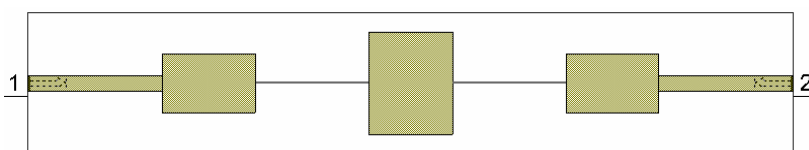


Рис. 2.31

Щёлкните правой кнопкой мышки по имени электромагнитной структуры **FN** и выберите **Options**. На вкладке **Frequencies** снимите отметку в **Use project defaults**. Отметьте **Replace**, в поле **Start [GHz]**

введите **0**, в поле **Stop [GHz]** введите **6**, в поле **Step [GHz]** введите **0.5** и нажмите **Apply**. На вкладке **EM-Sight** отметьте **Enable AFS** и нажмите **OK**.

Откройте окно графика и щёлкните по значку **Analyze** на панели инструментов. Полученный график показан на рис. 2.32.

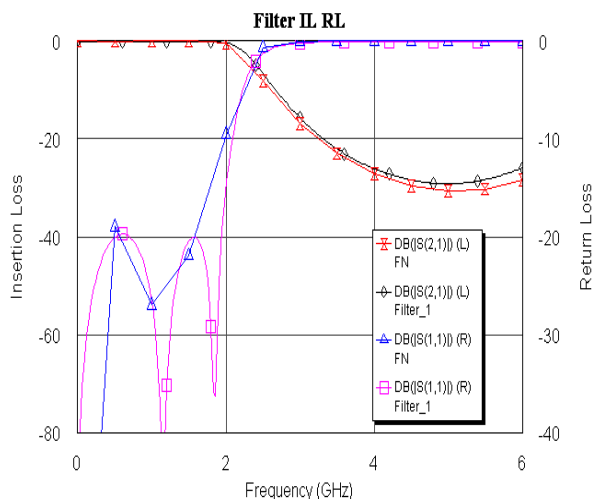


Рис. 2.32

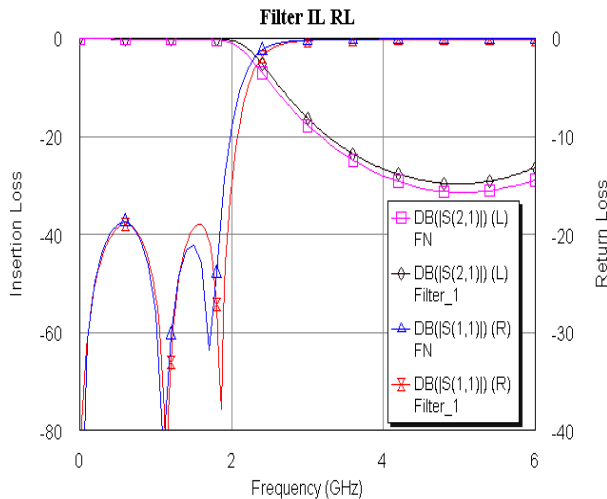


Рис. 2.33

Чтобы просмотреть график более подробно, добавьте ещё несколько частот. Снова щёлкните правой кнопкой мышки по имени электромагнитной структуры **FN** и выберите **Options**. На вкладке **Frequencies** замените шаг на **0.1** и нажмите **Apply** и **OK**. Щёлкните по значку **Analyze** на панели инструментов. Полученный график показан на рис. 2.33. Обратите внимание, что при включённом **AFS** добавление точек внутри диапазона, анализ в добавленных точках не выполняется, значения в этих точках определяются аппроксимацией полученных ранее результатов.

В данном случае результаты электромагнитного анализа хорошо совпадают с результатами схемного анализа.

## 2.2.2. Фильтр нижних частот с частотой среза 10 ГГц.

Требования: частота среза 10 ГГц, ослабление на частоте 16 ГГц не менее 40 дБ, подложка – R04003C толщиной  $h=0.305$  мм.

Откройте iFilter. Щёлкните по кнопке типов фильтра. В открывшемся окне **Select Filter Type** щёлкните по кнопкам **Lowpass** и **Microstrip**.

В списке **Main Filter Type** отметьте **Optimum Distributed Lowpass Filter** (оптимальный распределённый низкочастотный фильтр). В списке **Options** отметьте **20dB Return Loss** (20 дБ обратные поте-

ри). Нажмите **OK**.

Щёлкните по кнопке **Environment Options**, на вкладке **Units** открывшегося окна отметьте единицы измерения **mm** и **GHz**, нажмите **Применить** и **OK**.

В области **Specifications** введите **7** в поле **degree**, **10** в поле **Fp[GHz]**, **40** в поле **ElecLng[deg]** (электрическая длина в градусах).

Щёлкая по кнопке **Add** под схемой, установите маркеры на частотах **10** и **16** ГГц.

Щёлкните по кнопке **NS** ниже графика.

В области **Design Control** щёлкните по кнопке **Design Options**.

На вкладке **Realization** отметьте **Add input and output lines to the layout** и **Splint shunt impedances if smaller than Zmin**, введите в поле ввода **30**.

На вкладке **Technology** (рис. 2.34) в поле **Substrate Er** введите **3.55**, в поле **Height(H)[mm]** (толщина подложки) введите **0.305**, в поле **Cond. Thickness(t)[mm]** (толщина проводника) введите

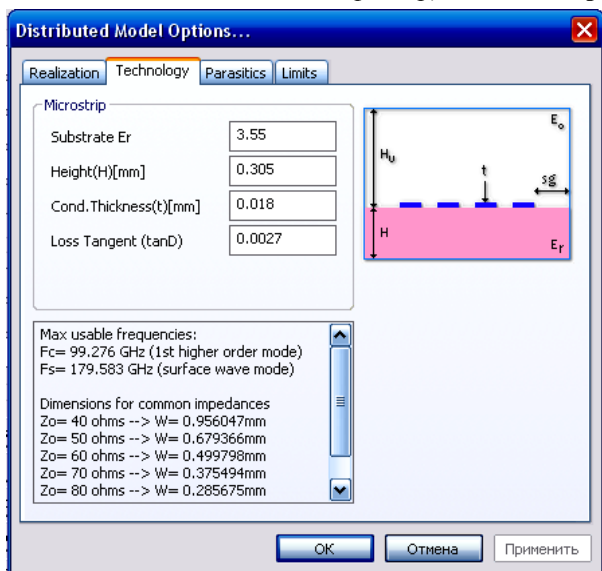


Рис. 2.34

**0.018**, в поле **Loss Tangent (tanD)** введите **0.0027**.

Нажмите **Применить** и **OK**.

Слева от графика нажмите кнопку **REAL**.

Основное окно со схемой в области отображения результатов будет выглядеть, как показано на рис. 2.35.

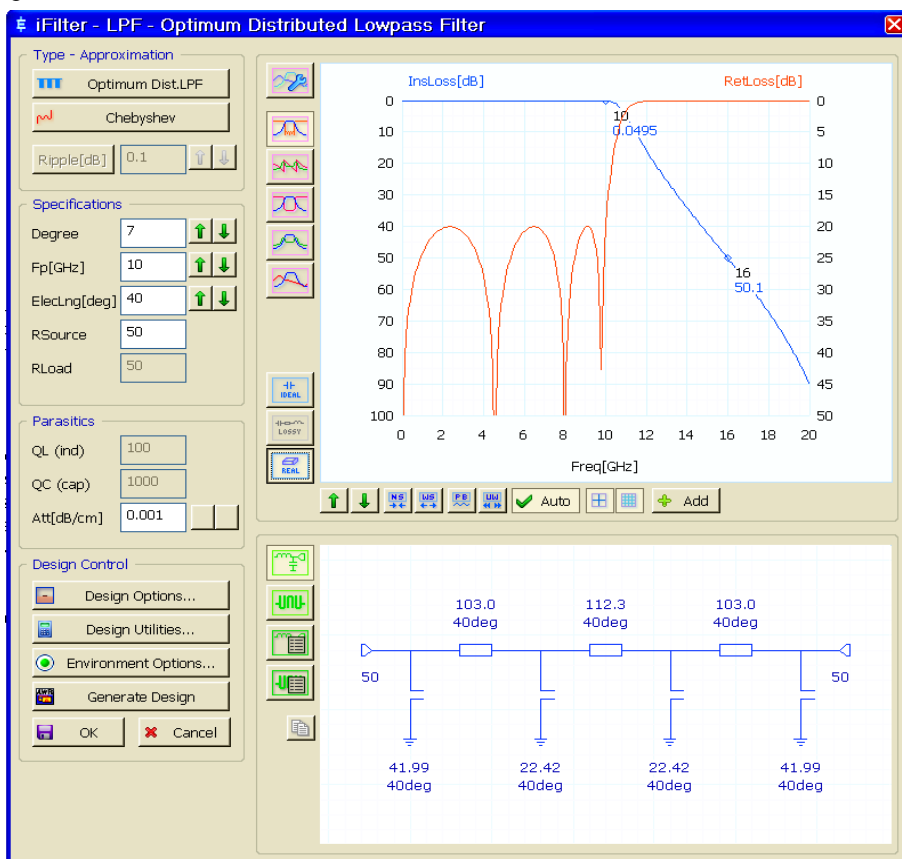


Рис. 2.35

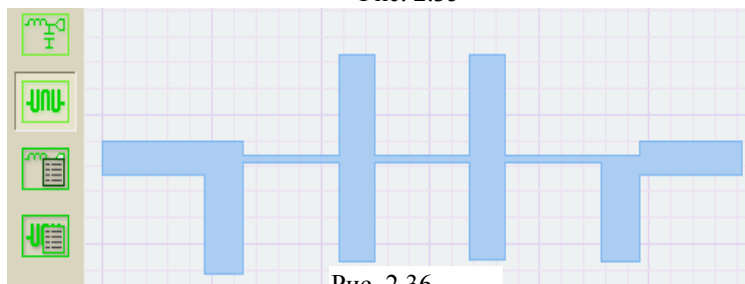


Рис. 2.36

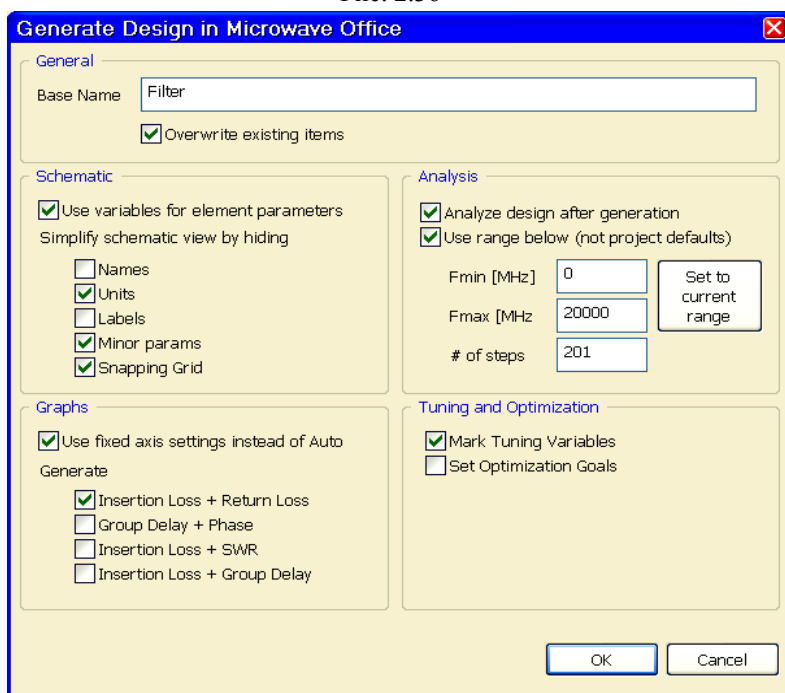


Рис. 2.37

Щёлкните по значку **View Layout** слева от схемы. Синтезированная топология показана на рис. 2.36.

Передайте синтезированную схему в MWO. Для этого щёлкните по кнопке **Generate Design**.

Откроется окно **Generate Design in Microwave Office** с опциями экспорта (рис. 2.37).

В области **General** в поле **Base Name** введите **Filter**. В этой же области отметьте **Overwrite existing items**.

В области **Schematic** отметьте **Use variables for element parameters**. В списке ниже этой опции отметьте элементы схемы, которые желательно скрыть для упрощения отображения схемы.

В области **Graphs** отметьте **Use fixed axis settings instead of Auto**. В этой же области отметьте тип графика **Insertion Loss + Return Loss**.

В области **Analysis** отметьте **Analyze design after generation**, чтобы анализ был выполнен сразу после передачи схемы в MWO, и **Use range below (not project defaults)**, чтобы для анализа использовать частоты, переданные из iFilter, а не частоты, установленные в проекте.

В этой же области в поля **Fmin [MHz]** и **Fmax [MHz]** введите минимальную **0** и максимальную **20000** частоты для анализа. Или щёлкните по кнопке **Set to current range**, чтобы установить текущие частоты в iFilter.

В области **Tuning and Optimization** отметьте **Mark Tuning Variables**, чтобы назначить переменные для настройки. В поле **# of steps** введите количество точек для анализа **201**.

Нажмите **OK**. Затем нажмите **OK** в окне программы iFilter. В MWO будет передана схема, показанная на рис. 2.38.



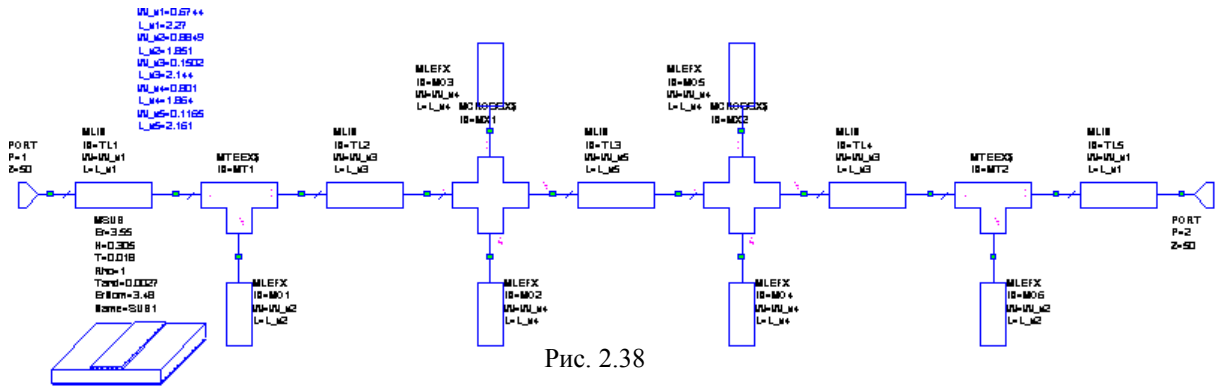


Рис. 2.38

График будет выглядеть, как показано на рис. 2.39. Эта характеристика получена при значениях переменных, показанных на рис. 2.40 и она удовлетворяет поставленным требованиям.

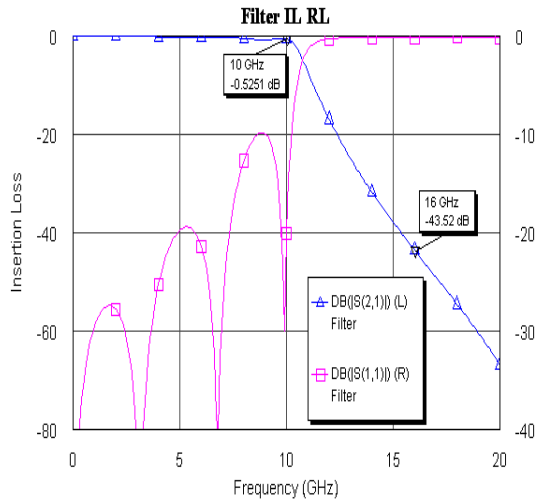


Рис. 2.39

$W_{v1}=0.6744$      $W_{v1}=0.7$   
 $L_{v1}=2.27$        $L_{v1}=2.3$   
 $W_{v2}=0.8849$      $W_{v2}=0.9$   
 $L_{v2}=1.851$        $L_{v2}=1.85$   
 $W_{v3}=0.1502$      $W_{v3}=0.15$   
 $L_{v3}=2.144$        $L_{v3}=2.15$   
 $W_{v4}=0.801$       $W_{v4}=0.8$   
 $L_{v4}=1.864$        $L_{v4}=1.9$   
 $W_{v5}=0.1165$      $W_{v5}=0.1$   
 $L_{v5}=2.161$        $L_{v5}=2.15$

Рис. 2.40

Рис. 2.41

Откройте окно схемы и, дважды щёлкая по значениям переменных, отредактируйте значения переменных так, чтобы они были кратными 0.05 мм (рис. 2.41).

Откройте окно графика и щёлкните по кнопке **Analyze** на панели инструментов. Убедитесь, что график почти не изменился.

Откройте окно схемы **Filter** и щёлкните по значку **View Layout** на панели инструментов. Откроется окно топологии

схемы. Выберите в меню **Edit>Select All**, чтобы выделить всю топологию, и щёлкните по значку **Snap Together** на панели инструментов, чтобы исправить отображение топологии. Полученная топология схемы показана на рис. 2.42.

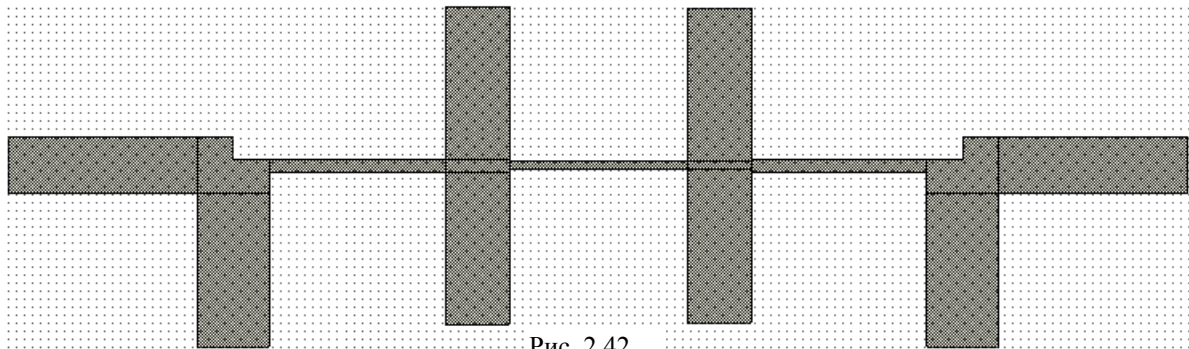


Рис. 2.42

Щёлкая по значку **Measure** на панели инструментов, измерьте размеры топологии, они получились 14.45 x 4.175.

Щёлкните по значку **Add New EM Structure** на панели инструментов. Введите имя структуры **FN**, отметьте симулятор **AWR EMSight Simulator** и нажмите **Create**.

Щёлкните по значку **Substrate Information** на панели инструментов.

На вкладке **Enclosure** в поле **X\_Dim** введите **14.45**, в поле **Y\_Dim** введите **5**, в поля **Grid\_X** и **Grid\_Y** введите **0.05**.

На вкладке **Material Defs** введите **Er=3.55**, **TanD=0.0027**.

На вкладке **Dielectric Layers** введите толщину 1-го слоя (**Air**) **2** мм, толщину второго слоя (**Diel\_1**) **0.305** мм. Нажмите **OK**.

Откройте окно топологии схемы, выделите всю топологию и щёлкните по значку **Copy** на панели инструментов.

Откройте окно электромагнитной структуры и щёлкните по значку **Paste** на панели инструментов. Вставьте скопированную структуру в корпус, симметрично относительно боковых стенок.

Выделите входной проводник, щёлкните по значку **Edge Port** на панели инструментов, добавьте порт на входе фильтра. Сдвиньте референсную плоскость на 1 мм. Для этого дважды щёлкните по установленному порту мышкой и введите **1** в поле **Ref. Plane Distance**. Аналогично установите порт на выходе фильтра. Должна получиться структура, показанная на рис. 2.43.

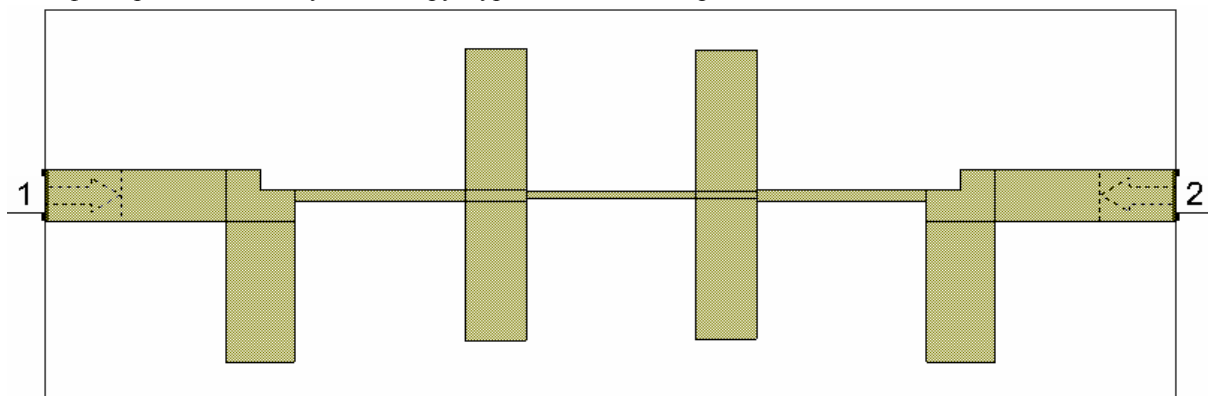


Рис. 2.43

Выделите всю топологию, щёлкните правой кнопкой мышки по любому выделенному элементу и выберите **Shape Properties**. В открывшемся окне свойств введите **2** в поле **EM Layer**, введите материал **1/2oz Cu** и нажмите **OK**.

Щёлкните правой кнопкой мышки по имени измеряемой величины **Filter:DB(S(2,1))** в группе **Filter IL IR** в окне просмотра проекта и выберите **Properties**. В открывшемся окне в поле **Data Source Name** введите **All Sources**. Аналогично отредактируйте измеряемую величину **Filter: DB(S(1,1))**.

Щёлкните правой кнопкой мышки по имени электромагнитной структуры **FN** и выберите **Options**. На вкладке **Frequencies** снимите отметку в **Use project defaults**. Отметьте **Replace**, в поле **Start [GHz]** введите **0**, в поле **Stop [GHz]** введите **20**, в поле **Step [GHz]** введите **1**, нажмите **Apply**.

На вкладке **EMSight** отметьте **Enable AFS** и нажмите **OK**.

Откройте окно графика и щёлкните по значку **Analyze** на панели инструментов. Полученный график показан на рис. 2.44.

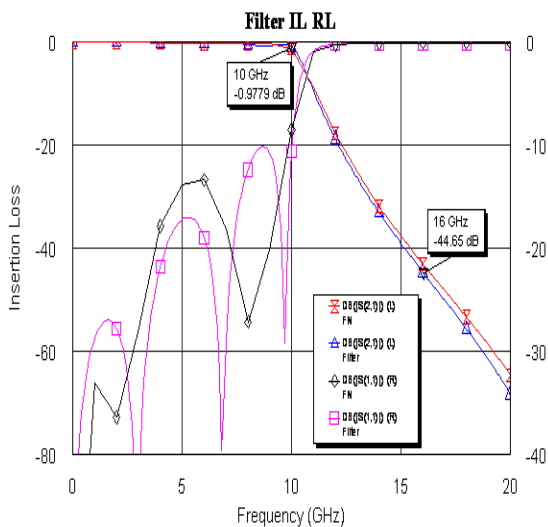


Рис. 2.44

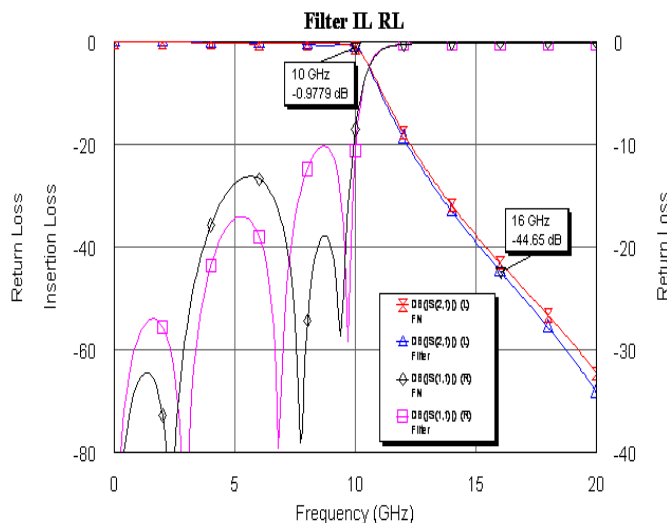


Рис. 2.45

Чтобы просмотреть график более подробно, добавьте ещё несколько частот. Снова щёлкните правой кнопкой мышки по имени электромагнитной структуры **FN** и выберите **Options**. На вкладке **Frequencies** замените шаг на **0.1**, нажмите **Apply** и **OK**. Полученный график показан на рис. 2.45.

### 2.2.3. Полосно-пропускающий фильтр с боковыми связями 3 – 3.1 ГГц.

Требования: пятирезонаторный фильтр с полосой пропускания 3 – 3.1 ГГц на материале R04003C толщиной 0.305 мм.

Откройте iFilter. Щёлкните по кнопке типов фильтра. В открывшемся окне **Select Filter Type** щёлкните по кнопкам **Bandpass** и **Microstrip**.

В списке **Main Filter type** отметьте **Edge Coupled Bandpass Filter**. В списке **Options** отметьте **Standard**. Нажмите **OK**.

Щёлкните по второй кнопке в области **Type-Approximation** и выберите тип характеристики **Chebyshev**.

В поле **Ripple[dB]** введите величину пульсаций в полосе **0.1**.

Щёлкните по кнопке **Environment Options**, на вкладке **Units** открывшегося окна отметьте единицы измерения **mm** и **GHz**, нажмите **Применить** и **OK**.

В области **Specifications** введите **5** в поле **degree**, **3.05** в поле **F0[GHz]**, **0.1** в поле **BW[GHz]**, **50** в поле **RSource**.

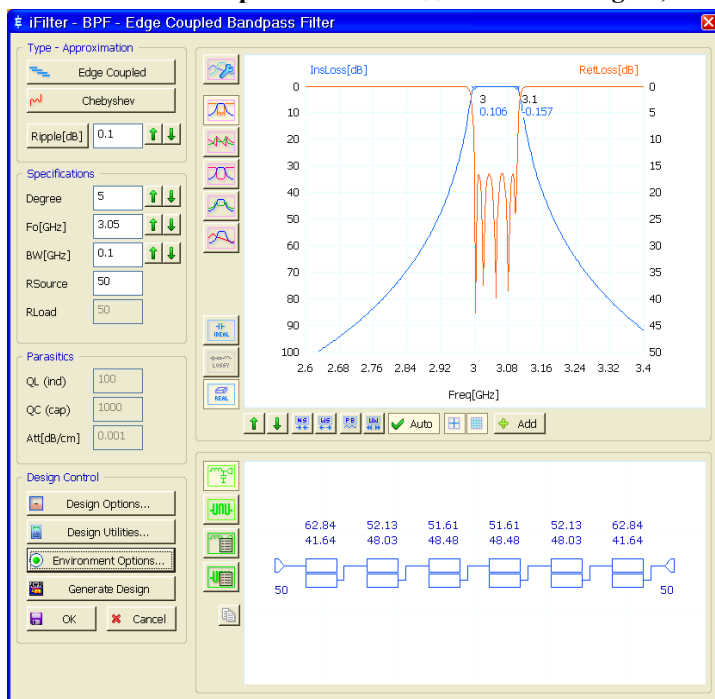


Рис. 2.46

Щёлкните по верхней кнопке

**Edit Chart Settings**



слева от схемы.

В открывшемся окне **Chart Settings** отметьте кнопку **IL+RL**. В поле **Fmin [GHz]** введите **2.6**, в поле **Fmax [GHz]** введите **3.4**. Щёлкните по кнопке **Markers** и установите маркеры на частотах **3** и **3.1** ГГц. Нажмите **Apply** и **OK**.

В области **Design Control** щёлкните по кнопке **Design Options**.

На вкладке **Realization** отметьте **Add input and output lines to the layout**.

На вкладке **Technology** в поле **Substrate Er** введите **3.55**, в поле **Height(H)[mm]** введите **0.305**, в поле **Cond. Thickness(t)[mm]** (толщина проводника) введите **0.018**, в поле **Loss Tangent (tanD)** введите **0.0027**. Нажмите **Применить** и **OK**.

Слева от графика нажмите кнопку **REAL**.

Основное окно со схемой в области отображения результатов будет выглядеть, как показано на рис. 2.46.

Щёлкните по значку **View Layout** слева от схемы. Синтезированная топология показана на рис.



Рис. 2.47

2.47.

Передать синтезированную схему в MWO. Для этого щёлкните по кнопке **Generate Design**. Открывается окно **Generate Design in Microwave Office** с опциями экспорта.

В области **General** в поле **Base Name** введите **Filter**. В этой же области отметьте **Overwrite existing items**.

В области **Schematic** отметьте **Use variables for element parameters**. В списке ниже этой опции отметьте элементы схемы, которые желательно скрыть для упрощения отображения схемы.

В области **Graphs** отметьте **Use fixed axis settings instead of Auto**. В этой же области отметьте тип графика **Insertion Loss + Return Loss**.

В области **Analysis** отметьте **Analyze design after generation**, чтобы анализ выполнялся сразу после передачи в MWO, и **Use range below (not project defaults)**, чтобы для анализа использовать частоты, переданные из iFilter, а не частоты, установленные в проекте.

В этой же области в поля **Fmin [MHz]** и **Fmax [MHz]** введите минимальную **2600** и максимальную **3400** частоты для анализа. Или щёлкните по кнопке **Set to current range**, чтобы установить текущие частоты в iFilter.

В области **Tuning and Optimization** отметьте **Mark Tuning Variables**, чтобы назначить переменные для настройки. В поле **# of steps** введите количество точек для анализа **201**. Нажмите **OK**.

Затем нажмите **OK** в основном окне программы iFilter. В MWO появятся экспортированная схема (рис. 2.48) и график (рис. 2.49).

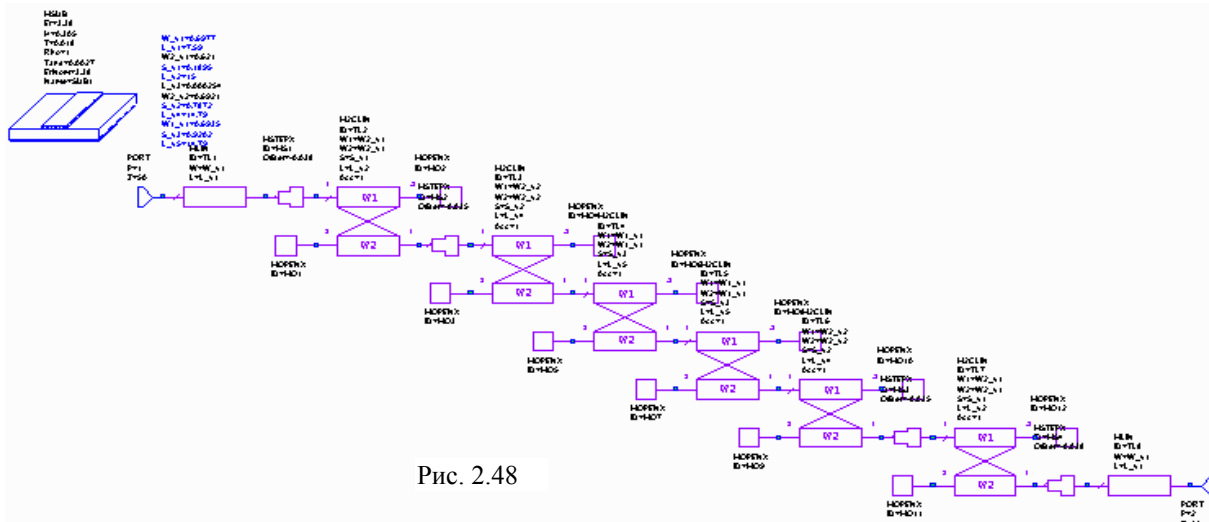


Рис. 2.48

Щёлкните по полученному графику правой кнопкой мышки, выберите **Properties**, установите

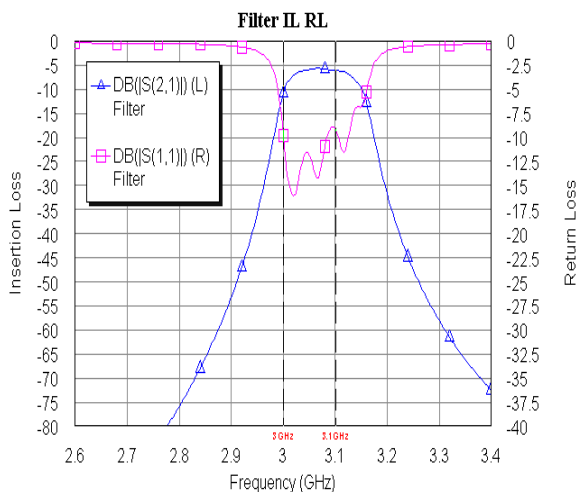


Рис. 2.49

$W_{v1}=0.6744$   
 $L_{v1}=7.441$   
 $W2_{v1}=0.5999$   
 $S_{v1}=0.1911$   
 $L_{v2}=14.71$   
 $L_{v3}=0.000254$   
 $W2_{v2}=0.6687$   
 $S_{v2}=0.7804$   
 $L_{v4}=14.5$   
 $W1_{v1}=0.6701$   
 $S_{v3}=0.9102$   
 $L_{v5}=14.49$

Рис. 2.50

шаг по оси X равным **0.1** и по оси Y – равным **5**. Нажмите **Apply** и **OK**. Удалите переданные из iFilter маркеры. Снова щёлкните по графику правой кнопкой мышки и выберите **Add Vertical Line Marker**. Установите вертикальную линию маркера на частоту 3 ГГц. Аналогично установите такой же маркер на частоту 3.1 ГГц. График будет выглядеть, как на рис. 2.49. Для удобства чтения маркеров можно изменить шрифт маркеров в свойствах графика. Характеристика фильтра получилась немного сдвинутой

вверх по частоте. Её можно подстроить, используя инструмент настройки MWO. Откройте окно схемы. Обратите внимание, что не все переменные назначены для настройки (рис. 2.50). Щёлкните по значку **Tune Tool** на панели инструментов и назначьте для настройки переменные **W2\_v1** и **W2\_v2**. Переменная **L\_v1** определяет длину входной и выходной линий. Её можно уменьшить, дважды щёлкнув по ней мышкой и изменив значение, например на **3**. Переменная **W\_v1** определяет ширину входного и выходного проводников. Округлит её до значения 0.65. Переменные **L\_v1** и **W\_v1** исключите из настройки, щёлкнув по ним инструментом **Tune Tool**, т.к. они практически не влияют на характеристику. Переменная **L\_v3** определяет длину элемента разомкнутого конца **MOPENX** и ей можно присвоить значение **0**. Щёлкните по значку **Tune** на панели инструментов. Подстройте значения параметров элементов схемы, причём сделайте их кратными 0.05 мм, чтобы можно было использовать сетку с таким размером ячеек. Настроенный график может выглядеть, как показано на рис. 2.51.

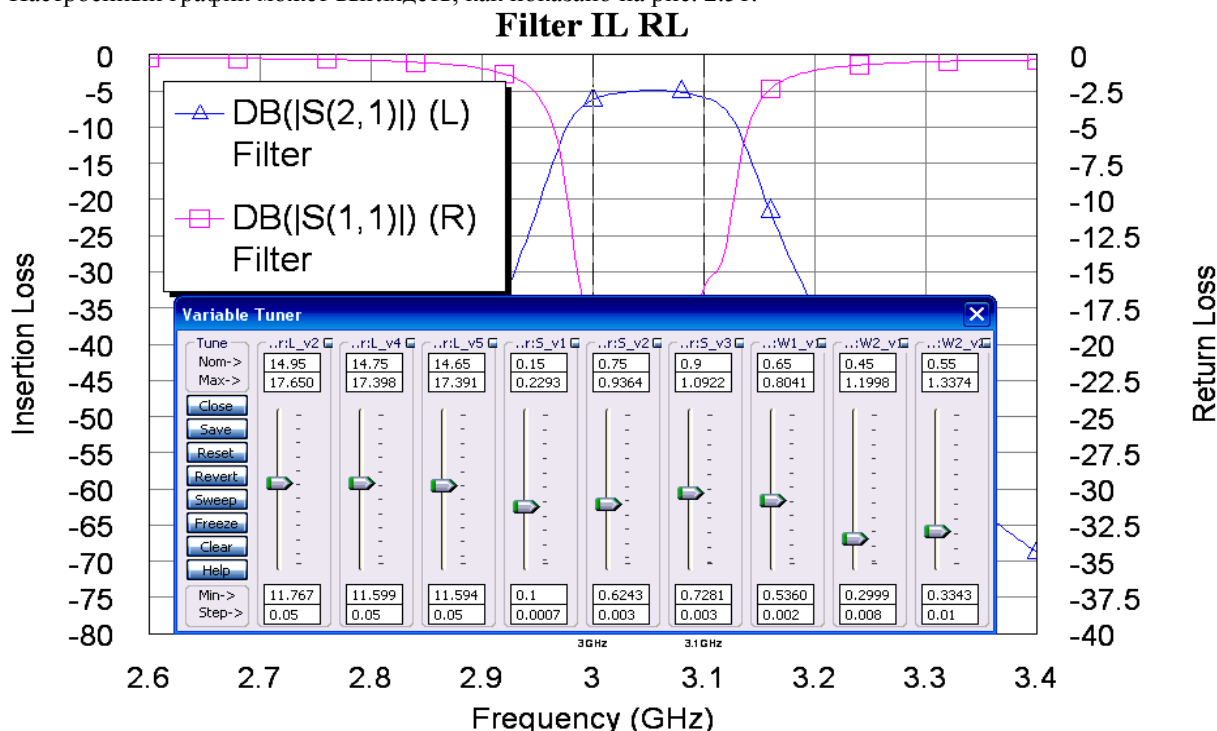


Рис. 2.51

Откройте окно схемы. **Обратите внимание на следующее:**

- У элементов скачков сопротивления **MSTEPX** параметр смещения **Offset** относительно центральной линии передан из iFilter числовым значением и при настройке он автоматически не изменяется.
- Между элементами отрезков связанных линий **ID=TL3** и **ID=TL4**, которые имеют разную ширину проводников, а так же между элементами **ID=TL5** и **ID=TL6** не вставлен элемент скачка сопротивлений.

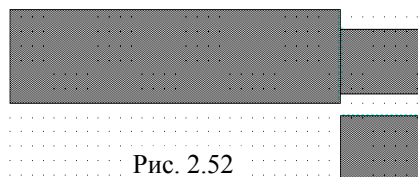


Рис. 2.52

Это приведёт к тому, что при создании топологии схемы элементы топологии будут соединены неправильно, как, например, показано на рис. 2.52.

Исправить это можно разными способами. Можно создать топологию схемы и затем её отредактировать. А можно отредактировать сначала саму схему.

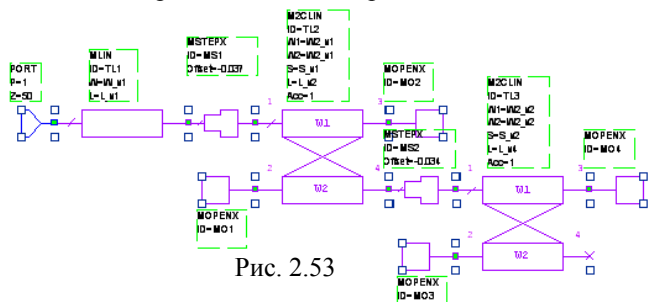


Рис. 2.53

Нажмите клавишу **Shift** и, щёлкая по элементам, отметьте элементы схемы от порта P1 до элементов ID=TL3 и ID=MO4. Нажмите клавишу **Ctrl**, установите курсор на любой выделенный элемент, нажмите левую кнопку мышки и сдвиньте выделенные элементы влево от схемы, прервав их связь со схемой (рис. 2.53). Скопируйте любой элемент скачка сопротивлений (например, MS1) и подключите его к свободной левой клемме правой части схемы (т.е. к элементу ID=TL4). Выделите все элементы сдвинутой части схемы и подключите их к левой клемме вставленного элемента скачка сопротивлений. Дважды щёлкните по вставленному элементу и введите  $W1=W2\_v2$ ,  $W2=W1\_v1$ .

Аналогично вставьте элемент скачка сопротивлений между элементами связанных линий ID=TL5 и ID=TL6 и для него введите  $W1=W1\_v1$ ,  $W2=W2\_v2$ .

Параметр смещения проводников относительно центральной линии определяется как отрицательная полуразность ширин соединяемых проводников, т.е., например, для первого элемента ID=MS1 и последнего элемента ID=MS4 этот параметр будет равен  $Offset = (W2\_v1 - W\_v1)/2 = (0.45 - 0.65)/2 = -0.1$ . Для остальных элементов скачка сопротивлений  $Offset = -0.05$ . Заметим, что вместо числовых значений можно для определения  $Offset$  в окне свойств элемента писать соответствующее уравнение. Отредактируйте соответственно элементы скачка сопротивлений. Схема будет выглядеть, как показано на рис. 2.54.

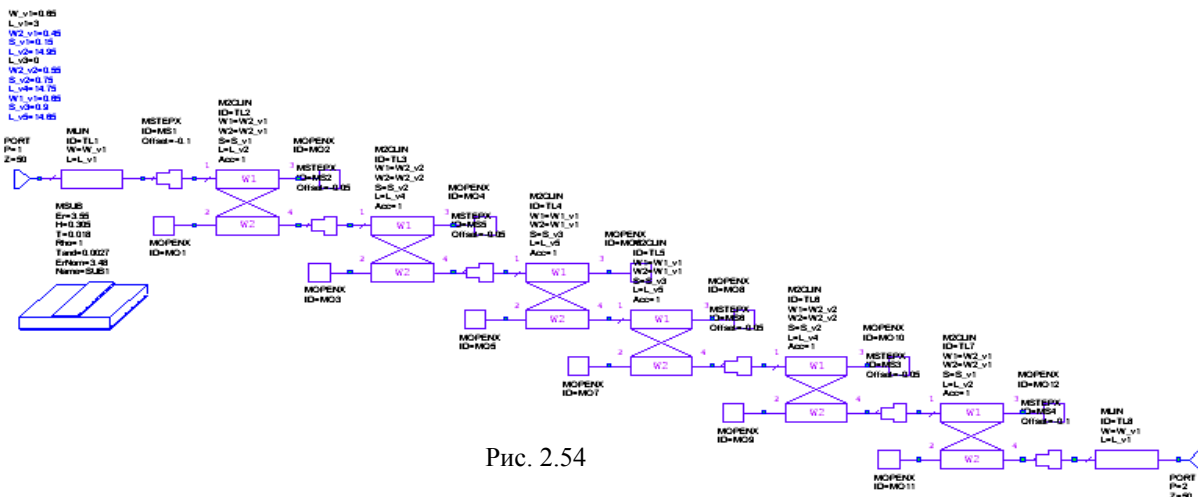


Рис. 2.54

Щёлкните по значку **View Layout** на панели инструментов. Выберите в меню **Edit>Select All** и щёлкните по значку **Snap Together** на панели инструментов, чтобы соединить элементы топологии. Созданная топология схемы показана на рис. рис. 2.55.

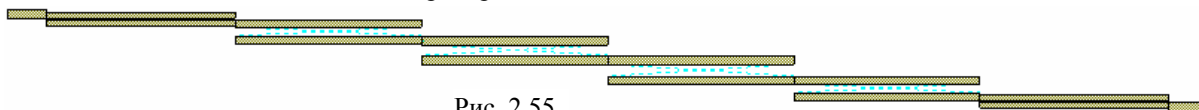


Рис. 2.55

Измерьте длину и ширину топологии, получилось примерно 94.7x7.95.

Щёлкните по значку **Add New EM Structure** на панели инструментов. Введите имя структуры **Fil**, отметьте **AWR EMSight Simulator** и нажмите **Create**.

Щёлкните по значку **Substrate Information**. На вкладке **Enclosure** введите  $X\_Dim=94.7$ ,  $Y\_Dim=10$ ,  $Grid\_X=0.05$  и  $Grid\_Y=0.05$ . На вкладке **Material Defs** введите  $Er=3.55$ ,  $TanD=0.0027$ . На вкладке **Dielectric Layers** введите для слоя 1 толщину 3 и для слоя 2 толщину 0.305. Нажмите **OK**.

Откройте окно топологии схемы, выделите всю топологию и скопируйте её в буфер.

Откройте окно электромагнитной структуры и вставьте в неё скопированную топологию симметрично относительно корпуса.

Выделите всю топологию и щёлкните по значку **Union** на панели инструментов, чтобы объединить соприкасающиеся проводники. Щёлкните правой кнопкой мышки по любому выделенному проводнику, выберите **Shape Properties**, в поле **EM Layer** введите 2 и определите материал 1/2oz Cu, нажмите **OK**.

Выделите входной проводник, щёлкните по значку **Edge Port** и установите порт на входе фильтра. Дважды щёлкните по установленному порту и в открывшемся окне установите смещение референсной плоскости 1 мм. Аналогично установите порт и сдвиг референсной плоскости на выходном проводнике.

Топология электромагнитной структуры будет выглядеть, как показано на рис. 2.56.

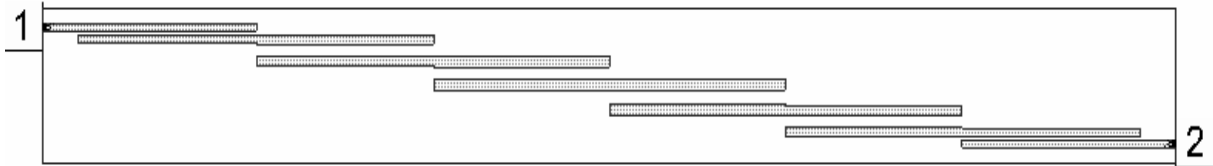


Рис. 2.56

Щёлкните правой кнопкой мышки по имени электромагнитной структуры в окне просмотра проекта и выберите **Options**.

На вкладке **Frequencies** снимите отметку в **Use project defaults** и введите диапазон частот от **2.6** до **3.4** с шагом **0.01**, нажмите **Apply**. На вкладке **EM Sight** отметьте **Enable AFS** и нажмите **OK**.

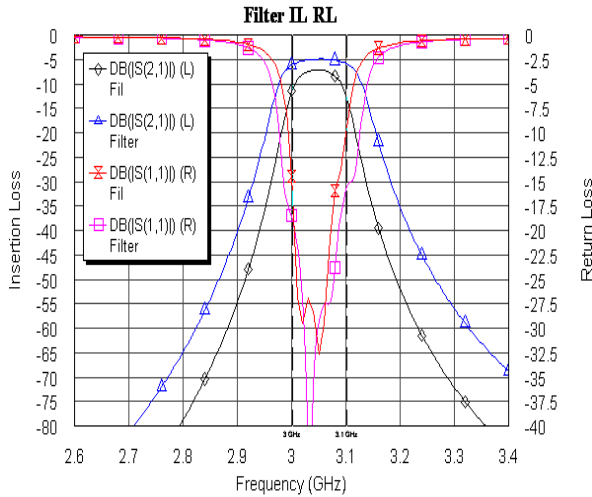


Рис. 2.57

Щёлкните правой кнопкой мышки по имени измеряемой величины **Filter:DB(S(2,1))** в группе графика в окне просмотра проекта и выберите **Properties**. В поле **Data Source Name** введите **All Sources**, нажмите **OK**. Аналогично отредактируйте измеряемую величину **Filter:DB(S(1,1))**.

Откройте окно графика и щёлкните по значку **Analyze** на панели инструментов. Полученный график электромагнитной структуры показан на рис. 2.57. Полоса пропускания получилась узкой.

Для получения требуемой характеристики уменьшить зазоры между проводниками. Это можно сделать разными способами. Можно вернуться в iFilter и откорректировать исходные данные с учётом полученных результатов. Можно отредактировать топологию

W\_v1=0.65  
L\_v1=3  
W2\_v1=0.45  
S\_v1=0.15  
L\_v2=14.95  
L\_v3=0  
W2\_v2=0.55  
S\_v2=0.55  
L\_v4=14.75  
W1\_v1=0.65  
S\_v3=0.7  
L\_v5=14.65

электромагнитной структуры или топологию схемы. Или можно отредактировать параметры элементов в схеме.

Откройте окно схемы. Уменьшите величину зазоров, кроме крайних (переменные **S\_v2** и **S\_v3**), на 0.2. Переменные получают значения, как на рис. 2.58.

Откройте окно топологии схемы. Выделите все элементы топологии и щёлкните по значку **Snap Together** на панели инструментов, чтобы соединить все топологические элементы. Скопируйте топологию в буфер обмена.

Откройте окно электромагнитной структуры и удалите топологию из корпуса. Вставьте в корпус скопированную топологию из буфера обмена симметрично корпусу и измените соответственно длину корпуса.

Назначьте проводникам материал **1/2oz Cu** и установите порты со сдвигом референсных плоскостей 1 мм.

Рис. 2.58

Откройте окно графика и щёлкните по кнопке **Analyze** на панели инструментов. Полученный график показан на рис. 2.59. Создайте график **WSVR** (рис. 2.60).

Полученный график удовлетворяет требованиям по полосе пропускания, но согласование не очень хорошее. Уменьшите крайние зазоры на 0.1 мм.

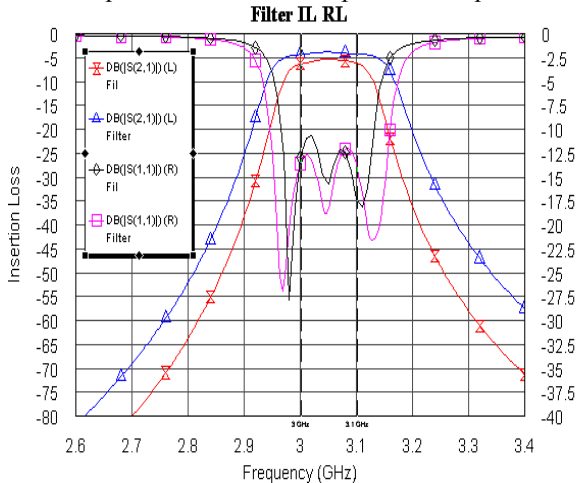


Рис. 2.59

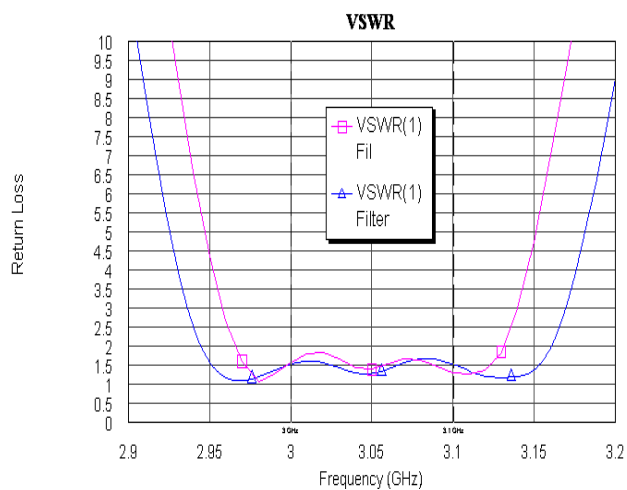


Рис. 2.60

Откройте окно электромагнитной структуры и увеличьте масштаб отображения входного проводника и выделите его (рис. 2.61).

Установите курсор на выделенный проводник, нажмите левую кнопку мышки и затем нажмите клавишу **Tab**. В открывшемся окошке отметьте **Rel**, введите **dy=-0.05** и нажмите **OK**, чтобы сдвинуть этот проводник вниз. Аналогично сдвиньте выходной проводник вверх, введя **dy=0.05**.

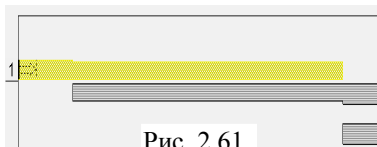


Рис. 2.61

Откройте окно графика и щёлкните по кнопке **Analyze** на панели инструментов. Полученные графики показаны на рис. 2.62 и 2.63.

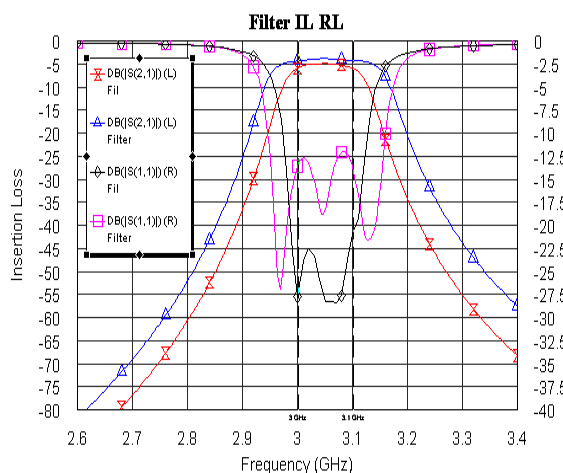


Рис. 2.62

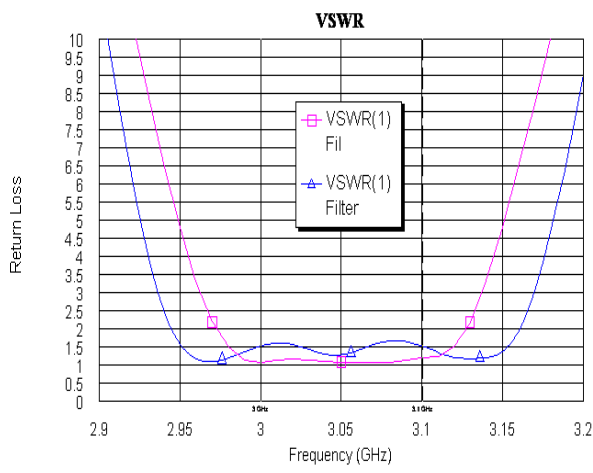


Рис. 2.63

## 2.2.4. Полосно-пропускающий фильтр со ступенчатыми резонаторами 1.9–2.1 ГГц.

Требования: пятирезонаторный фильтр с полосой пропускания 1.9 – 2.1 ГГц на материале поликор толщиной 1 мм.

Откройте iFilter. Щёлкните по кнопке типов фильтра. В открывшемся окне **Select Filter Type** щёлкните по кнопкам **Bandpass** и **Microstrip**.

В списке **Main Filter type** отметьте **Stepped Impedance Resonator Filter**. В списке **Options** отметьте **Standard**. Нажмите **OK**.

Щёлкните по второй кнопке в области **Type-Approximation** и выберите тип характеристики **Chebyshev**.

В поле **Ripple[dB]** введите величину пульсаций в полосе **0.1**.

Щёлкните по кнопке **Environment Options**, на вкладке **Units** открывшегося окна отметьте единицы измерения **mm** и **GHz**, нажмите **Применить** и **OK**.

В области **Specifications** введите **5** в поле **degree**, **2** в поле **F0[GHz]**, **0.2** в поле **BW[GHz]**, **75** в поле **Line Z<sub>0</sub>**, **50** в поле **RSource**.

Щёлкните по верхней кнопке **Edit Chart Settings** слева от схемы. В открывшемся окне **Chart Settings** отметьте кнопку **IL+RL**. В поле **Fmin [GHz]** введите **1.6**, в поле **Fmax [GHz]** введите **2.6**.

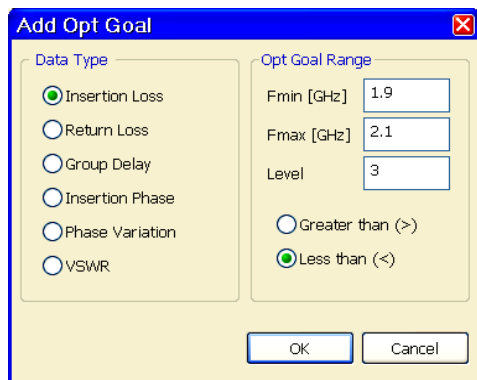


Рис. 2.64

Щёлкните по кнопке **Markers** и установите маркеры на частотах **1.9** и **2.1** ГГц.

Щёлкните по кнопке **Opt Goals** и затем по кнопке **Add**. Откроется окно для установки цели оптимизации рис. 2.64. Установите цель оптимизации в полосе пропускания. Для этого в поле **Fmin [GHz]** введите **1.9**, в поле **Fmax [GHz]** введите **2.1** и в поле **Level (Уровень)** введите **3**. Отметьте **Less than (<)** и нажмите **OK**. Т.е. целью является получение потерь меньше 3-х дБ в полосе пропускания. Установите цель оптимизации в нижней полосе заграждения. Снова щёлкните по кнопке **Add**. В поле **Fmin [GHz]** введите **0**, в поле **Fmax [GHz]** введите **1.7** и в поле **Level** введите **40**. Отметьте **Greater than (>)** и нажмите **OK**. Установите цель оптимизации в верхней полосе заграждения. Снова щёлкните по кнопке **Add**. В поле **Fmin [GHz]** введите **2.3**, в поле **Fmax [GHz]** введите **3** и в поле **Level** введите **40**. Отметьте **Greater than (>)** и нажмите **OK**.

В окне **Chart Settings** нажмите **Apply** и **OK**.

Цель оптимизации будет отображена на графике в основном окне iFilter.

В области **Design Control** щёлкните по кнопке **Design Options**.

На вкладке **Realization** отметьте **Add input and output lines to the layout**, **Bend/fold long lines when appropriate** (Поворачивать/изгибать длинные линии, если возможно) и **Alternate input port to save diagonal space**, чтобы порты были расположены на одном уровне.

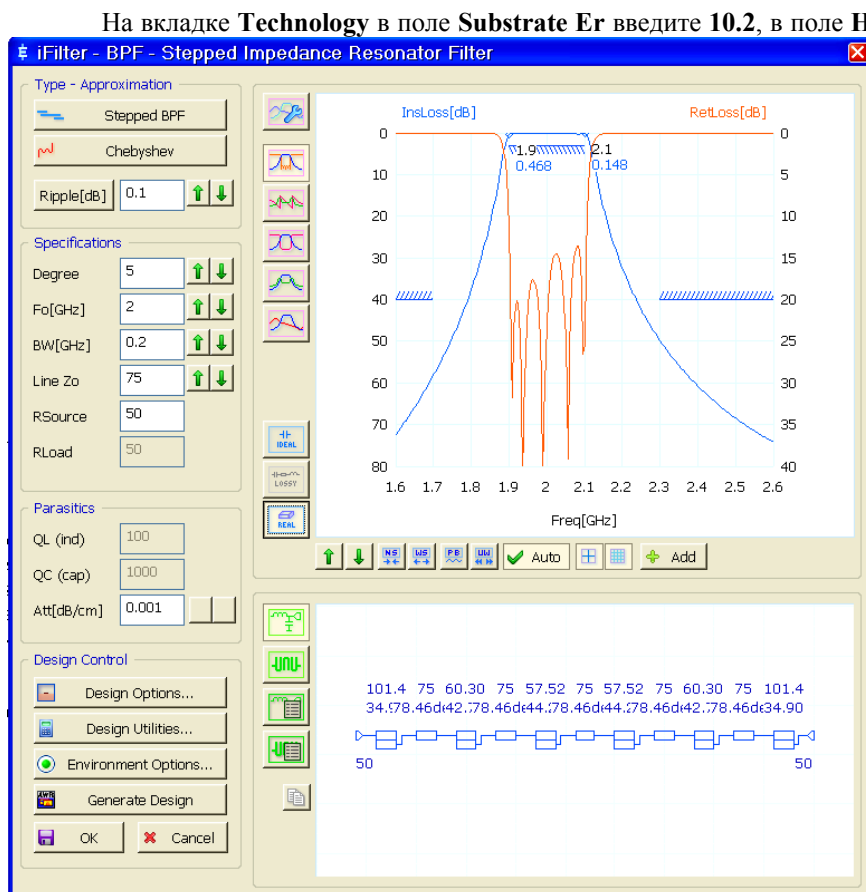


Рис. 2.65

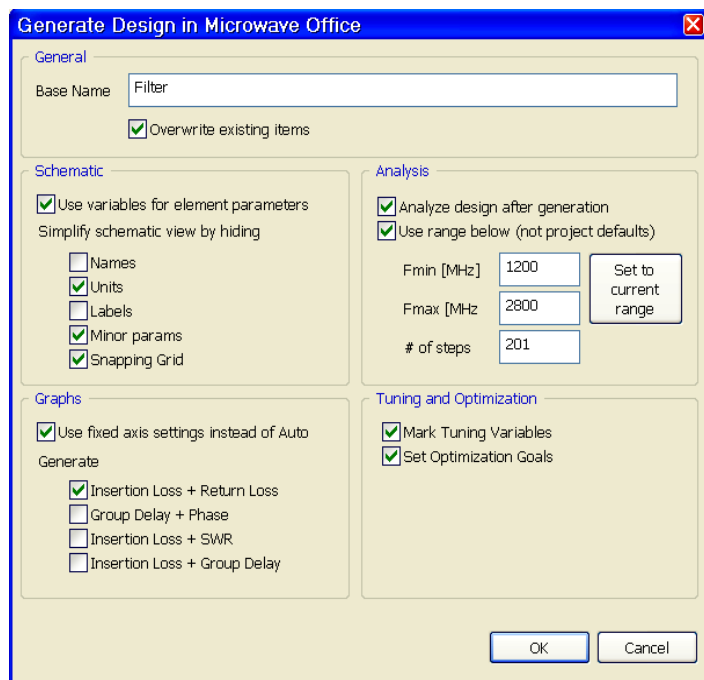


Рис. 2.66

В этой же области в поля **Fmin [MHz]** и **Fmax [MHz]** введите минимальную **1200** и максимальную **2800** частоты для анализа.

В области **Tuning and Optimization** отметьте **Mark Tuning Variables**, чтобы назначить переменные для настройки. Отметьте **Set Optimization Goals**, чтобы передать в MWO цели оптимизации. Нажмите **OK**.

Затем нажмите **OK** в основном окне программы iFilter.

Расчитанный в MWO график показан на рис. 2.67. Полоса пропускания синтезированного фильтра меньше требуемой.

Выберите в меню **Simulate>Optimize**. В открывшемся окне **Optimizer** можно оставить установленные по умолчанию. Щёлкните по кнопке **Start**. Полученный после оптимизации график показан на рис. 2.68. На граничных частотах после оптимизации ослабление получилось несколько больше требуемого. Мож-

На вкладке **Technology** в поле **Substrate Er** введите **10.2**, в поле **Height(H)[mm]** введите **1**, в поле **Cond. Thickness(t)[mm]** (толщина проводника) введите **0.005**, в поле **Loss Tangent (tanD)** введите **0.001**. Нажмите **Применить** и **OK**.

Слева от графика нажмите кнопку **REAL**.

Основное окно со схемой в области отображения результатов будет выглядеть, как показано на рис. 2.65.

Передайте синтезированную схему в MWO. Для этого щёлкните по кнопке **Generate Design**.

Откроется окно с опциями экспорта (рис. 2.66).

В области **General** в поле **Base Name** введите имя для экспортированной схемы, например **Filter**. В этой же области отметьте **Overwrite existing items**, если хотите заменить существующую схему с таким же именем.

В области **Schematic** отметьте **Use variables for element parameters**, если хотите, чтобы в MWO были созданы переменные для настройки схемы. В списке ниже этой опции отметьте элементы схемы, которые желательно скрыть для упрощения отображения схемы.

В области **Graphs** отметьте **Use fixed axis settings instead of Auto**, если хотите, чтобы масштаб по оси **Y** был фиксированным, а не устанавливался автоматически в зависимости от рассчитанного диапазона единиц измерений. В этой же области отметьте тип графика **Insertion Loss + Return Loss**.

В области **Analysis** отметьте **Analyze design after generation**, чтобы в MWO анализ был выполнен сразу после передачи проекта в MWO. Так же отметьте **Use range below (not project defaults)**, чтобы для анализа использовать частоты, переданные из iFilter, а не частоты, установленные в проекте.



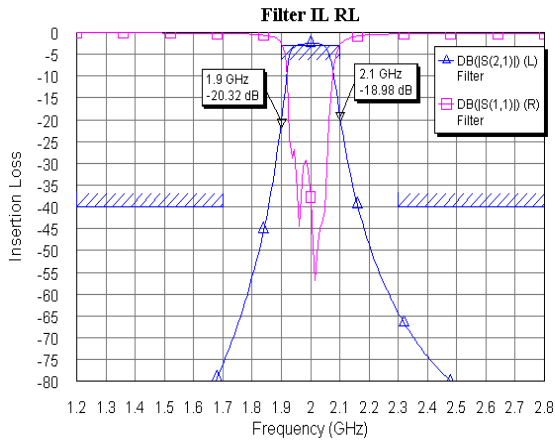


Рис. 2.67

$W_{v1}=1.114$      $W_{v1}=1.1$   
 $L_{v1}=8.2$          $L_{v1}=3$   
 $W2_{v1}=0.3961$     $W2_{v1}=0.4$   
 $S_{v1}=0.1266$      $S_{v1}=0.1$   
 $L_{v2}=7.703$        $L_{v2}=7.5$   
 $L_{v3}=0.000254$     $L_{v3}=0.000254$   
 $W2_{v2}=0.3393$     $W2_{v2}=0.3$   
 $L_{v4}=10.6$          $L_{v4}=10.6$   
 $W2_{v3}=0.8602$     $W2_{v3}=0.8$   
 $S_{v2}=0.6599$      $S_{v2}=0.6$   
 $L_{v5}=7.395$        $L_{v5}=7.3$   
 $W2_{v4}=0.8902$     $W2_{v4}=0.9$   
 $S_{v3}=0.8568$      $S_{v3}=0.8$   
 $L_{v6}=7.351$        $L_{v6}=7.3$

Рис. 2.69

Рис. 2.70

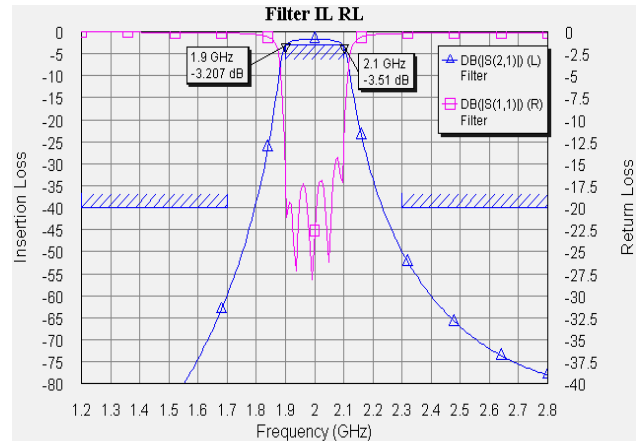


Рис. 2.68

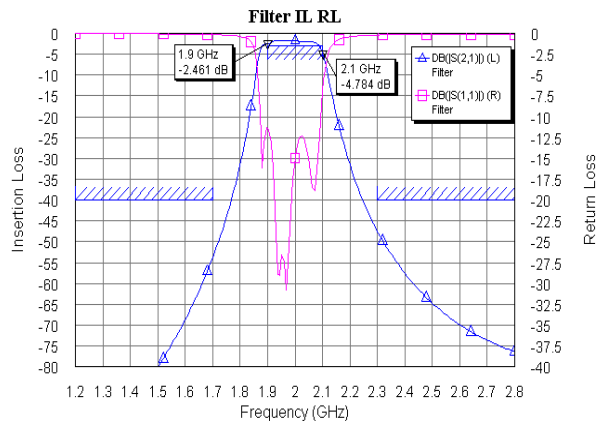


Рис. 2.71

$W_{v1}=1.1$   
 $L_{v1}=3$   
 $W2_{v1}=0.4$   
 $S_{v1}=0.1$   
 $L_{v2}=7.4$   
 $L_{v3}=0.000254$   
 $W2_{v2}=0.3$   
 $L_{v4}=10.6$   
 $W2_{v3}=0.8$   
 $S_{v2}=0.6$   
 $L_{v5}=7.2$   
 $W2_{v4}=0.9$   
 $S_{v3}=0.8$   
 $L_{v6}=7.2$

Рис. 2.72

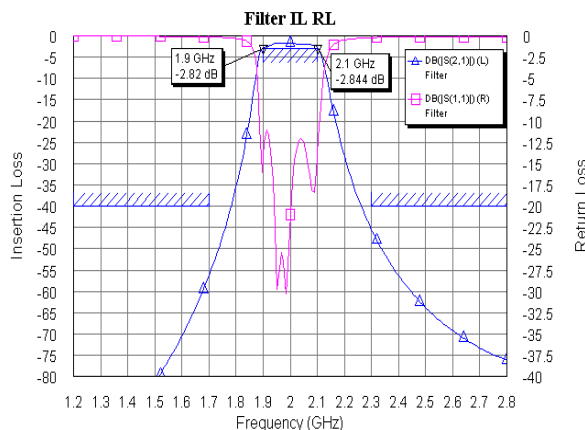


Рис. 2.73

ширить.

Откройте окно схемы и отредактируйте значения переменных, как показано на рис. 2.70. Переменная  $L_{v1}$  представляет собой длину входной и выходной линии и её значение не принципиально, например, её можно уменьшить. Переменная  $L_{v3}$  в схеме не используется, поэтому на неё можно не обращать внимания.

Откройте окно графика и щёлкните по значку **Analyze**. Рассчитанный график после округления переменных показан на рис. 2.71. Характеристика немного сдвинута вниз и её можно сдвинуть вверх, укоротив длину отрезков связанных линий, т.е. уменьшив значения переменных  $L_{v2}$ ,  $L_{v5}$  и  $L_{v6}$  на



Рис. 2.74

0.1 мм (рис. 2.72). Характеристика после такой корректировки будет, как на рис. 2.73. Откройте окно схемы, она будет выглядеть, как на рис. 2.74.

но попробовать другой метод оптимизации, или подстроить характеристику с помощью инструмента настройки. Однако нет гарантии, что результаты электромагнитного анализа с хорошей точностью совпадут с полученными результатами в схемном

анализе. Поэтому можно считать, что полученная схема является хорошим приближением для создания электромагнитной структуры. Полученные значения переменных в схеме после оптимизации показаны на рис. 2.69. В электромагнитной структуре будем использовать сетку с размером ячеек 0.1 мм. Поэтому округлим значения переменных с точностью до 0.1. Причём величины зазоров будем округлять в меньшую сторону, т.к. нам желательно полосу пропускания рас-

Поскольку мы изменили ширину проводников, нужно откорректировать в элементах скачка сопротивления параметр сдвига осевых линий **Offset** для правильного соединения проводников. Причём это нужно сделать только для двух крайних элементов. Для остальных лучше этот параметр оставить равным нулю, чтобы проводники соединялись без сдвига осевых линий.

Для первого элемента скачка сопротивлений  $Offset = (W2_{v1} - W_{v1})/2 = (0.4 - 1.1)/2 = -0.35$ . Дважды щёлкните по этому элементу (**ID=MS1**) и введите **Offset = -0.35**. Для последнего элемента скачка аналогично введите **Offset = 0.35**.

Щёлкните по значку **View Layout** на панели инструментов, чтобы создать топологию схемы. Выберите в меню **Edit>Select All** и щёлкните по значку **Snap Together** на панели инструментов, чтобы соединить элементы топологии. На панели инструментов в окошке значка **Grid Spacing** оставьте значение по умолчанию **1x**, чтобы размер ячеек сетки был равен 0.1 мм. Топология схемы будет, как показано на рис. 2.75.

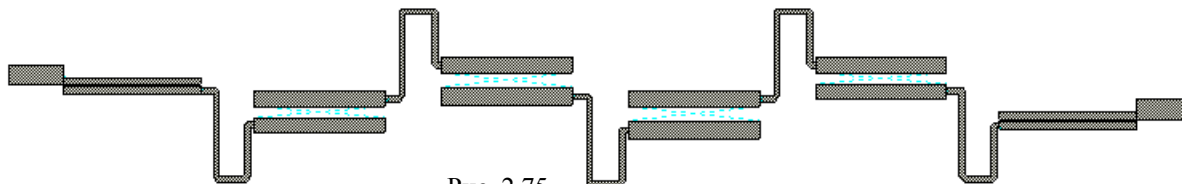


Рис. 2.75

Обратите внимание на следующее:

- Входной и выходной проводники расположены не совсем на одном уровне, что обычно не принципиально.
- Не все элементы топологии совпадают с сеткой. Поэтому для электромагнитной структуры лучше

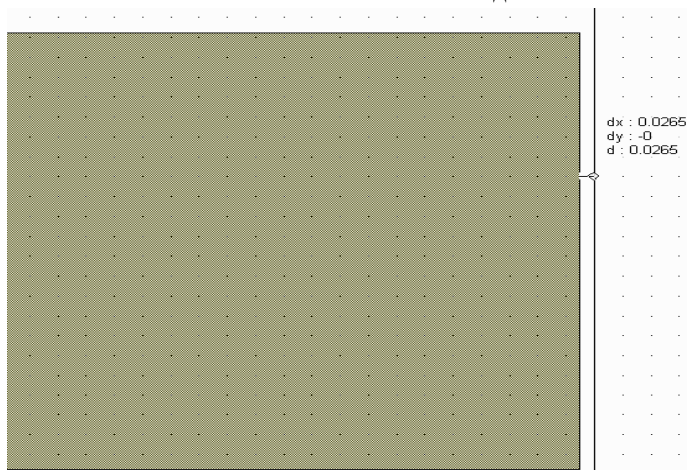


Рис. 2.76

взять сетку с меньшим размером ячеек 0.05 мм, чтобы анализ выполнялся точнее.

Используя элемент измерения **Measure**, измерьте длину и ширину топологии. Эти размеры получились примерно 64.273x9.629.

Щёлкните по значку **Add New EM Structure** на панели инструментов. Введите имя структуры **Fil**, отметьте **AWR EM-Sight Simulator** и нажмите **Create**.

Щёлкните по значку **Substrate Information**. На вкладке **Enclosure** введите **X\_Dim=64.3**, **Y\_Dim=11.6**, **Grid\_X=0.05** и **Grid\_Y=0.05**. На вкладке **Material Defs** введите **Er=10.2**, **TanD=0.0001**. На вкладке **Dielectric Layers** введите для слоя 1 тол-

щину **6** и для слоя 2 толщину **1**. Нажмите **OK**.

Откройте окно топологии схемы, выделите всю топологию и скопируйте её в буфер.

Откройте окно электромагнитной структуры и вставьте в неё скопированную топологию симметрично относительно корпуса, так чтобы левый край входного проводника точно совпал с краем корпуса. Выделите в большом масштабе правый край топологии (рис. 2.76). Измерьте расстояние от края проводника до стенки корпуса, в данном случае оно получилось 0.0265 мм.

Дважды щёлкните по выходному проводнику, установите курсор на ромбик посередине правой стороны проводника, нажмите левую кнопку мышки и затем клавишу **Tab**. В открывшемся окне отметьте **Rel**, введите **dx=0.0265** и нажмите **OK**. Край проводника должен точно совпасть с краем корпуса.

Выделите всю топологию. Щёлкните правой кнопкой мышки по любому выделенному проводнику, выберите **Shape Properties**, введите слой **EM Layer=2** и определите материал **1/2oz Cu**, нажмите **OK**.

Выделите входной проводник, щёлкните по значку **Edge Port** и установите порт на входе фильтра. Дважды щёлкните по установленному порту и в открывшемся окне установите смещение референсной плоскости 2 мм. Аналогично установите порт и сдвиг референсной плоскости на выходном проводнике.

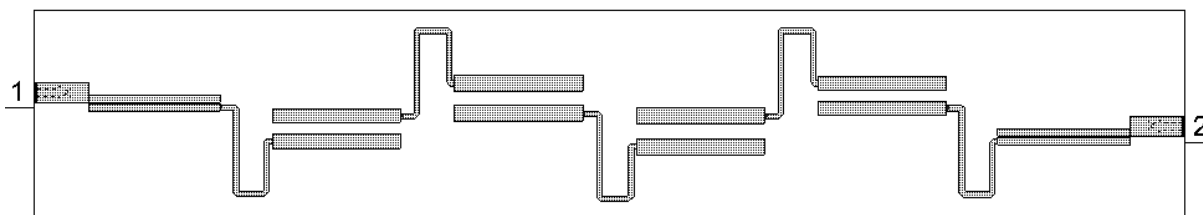


Рис. 2.77

Топология электромагнитной структуры будет выглядеть, как показано на рис. 2.77.

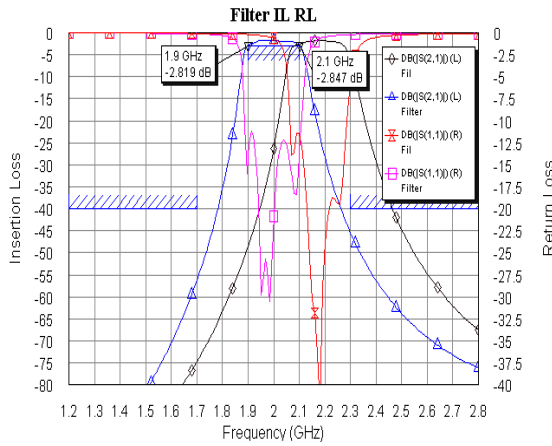


Рис. 2.78

Щёлкните правой кнопкой мышки по имени электромагнитной структуры в окне просмотра проекта и выберите **Options**.

На вкладке **Frequencies** снимите отметку в **Use project defaults** и введите диапазон частот от 1.2 до 2.8 с шагом 0.01, нажмите **Apply**. На вкладке **EM Sight** отметьте **Enable AFS** и нажмите **OK**.

Щёлкните правой кнопкой мышки по имени измеряемой величины **Filter:DB(S(2,1))** в группе графика в окне просмотра проекта и выберите **Properties**. В поле **Data Source Name** введите **All Sources**, нажмите **OK**. Аналогично отредактируйте измеряемую величину **Filter:DB(S(1,1))**.

Откройте окно графика и щёлкните по значку **Analyze** на панели инструментов. Полученный график электромагнитной структуры показан на рис. 2.78. Характеристика получилась сдвинутой вверх по частоте,

поэтому нужно увеличить длину резонаторов.

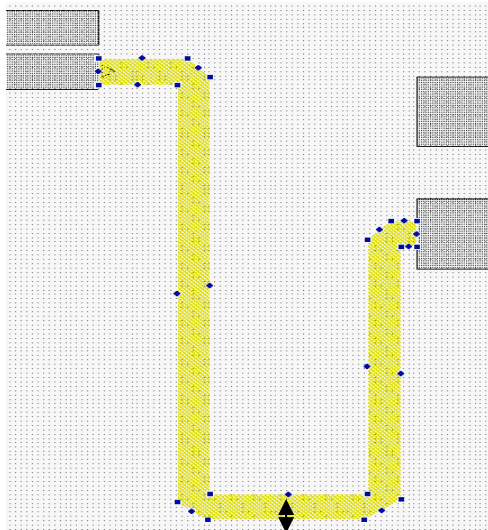


Рис. 2.79

Откройте окно электромагнитной структуры. Увеличьте масштаб отображения первого изгиба и дважды щёлкните по изгибу мышкой. Установите курсор на ромбик нижней стороны нижней полоски изгиба (рис. 2.79), нажмите левую кнопку мышки, затем клавишу **Shift** и сдвиньте эту сторону вниз на 1.1 мм. Не нажимая клавиши **Shift**, сдвиньте вниз на 1.1 мм левую верхнюю точку левого скоса. Аналогично сдвиньте вниз правую верхнюю точку правого сдвига. Затем так же сдвиньте верхнюю сторону нижней полоски изгиба.

Аналогично отредактируйте все изгибы, увеличивая их длину.

Увеличьте ширину корпуса до 13.4 мм и сдвиньте всю топологию симметрично относительно нового корпуса.

Откройте окно графика и щёлкните по значку **Analyze** на панели инструментов. Полученный график показан на рис. 2.80. Характеристика получилась более узкой. Чтобы её расширить, нужно уменьшить зазоры в связанных линиях, чтобы увеличить связь.

Откройте окно электромагнитной структуры. Нажмите клавишу **Shift** и выделите два верхних резонатора, щелкая по их элементам мышкой (рис. 2.81). Установите курсор на любой выделенный про-

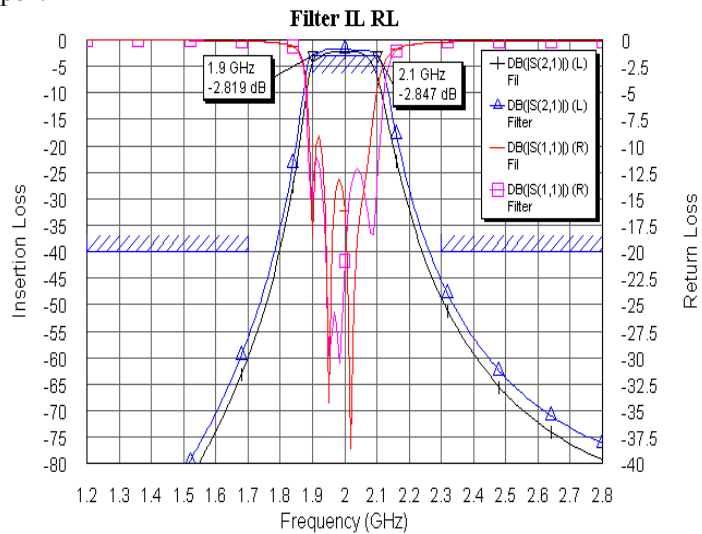


Рис. 2.80

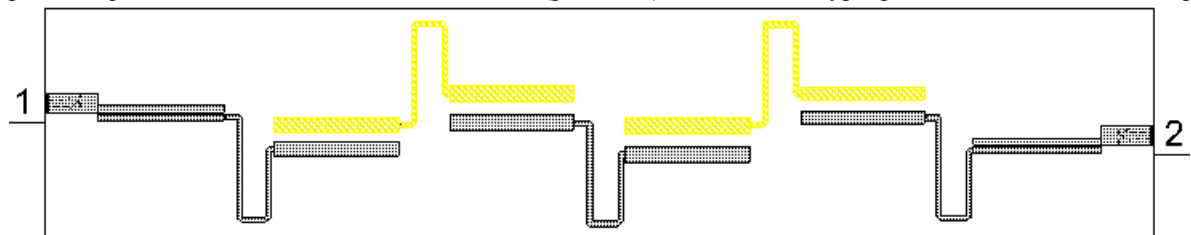


Рис. 2.81

водник, нажмите левую кнопку мышки и затем клавишу **Tab**. В открывшемся окне отметьте **Rel**, введите **dy = -0.1** и нажмите **OK**.

Откройте окно графика и щёлкните по значку **Analyze** на панели инструментов. Полученный график вносимого ослабления показан на рис. 2.82, а WSVR – на рис. 2.83.

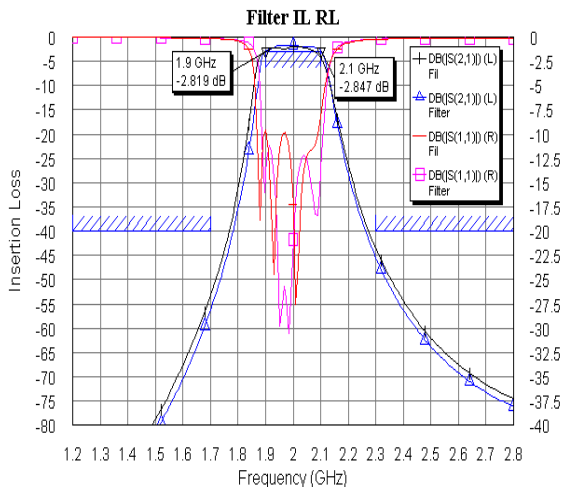


Рис. 2.82

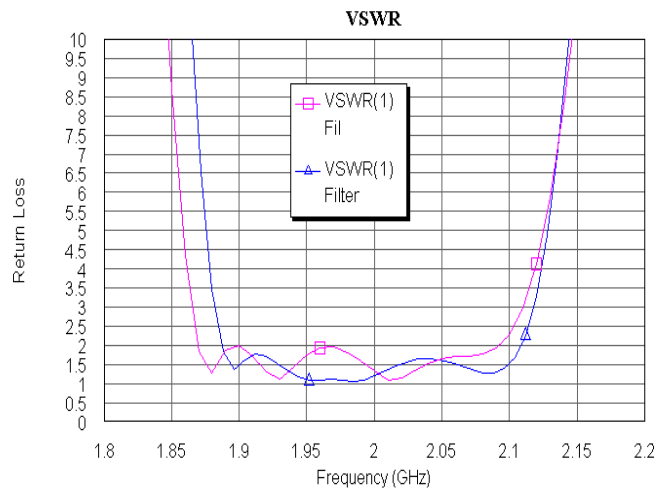


Рис. 2.83

Заметим, что описанный способ редактирования топологии не является единственным. Например, можно изменять не только длину изогнутых линий, но и связанных отрезков. При необходимости можно изменять и ширину проводников, и величину зазоров. Такие изменения, возможно, удобнее делать не в электромагнитной структуре, а в схеме, изменяя параметры элементов схемы.

## 2.2.5. Полосно-пропускающий шпилечный фильтр 4 – 4.5 ГГц.

Требования: пятирезонаторный фильтр с полосой пропускания 4 – 4.5 ГГц на материале с диэлектрической проницаемостью 40.5 и толщиной 0.36 мм.

Откройте iFilter. Щёлкните по кнопке типов фильтра. В открывшемся окне **Select Filter Type** щёлкните по кнопкам **Bandpass** и **Microstrip**.

В списке **Main Filter type** отметьте **Hairpin Bandpass Filter**. В списке **Options** отметьте **Standard Open ends**. Нажмите **OK**.

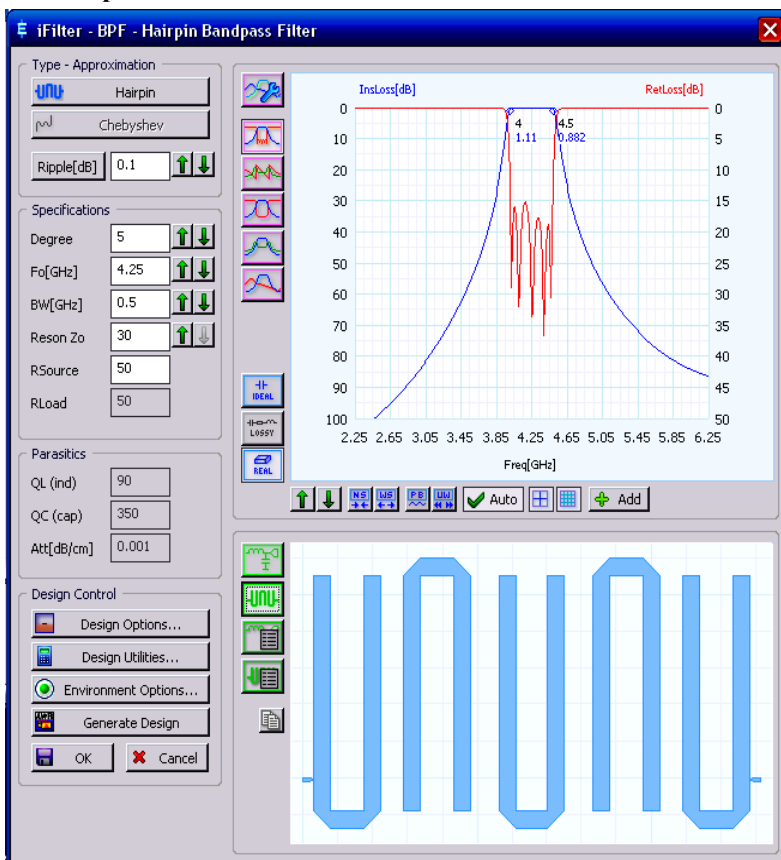


Рис. 2.84

В поле **Height(H)[mm]** введите **0.36**, в поле **Cond. Thickness(t)[mm]** (толщина проводника) введите **0.005**, в поле **Loss Tangent (tanD)** введите **0.001**. Нажмите **Применить** и **OK**.

Слева от графика нажмите кнопку **REAL**.

Основное окно с топологией в области отображения результатов будет выглядеть, как показано на рис. 2.84.

В поле **Ripple[dB]** введите величину пульсаций в полосе **0.1**.

Щёлкните по кнопке **Environment Options**, на вкладке **Units** открывшегося окна отметьте единицы измерения **mm** и **GHz**, нажмите **Применить** и **OK**.

В области **Specifications** введите **5** в поле **degree**, **4.25** в поле **Fo[GHz]**, **0.5** в поле **BW[GHz]**, **30** в поле **Reson Zo**, чтобы ширина проводников в шпильках была не слишком узкой, введите **50** в поле **RSource**.

Щёлкните по верхней кнопке **Edit Chart Settings**

слева от схемы. В открывшемся окне **Chart Settings** отметьте кнопку **IL+RL**. В поле **Fmin [GHz]** введите **2.25**, в поле **Fmax [GHz]** введите **6.25**. Щёлкните по кнопке **Markers** и установите маркеры на частотах **4** и **4.5** ГГц. Нажмите **Apply** и **OK**.

В области **Design Control** щёлкните по кнопке **Design Options**.

На вкладке **Technology** в поле **Substrate Er** введите **40,5**, в

Передайте синтезированную схему в MWO. Для этого щёлкните по кнопке **Generate Design**. Откроется окно **Generate Design in Microwave Office** с опциями экспорта (рис. 2.85).

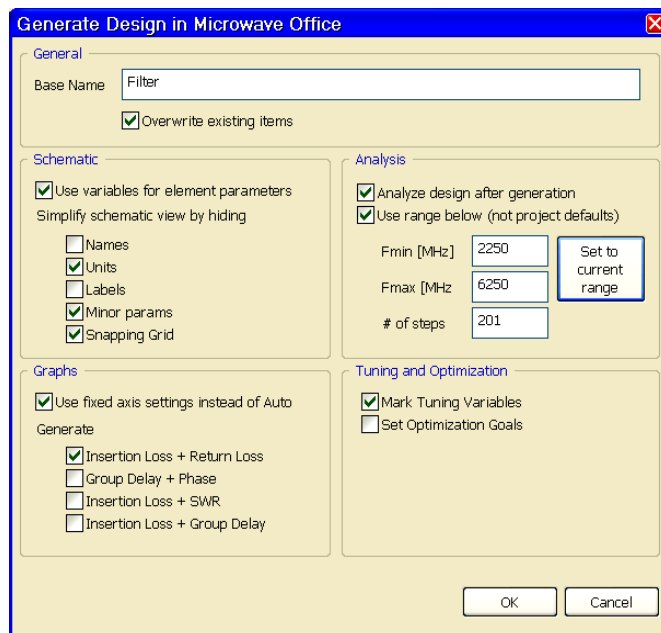


Рис. 2.85

Затем нажмите **OK** в основном окне программы iFilter. В MWO появятся экспортированная схема рис. 2.86 и график рис. 2.87.

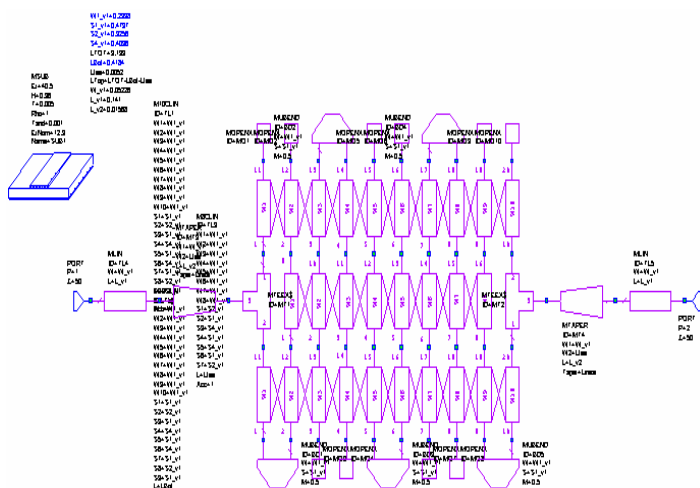


Рис. 2.86

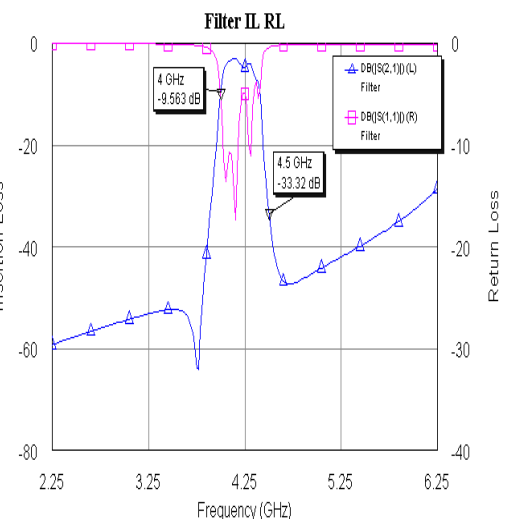


Рис. 2.87

К сожалению, характеристика далека от требуемой.

$W1\_v1=0.2398$   
 $S1\_v1=0.4797$   
 $S2\_v1=0.3256$   
 $S4\_v1=0.4036$   
 $LTOT=3.199$   
 $LBot=0.4184$   
 $Ltee=0.0052$   
 $LTop=LTOT-LBot-Ltee$   
 $W\_v1=0.05226$   
 $L\_v1=0.141$   
 $L\_v2=0.01568$

Рис. 2.88

Откройте окно схемы и обратите внимание на переданные переменные (рис. 2.88).

$W1\_v1$  – это ширина проводников в шпильках.

$S1\_v1$  – это расстояние между проводниками внутри шпильки. Оно одинаково во всех шпилек. Однако получить оптимальную характеристику часто удаётся получить при различных расстояниях между проводниками внутри шпильки. Поэтому добавьте ещё две переменные для второй и третьей шпильки (следующие шпильки должны быть симметричными относительно первых). Для этого скопируйте эту переменную в буфер. Затем два раза вставьте скопированную переменную в схему, изменив их имена на  $S1\_v2$  и  $S1\_v3$  и назначьте их для настройки. Дважды щёлкните по верхнему элементу связанных линий **M10CLIN (ID=TL1)** и введите для **S3** и **S7** значение  $S1\_v2$ , для **S5** введите значение  $S1\_v3$ . Аналогичные значения введите для нижнего элемента связанных линий **M10CLIN (ID=TL2)**. Для среднего элемента связанных линий **M8CLIN (ID=TL3)** для **S2** и **S6** введите значение  $S1\_v2$ , для **S4** введите значение  $S1\_v3$ .

В верхней части схемы дважды щёлкните по первому элементу **MUBEND (ID=BD2)** и введите  $S=S1\_v2$ . Аналогично отредактируйте соседний элемент **MUBEND (ID=BD4)**. В нижней части схемы дважды щёлкните по среднему элементу **MUBEND (ID=BD3)** и введите  $S=S1\_v3$ .

$S2\_v1$  и  $S4\_v1$  – это расстояния между шпильками.

**LTOT** – это длина шпилек. Эта переменная не назначена для настройки. Т.к. при настройке, возможно, потребуется подстраивать характеристику по частоте, назначьте эту переменную для настройки.

W1\_v1=0.25

S1\_v1=0.3      S1\_v2=0.4

S2\_v1=0.15    S1\_v3=0.4

S4\_v1=0.25

LTOT=3.2

LBot=1.2

Ltee=0.25

LTop=LTOT-LBot-Ltee

W\_v1=0.05

L\_v1=0.15

L\_v2=0.05

Рис. 2.89

Отредактированные переменные показаны на рис.2.89.

Откройте окно графика и щёлкните по значку **Tune** на панели инструментов. Настройте параметры элементов схемы, округлив их с точностью до 0.05 мм (рис. 2.90).

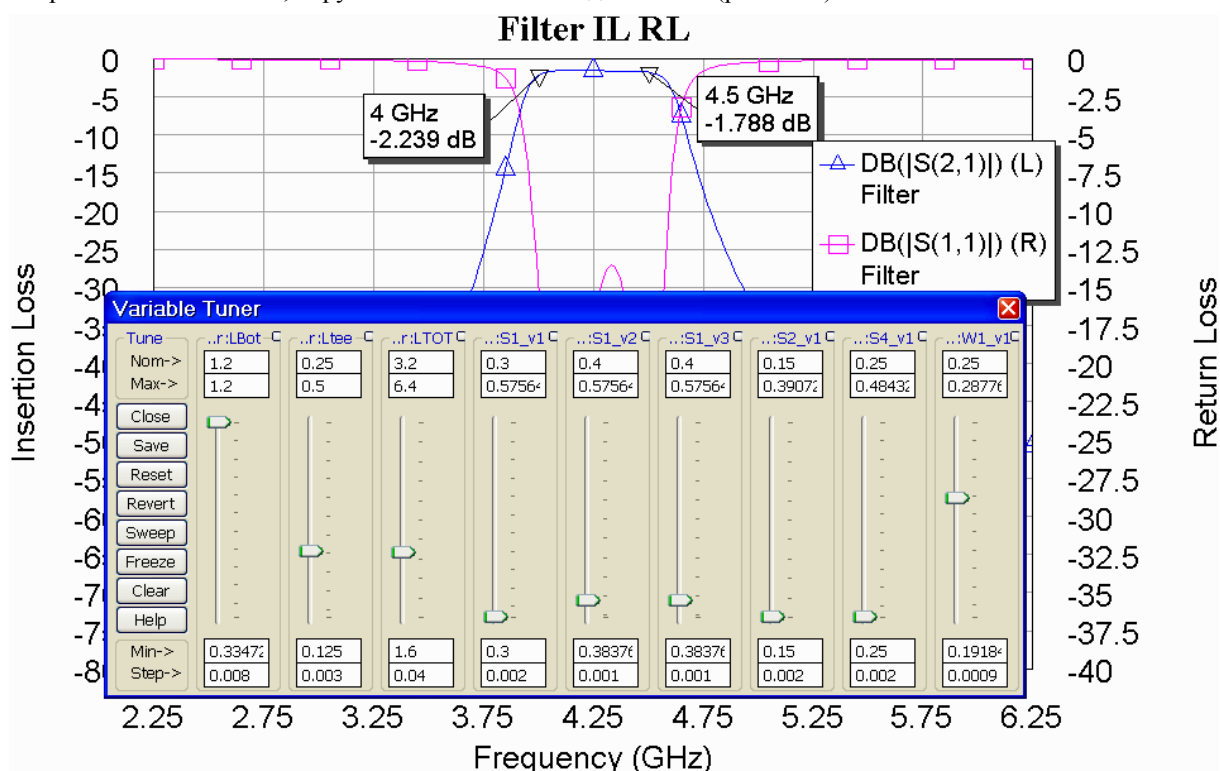


Рис. 2.90

Откройте окно схемы и щёлкните по значку **View Layout** на панели инструментов, чтобы создать топологию схемы. Выберите в меню **Select All** и щёлкните по значку **Snap Together** на панели инструментов, чтобы соединить элементы топологии. В окошке значка **Grid Spacing** на панели инструментов введите **0.5x**, чтобы размер ячеек сетки был равен 0.05 мм. Полученная топология схемы показана на рис. 2.91.

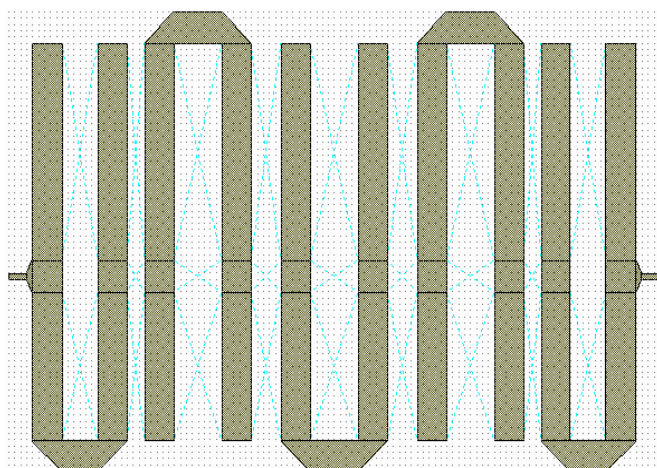


Рис. 2.91

Щёлкнув по значку **Measure** на панели инструментов, измерьте длину и ширину топологии. Они получились равными 5.5x3.7 мм.

Щёлкните по значку **Add New EM Structure**. В открывшемся окне введите имя структуры **Fil**, отметьте **AWR EMSight Simulator** и нажмите **Create**.

Щёлкните по значку **Substrate Information** на панели инструментов. На вкладке **Enclosure** открывшегося окна свойств структуры введите **X\_Dim=6.5**, **Y\_Dim=5**, **Grid\_X=0.05** и **Grid\_Y=0.05**.

На вкладке **Material Defs** для слоя **Diel\_1** введите **Er=40.5, TanD=0.0001**.

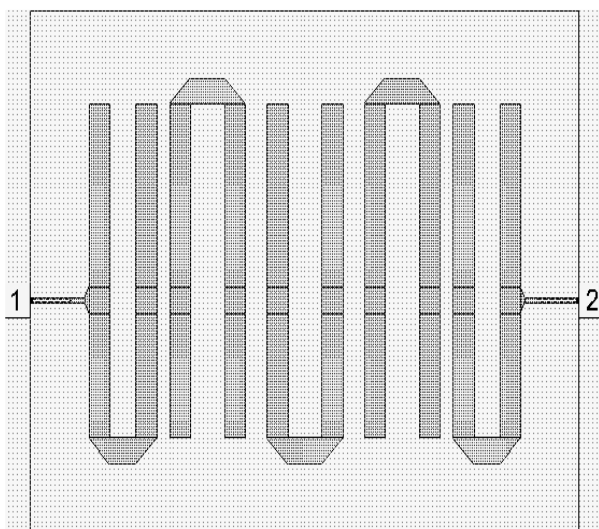


Рис. 2.92

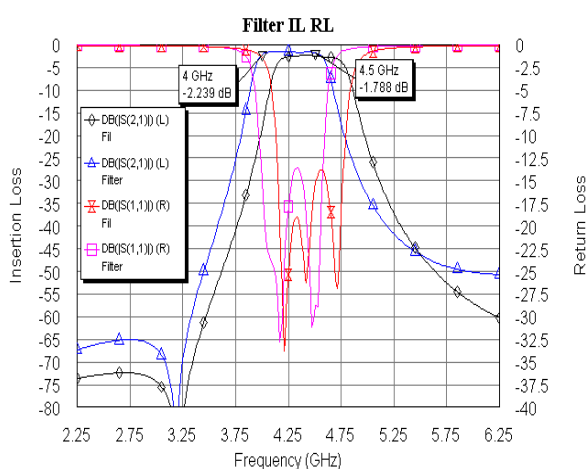


Рис. 2.93

Откройте окно электромагнитной структуры. Для удобства редактирование объедините отдельные проводники в шпильках. Выделите все резонаторы-шпильки без входного и выходного проводников и щёлкните по значку **Union** на панели инструментов.

Дважды щёлкните по первой шпильке и увеличьте длину её проводников на 0.15 мм. Щёлкните по второй шпильке и сдвиньте её верх на 0.15 мм. Дважды щёлкните по второй шпильке и увеличьте длину её проводников на 0.15 мм. Аналогично отредактируйте остальные шпильки. Выделите всю топологию и сместите её вниз на 0.1 мм. Структура будет выглядеть, как показано на рис. 2.94.

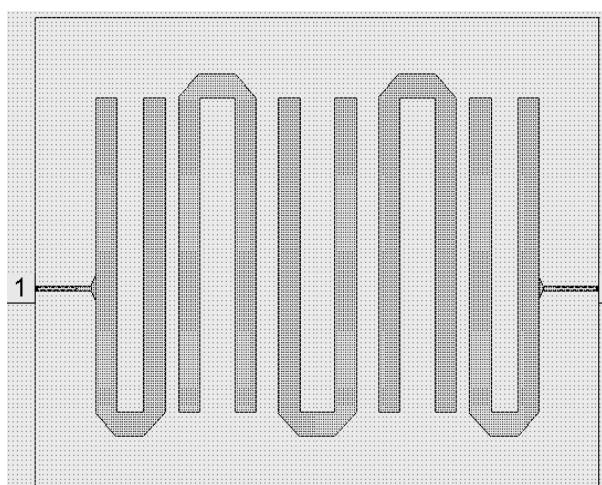


Рис. 2.94

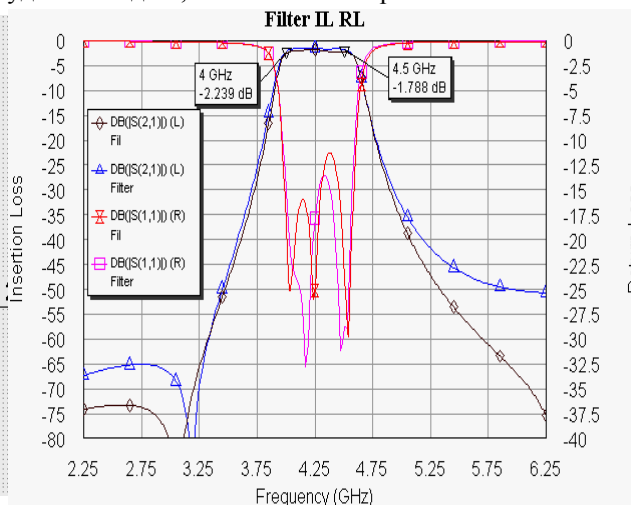


Рис. 2.95

Откройте окно графика и щёлкните по кнопке **Analyze** на панели инструментов. Рассчитанный график показан на рис. 2.95.

На вкладке **Dielectric Layers** введите толщину для первого слоя **2** и второго слоя **0.36**. Нажмите **OK**.

Откройте окно топологии схемы и скопируйте топологию в буфер обмена.

Откройте окно электромагнитной структуры и вставьте скопированную топологию в корпус. Дважды щёлкните по входному проводнику и увеличьте его длину на 0.5 мм. Аналогично увеличьте длину выходного проводника. Поместите топологию симметрично относительно корпуса.

Щёлкните по входному проводнику и установите порт, сместив референсную плоскость на 0.5 мм. Аналогично установите порт на выходном проводнике (рис. 2.92).

Выделите всю топологию, щёлкните правой кнопкой мышки по любому элементу топологии и выберите **Shape Properties**. Введите слой **2** в **EM Layer** и введите материал **1/2oz Cu**.

Щёлкните по имени измеряемой величины **Filter: DB(S(2,1))** правой кнопкой мышки и выберите **Properties**. В открывшемся окне в поле **Data Source Name** введите **All Sources** и нажмите **OK**. Аналогично отредактируйте измеряемую величину **Filter: DB(S(1,1))**.

Щёлкните правой кнопкой по имени электромагнитной структуры **Fil** и выберите **Options**.

В открывшемся окне на вкладке **Frequencies** снимите отметку в **Use project defaults** и введите диапазон частот от **2.25** до **6.25** с шагом **0.01**, нажмите **Apply**. На вкладке **EMSight** отметьте **Enable AFS** и нажмите **OK**.

Откройте окно графика и щёлкните по кнопке **Analyze** на панели инструментов. Полученный график показан на рис. 2.93. Он сдвинут вверх по частоте, следовательно, нужно увеличить длину резонаторов.

## 2.2.6. Полосно-пропускающий встречноштыревой фильтр 11 – 14.5 ГГц.

Требования: шестирезонаторный фильтр с полосой пропускания 11 – 14.5 ГГц на материале R04003C толщиной 0.305 мм, ослабление в диапазоне 17 – 25 ГГц не менее 40 дБ.

Откройте iFilter. Щёлкните по кнопке типов фильтра. В открывшемся окне **Select Filter Type** щёлкните по кнопкам **Bandpass** и **Microstrip**.


В списке **Main Filter type** отметьте **Interdigital Bandpass Filter**. В списке **Options** отметьте **Tapped input/output**. Нажмите **OK**.

Щёлкните по второй кнопке в области **Type-Approximation** и выберите тип характеристики **Chebyshev**.

В поле **Ripple[dB]** введите величину пульсаций в полосе **0.1**.

Щёлкните по кнопке **Environment Options**, на вкладке **Units** открывшегося окна отметьте единицы измерения **mm** и **GHz**, нажмите **Применить** и **OK**.

В области **Specifications** введите **6** в поле **degree**, **12.75** в поле **F0[GHz]**, **3.5** в поле **BW[GHz]**, **50** в поля **Reson Zo** и **RSource**.

Щёлкните по верхней кнопке **Edit Chart Settings**  слева от схемы. В открывшемся окне **Chart Settings** отметьте кнопку **IL+RL**. В поле **Fmin [GHz]** введите **7**, в поле **Fmax [GHz]** введите **25**. Щёлкните по кнопке **Markers** и установите маркеры на частотах **11**, **14.4** и **17** ГГц. Нажмите **Apply** и **OK**.

В области **Design Control** щёлкните по кнопке **Design Options**.

На вкладке **Technology** в поле **Substrate Er** введите **3.55**, в поле **Height(H)[mm]** введите **0.305**, в поле **Cond. Thickness(t)[mm]** (толщина проводника) введите **0.018**, в поле **Loss Tangent (tanD)** введите **0.0027**. На вкладке **Parasitics** в поле **Att [db/cm]** введите **0.025**. Нажмите **Применить** и **OK**.

Слева от графика нажмите кнопку **REAL**.

Основное окно со схемой в области отображения результатов будет выглядеть, как показано на рис. 2.96.

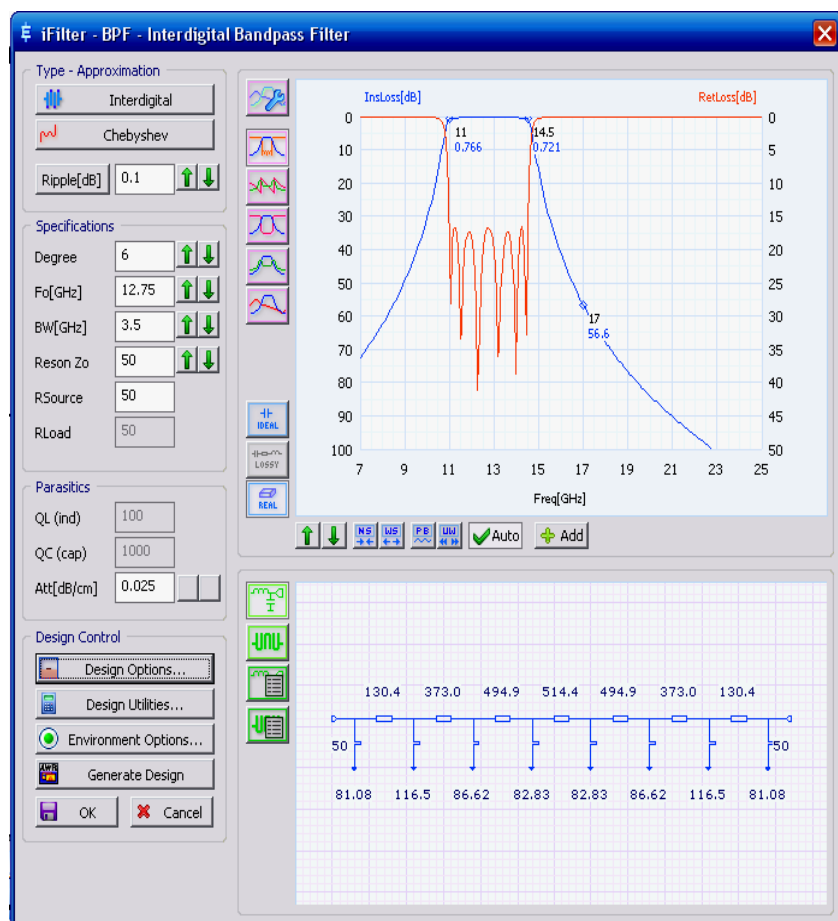


Рис. 2.96

данные из iFilter, а не частоты, установленные в проекте.

В этой же области в поля **Fmin [MHz]** и **Fmax [MHz]** введите минимальную **7000** и максимальную **25000** частоты для анализа. Или щёлкните по кнопке **Set to current range**, чтобы установить текущие частоты в iFilter.

В области **Tuning and Optimization** отметьте **Mark Tuning Variables**, чтобы назначить переменные для настройки. В поле **# of steps** введите количество точек для анализа **201**. Нажмите **OK**.

Затем нажмите **OK** в основном окне программы iFilter.

Передайте синтезированную схему в MWO. Для этого щёлкните по кнопке **Generate Design**. Откроется окно **Generate Design in Microwave Office** с опциями экспорта.

В области **General** в поле **Base Name** введите **Filter**. В этой же области отметьте **Overwrite existing items**.

В области **Schematic** отметьте **Use variables for element parameters**. В списке ниже этой опции отметьте элементы схемы, которые желательно скрыть для упрощения отображения схемы.

В области **Graphs** отметьте **Use fixed axis settings instead of Auto**. В этой же области отметьте тип графика **Insertion Loss + Return Loss**.

В области **Analysis** отметьте **Analyze design after generation** и **Use range below (not project defaults)**, чтобы анализ выполнялся сразу после передачи в MWO и использовались частоты, пере-



Переданная в MWO схема показана на рис. 2.97, а рассчитанный график на рис. 2.98.

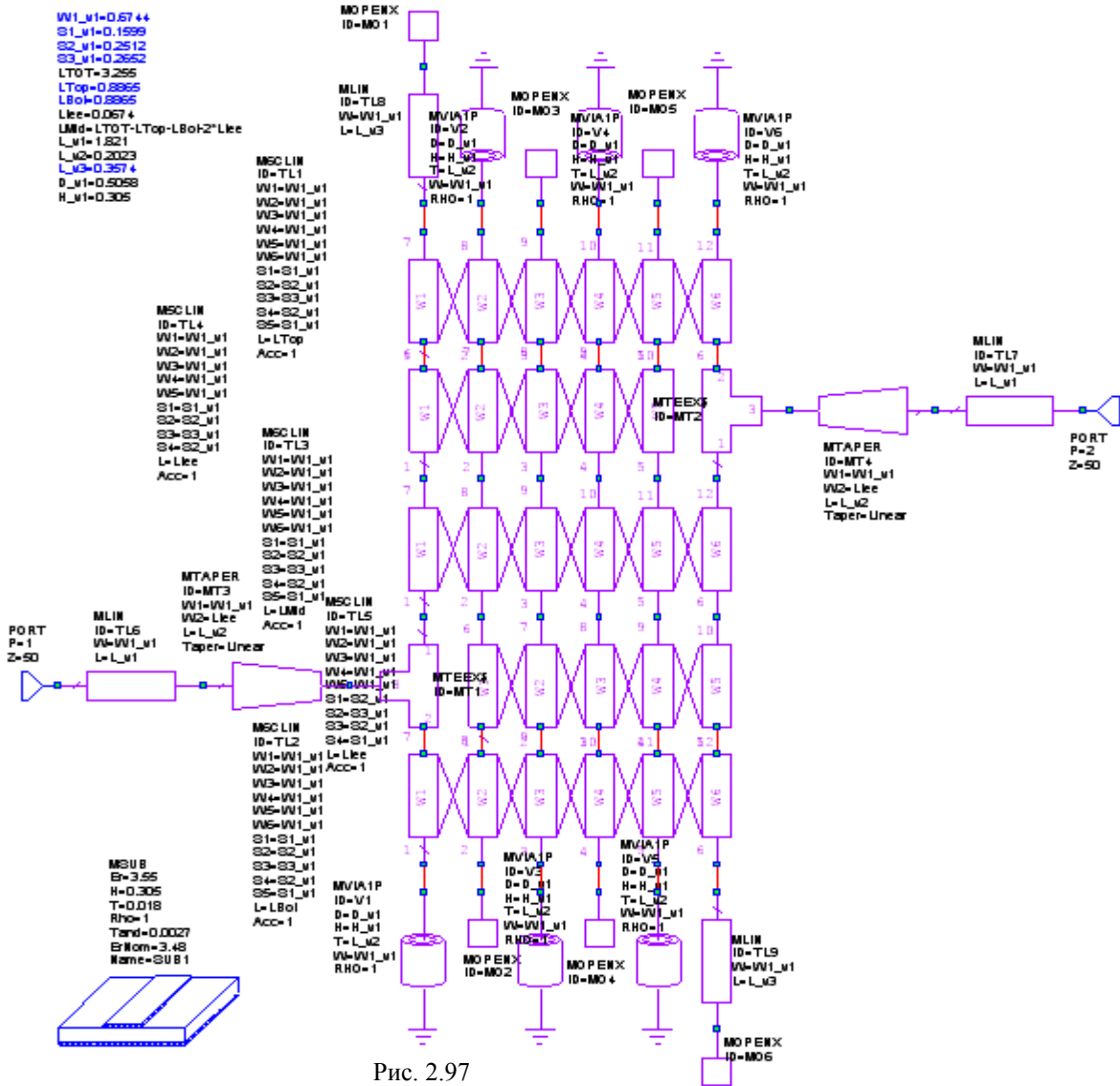


Рис. 2.97

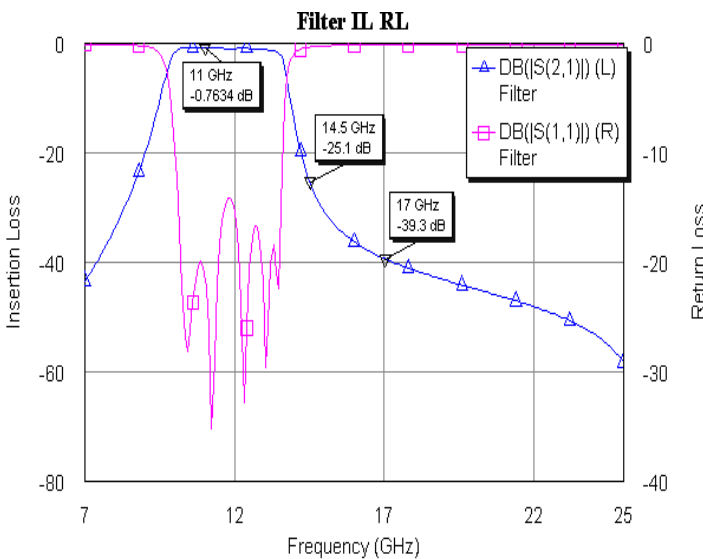


Рис. 2.98

Полученная характеристика сдвинута вниз по частоте.

Откройте окно схемы. В списке переданных в MWO переменных есть **LTOT**, которая не включена в настройку. Это полная длина резонаторов. Щёлкните по значку **Tune Tool** на панели инструментов и назначьте эту переменную для настройки.

Откройте окно графика. Щёлкните по значку **Tune** на панели инструментов. В открывшемся блоке настройки округлите переменные с точностью до 0.05. В строке **Step->** блока настройки введите шаг перестройки переменных 0.05. Изменяя переменную **LTOT**, сдвиньте характеристику вниз по частоте в нужное положение. Если при изменении переменной отображение графика пропадает, щёлкните по кнопке **Sweep** на блоке настройки.

Изменяя другие переменные, добейтесь желаемой характеристики (рис. 2.99).

Откройте окно схемы. Переменные, которые не были включены в настройку, почти не влияют на характеристику фильтра. Округлите их значения с точностью до 0.05, например, как показано на рис. 2.100.

Щёлкните по кнопке **Analyze** и убедитесь, что характеристика почти не изменилась (рис. 2.101).

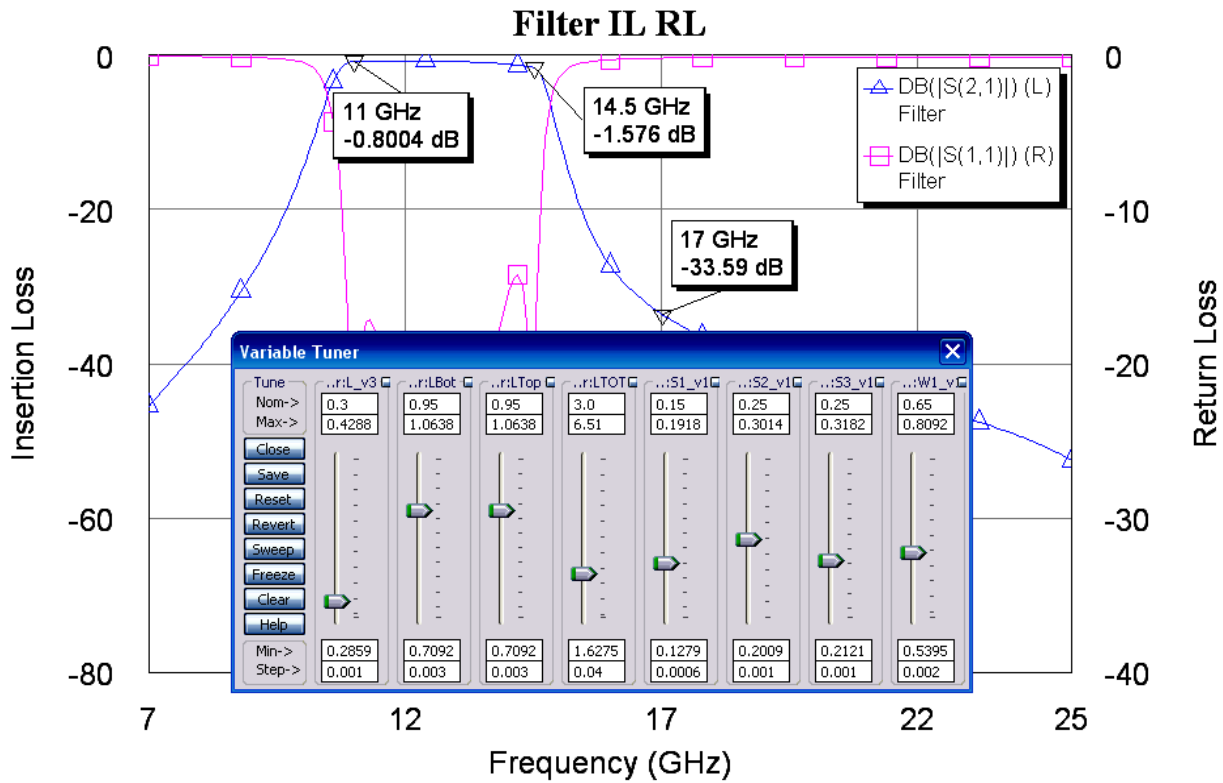


Рис. 2.99

$W1\_v1=0.65$   
 $S1\_v1=0.15$   
 $S2\_v1=0.25$   
 $S3\_v1=0.25$   
 $LTOT=3$   
 $LTop=0.95$   
 $LBot=0.95$   
 $Ltee=0.05$   
 $LMid=LTOT-LTop-LBot-2*Ltee$   
 $L\_v1=1.8$   
 $L\_v2=0.2$   
 $L\_v3=0.3$   
 $D\_v1=0.5$   
 $H\_v1=0.3$

Рис. 100

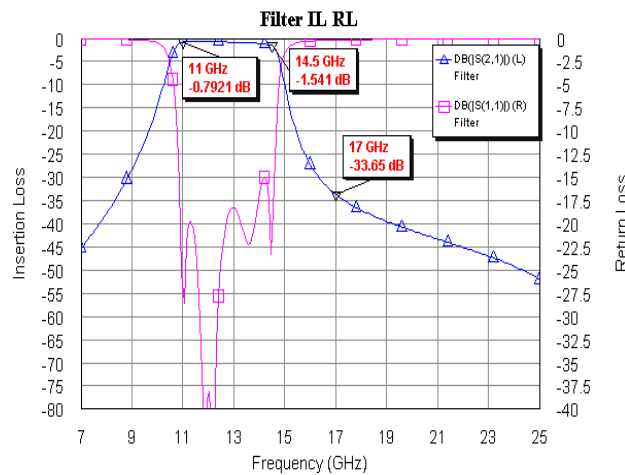


Рис. 2.101

Откройте окно схемы. Щёлкните по кнопке **View Layout** на панели инструментов, чтобы создать топологию схемы. Выделите всю топологию и щёлкните по значку **Snap Together** на панели инструментов, чтобы правильно соединить элементы топологии. В окошке значка **Grid Spacing** на панели инструментов введите **0.5x**. Топология схемы показана на рис. 2.102.

Измерьте длину и ширину топологии, получилось 8.95x4.3 мм.

Щёлкните по значку **Add New EM Structure** на панели инструментов. Введите имя структуры **Fil**, отметьте **AWR EMSight Simulator** и нажмите **Create**.

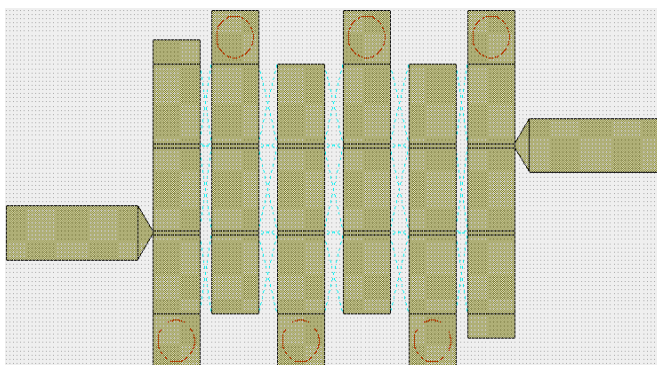


Рис. 2.102

Щёлкните по значку **Substrate Information**. На вкладке **Enclosure** введите  $X\_Dim=8.95$ ,  $Y\_Dim=6.3$ ,  $Grid\_X=0.05$  и  $Grid\_Y=0.05$ . На вкладке **Material Defs** введите  $Er=3.55$ ,  $TanD=0.0027$ . На вкладке **Dielectric Layers** введите для слоя 1 толщину 4 и для слоя 2 толщину 0.305. Нажмите **OK**.

Откройте окно топологии схемы, выделите всю топологию и скопируйте её в буфер.

Откройте окно электромагнитной структуры и вставьте в неё скопированную топологию симметрично относительно корпуса.

Выделите топологию резонаторов, кроме входных и выходных проводников, и щёлкните по значку **Union** на панели инструментов, чтобы объединить отдельные элементы в каждом резонаторе. Нажмите клавишу **Shift** и выделите все проводники, щёлкая по ним мышкой, кроме перемычек. Щёлкните правой кнопкой мышки по любому выделенному проводнику, выберите **Shape Properties**. Отметьте

**Conductor**, в **EM Layer** введите слой **2** и определите материал **1/2oz Cu**. Нажмите **OK**. Снова нажмите клавишу **Shift** и выделите все перемычки, щёлкая по ним мышкой. Щёлкните правой кнопкой мышки по любой выделенной перемычке, выберите **Shape Properties**. Отметьте **Via**, в **EM Layer** введите слой **2** и определите материал **1/2oz Cu**. Нажмите **OK**. Чтобы убедиться в правильности структуры, можно щёлкнуть по значку **View EM 3D Layout** на панели инструментов и посмотреть трёхмерное отображение структуры.

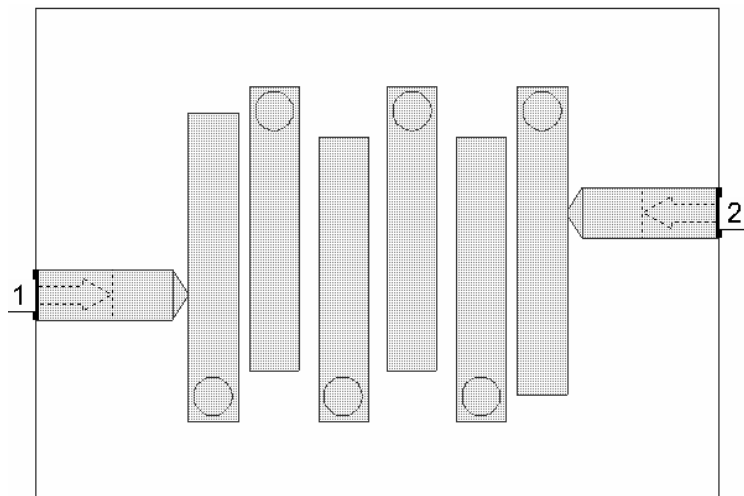


Рис. 2.103

Выделите входной проводник, щёлкните по значку **Edge Port** и установите порт на входе фильтра. Дважды щёлкните по установленному порту и в открывшемся окне установите смещение референсной плоскости 1 мм.

Выделите выходной проводник, щёлкните по значку **Edge Port** и установите порт на выходе фильтра. Дважды щёлкните по установленному порту и в открывшемся окне установите смещение референсной плоскости 1 мм.

Топология электромагнитной структуры будет выглядеть, как показано на рис. 2.103.

Щёлкните правой кнопкой мышки по имени электромагнитной структуры в окне просмотра проекта и выберите **Options**.

На вкладке **Frequencies** снимите отметку в **Use project defaults** и введите диапазон частот от **7** до **25** с шагом **0.01**, нажмите **Apply**. На вкладке **EMsight** отметьте **Enable AFS** и нажмите **OK**.

Щёлкните правой кнопкой мышки по имени измеряемой величины **Filter:DB(S(2,1))** в группе графика в окне просмотра проекта и выберите **Properties**. В поле **Data Source Name** введите **All Sources**, нажмите **OK**. Аналогично отредактируйте измеряемую величину **Filter:DB(S(1,1))**.

Откройте окно графика и щёлкните по значку **Analyze** на панели инструментов. Полученный график электромагнитной структуры показан на рис. 2.104. Характеристика немного сдвинута вверх по частоте и резонаторы нужно немного удлинить.

Откройте окно электромагнитной структуры.

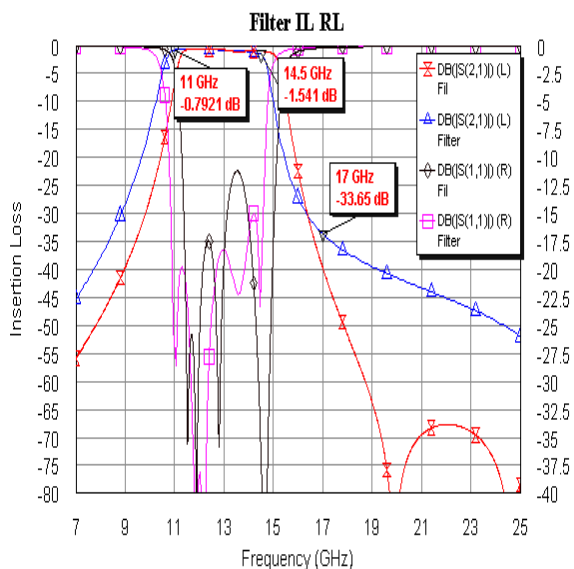


Рис. 2.104

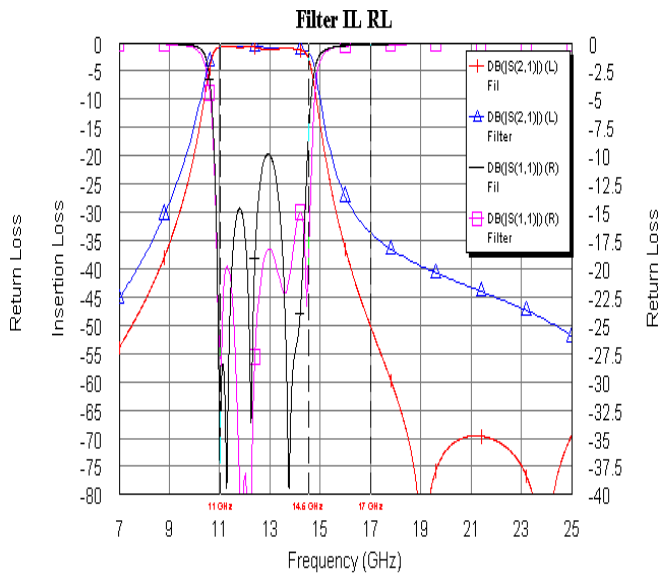


Рис. 2.105

Дважды щёлкните по первому резонатору, только не в районе перемычки. Установите курсор на ромбик посередине верхней стороны, нажмите левую кнопку мышки и сдвиньте эту сторону вверх на 0.15 мм. Выделите второй резонатор вместе с перемычкой и сдвиньте его вверх на 0.15 мм. Дважды щёлкните по второму резонатору и сдвиньте его нижнюю сторону вниз на 0.15 мм. Аналогично отредактируйте остальные резонаторы. Но последний резонатор нужно сдвигать вверх вместе с выходными проводниками. Выделите всю топологию и сдвиньте её вниз на 0.1 мм, чтобы она осталась примерно симметричной относительно корпуса.

Откройте окно графика и щёлкните по значку **Analyze** на панели инструментов. Чтобы не затемнять полученный график, удалите маркеры и взамен установите вертикальные маркеры на частотах **11**, **14.5** и **17** ГГц. Полученный график показан на рис. 2.105.

## 2.2.6. Полосно-пропускающий фильтр на параллельных шлейфах 4 – 8 ГГц.

Требования: шестирезонаторный фильтр с полосой пропускания 4 – 8 ГГц на поликоре толщиной 0.5 мм, ослабление на частоте 2 не менее 40 дБ и не менее 20 дБ на частоте 10 ГГц.

Откройте iFilter. Щёлкните по кнопке типов фильтра. В открывшемся окне **Select Filter Type** щёлкните по кнопкам **Bandpass** и **Microstrip**.

В списке **Main Filter type** отметьте **Shunt Stub Bandpass Filter**. В списке **Options** отметьте **1/4wave lines + 1/4wave stubs (equal)**. Нажмите **OK**.

Щёлкните по второй кнопке в области **Type-Approximation** и выберите тип характеристики **Chebyshev**.

В поле **Ripple[dB]** введите величину пульсаций в полосе **0.1**.

Щёлкните по кнопке **Environment Options**, на вкладке **Units** открывшегося окна отметьте единицы измерения **mm** и **GHz**, нажмите **Применить** и **OK**.

В области **Specifications** введите **6** в поле **degree**, **6** в поле **F0[GHz]**, **4** в поле **BW[GHz]**, **50** в поля **Reson Z<sub>0</sub>** и **RSource**.

Щёлкните по верхней кнопке **Edit**

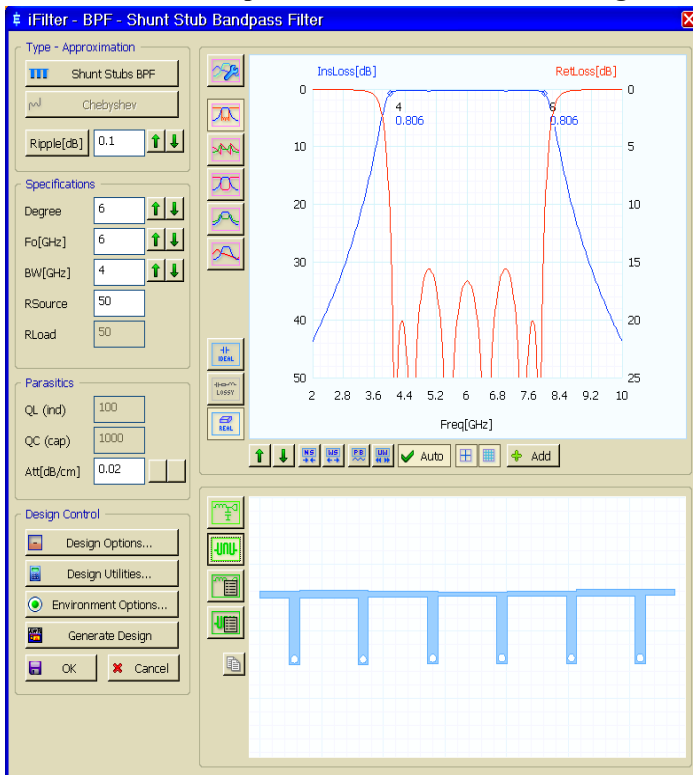


Рис. 2.106

**Chart Settings** слева от схемы. В открывшемся окне **Chart Settings** отметьте кнопку **IL+RL**. В поле **Fmin [GHz]** введите **2**, в поле **Fmax [GHz]** введите **10**. Щёлкните по кнопке **Markers** и установите маркеры на частотах **4** и **8** ГГц. Нажмите **Apply** и **OK**.

В области **Design Control** щёлкните по кнопке **Design Options**.

На вкладке **Technology** в поле **Substrate Er** введите **10.35**, в поле **Height(H)[mm]** введите **0.5**, в поле **Cond. Thickness(t)[mm]** (толщина проводника) введите **0.005**, в поле **Loss Tangent (tanD)** введите **0.001**. Нажмите **Применить** и **OK**.

На вкладке **Parasitics** введите **0.02** в поле **Att [db/cm]**.

Слева от графика нажмите кнопку **REAL**.

Основное окно с топологией в области отображения результатов будет выглядеть, как показано на рис. 2.106.

Передайте синтезированную схему в MWO. Для этого щёлкните по кнопке

**Generate Design**. Откроется окно **Generate Design in Microwave Office** с опциями экспорта.

В области **General** в поле **Base Name** введите **Filter**. В этой же области отметьте **Overwrite existing items**.

В области **Schematic** отметьте **Use variables for element parameters**. В списке ниже этой опции отметьте элементы схемы, которые желательно скрыть для упрощения отображения схемы.

В области **Graphs** отметьте **Use fixed axis settings instead of Auto**. В этой же области отметьте тип графика **Insertion Loss + Return Loss**.

В области **Analysis** отметьте **Analyze design after generation** и **Use range below (not project defaults)**, чтобы анализ выполнялся сразу после передачи в MWO и использовались частоты, переданные из iFilter, а не частоты, установленные в проекте. В этой же области в поля **Fmin [MHz]** и **Fmax [MHz]** введите минимальную **2000** и максимальную **10000** частоты для анализа. Или щёлкните по кнопке **Set to current range**, чтобы установить текущие частоты в iFilter.

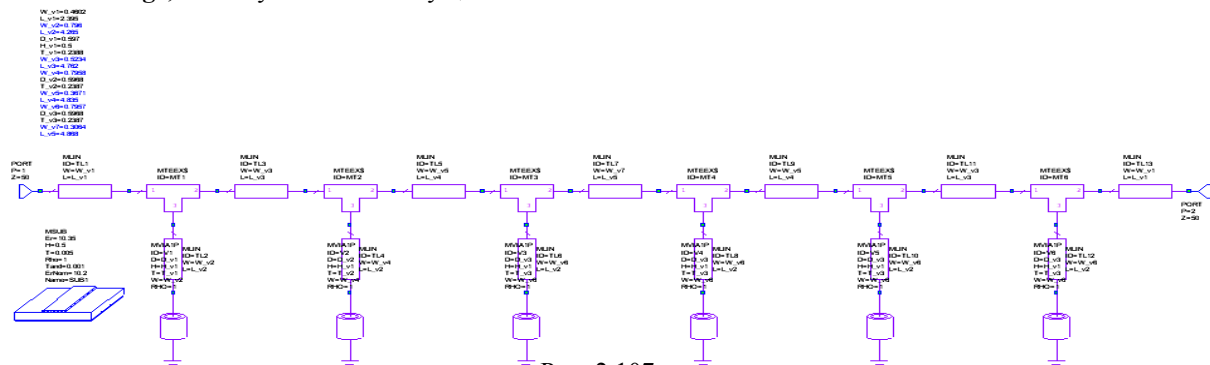


Рис. 2.107

В области **Tuning and Optimization** отметьте **Marc Tuning Variables**, чтобы переданные в MWO переменные были включены в настройку. Нажмите **OK**.

Нажмите **OK** в основном окне iFilter.

Переданная в MWO схема показана на рис. 2.107, а рассчитанный график на рис. 2.108. Характеристика сдвинута вниз по частоте.

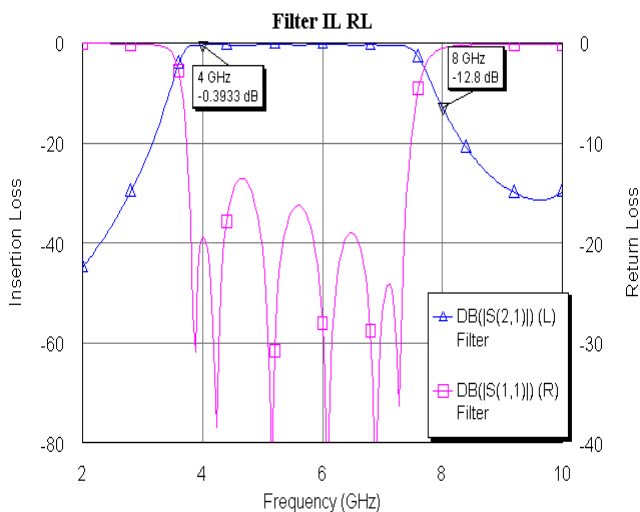


Рис. 2.108

W\_v1=0.4602    W\_v1=0.45  
L\_v1=2.395    L\_v1=2.4  
W\_v2=0.796    W\_v2=0.8  
L\_v2=4.265    L\_v2=4.25  
D\_v1=0.597    D\_v1=0.6  
H\_v1=0.5    H\_v1=0.5  
T\_v1=0.2388    T\_v1=0.25  
W\_v3=0.5234    W\_v3=0.5  
L\_v3=4.762    L\_v3=4.75  
W\_v4=0.7958    W\_v4=0.8  
D\_v2=0.5968    D\_v2=0.6  
T\_v2=0.2387    T\_v2=0.25  
W\_v5=0.3671    W\_v5=0.35  
L\_v4=4.835    L\_v4=4.8  
W\_v6=0.7957    W\_v6=0.8  
D\_v3=0.5968    D\_v3=0.6  
T\_v3=0.2387    T\_v3=0.25  
W\_v7=0.3064    W\_v7=0.3  
L\_v5=4.868    L\_v5=4.85  
W\_v8=0.367    W\_v8=0.35  
W\_v9=0.5232    W\_v9=0.5

Рис. 2.110

Рис. 2. 109

Переменные **W\_v1** и **L\_v1** являются длиной и шириной входной и выходной линий. Исключите их из настройки (рис. 2.110).

Откройте окно графика и щёлкните по кнопке **Analyze** на панели инструментов.

Щёлкните по значку **Tune** на панели инструментов, чтобы открыть блок настройки. На блоке настройки для всех переменных назначьте шаг изменения **0.05**. Перемещая движки на блоке настройки, настройте параметры элементов схемы для получения нужной характеристики (рис. 2.111).

Откройте окно схемы. Щёлкните по кнопке **View Layout** на панели инструментов, чтобы создать топологию схемы. Выделите всю топологию и щёлкните по значку **Snap Together** на панели инструментов, чтобы правильно соединить элементы топологии. В окошке значка **Grid Spacing** на панели инструментов введите **0.5x**. Топология схемы показана на рис. 2.112.

Измерьте длину и ширину топологии, получилось 32.85x5.1 мм.

Щёлкните по значку **Add New EM Structure** на панели инструментов.

Введите имя структуры **Fil**, отметьте **AWR EMSight Simulator** и нажмите **Create**.

Щёлкните по значку **Substrate Information**. На вкладке **Enclosure** введите **X\_Dim=32.85**, **Y\_Dim=7.1**, **Grid\_X=0.05** и **Grid\_Y=0.05**. На вкладке **Material Defs** введите **Er=10.35**, **TanD=0.001**. На вкладке **Dielectric Layers** введите для слоя **1** толщину **6** и для слоя **2** толщину **0.5**. Нажмите **OK**.

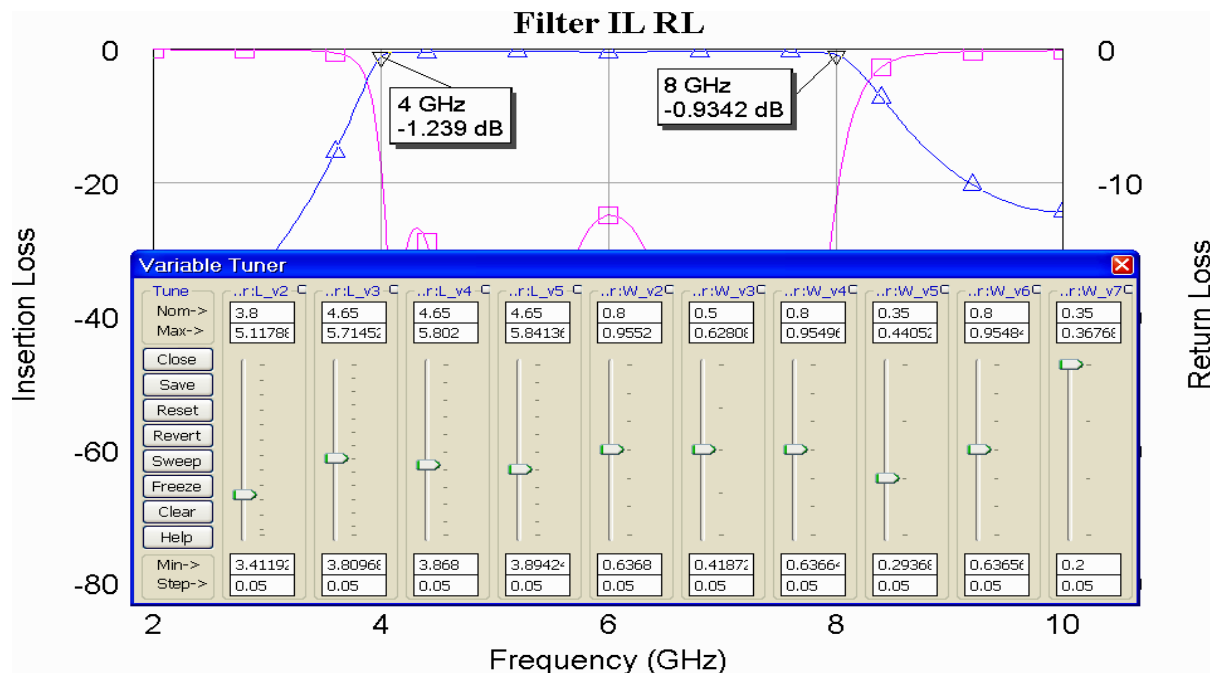


Рис. 2.111

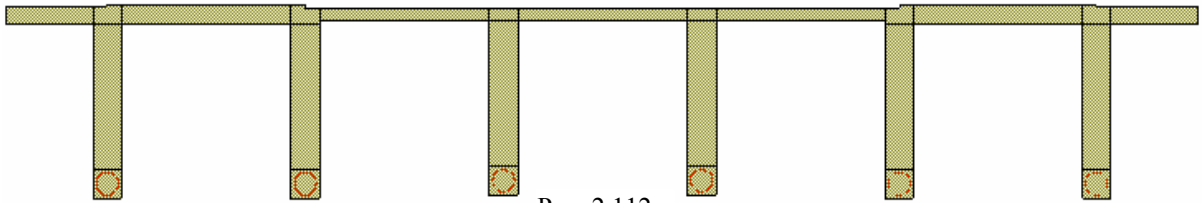


Рис. 2.112

Откройте окно топологии схемы, выделите всю топологию и скопируйте её в буфер.

Откройте окно электромагнитной структуры и вставьте в неё скопированную топологию симметрично относительно корпуса.

Выделите всю топологию и щёлкните по значку **Union** на панели инструментов, чтобы объединить отдельные элементы топологии.

Выделите всю топологию проводников, щёлкнув по ней мышкой в любом месте, кроме перемычек. Щёлкните правой кнопкой мышки по выделенным проводникам и выберите **Shape Properties**. Отметьте **Conductor**, в **EM Layer** введите слой **2** и определите материал **1/2oz Cu**, нажмите **OK**. Нажмите клавишу **Shift** и выделите все перемычки, щёлкая по ним мышкой. Щёлкните правой кнопкой мышки по любой выделенной перемычке, выберите **Shape Properties**. Отметьте **Via**, в **EM Layer** введите слой **2** и определите материал **1/2oz Cu**, нажмите **OK**. Чтобы убедиться в правильности структуры, можно щёлкнуть по значку **View EM 3D Layout** на панели инструментов и посмотреть трёхмерное отображение структуры.

Выделите топологию проводников, щёлкните по значку **Edge Port** и установите порт на входе фильтра. Дважды щёлкните по установленному порту и в открывшемся окне установите смещение референсной плоскости 1 мм. Аналогично установите порт и сдвиг референсной плоскости на выходе фильтра.

Топология электромагнитной структуры будет выглядеть, как показано на рис. 2.113.

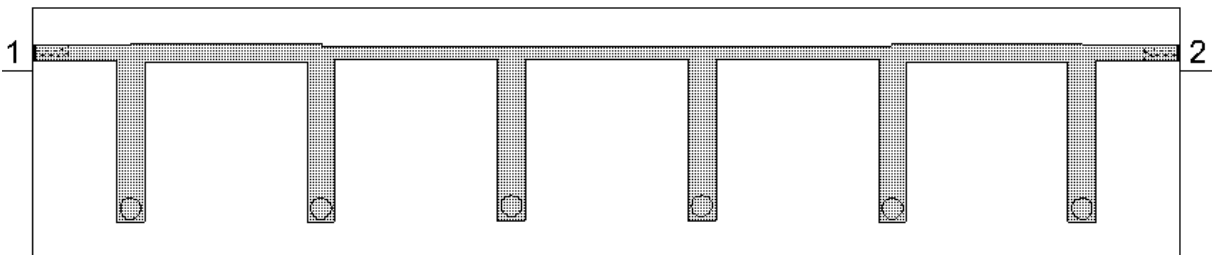


Рис. 2.113

Щёлкните правой кнопкой мышки по имени электромагнитной структуры в окне просмотра проекта и выберите **Options**. На вкладке **Frequencies** снимите отметку в **Use project defaults** и введите диапазон частот от **2** до **10** с шагом **0.01**, нажмите **Apply**. На вкладке **EMSight** отметьте **Enable AFS** и нажмите **OK**.

Щёлкните правой кнопкой мышки по имени измеряемой величины **Filter:DB(S(2,1))** в группе графика в окне просмотра проекта и выберите **Properties**. В поле **Data Source Name** введите **All Sources**, нажмите **OK**. Аналогично отредактируйте измеряемую величину **Filter:DB(S(1,1))**.

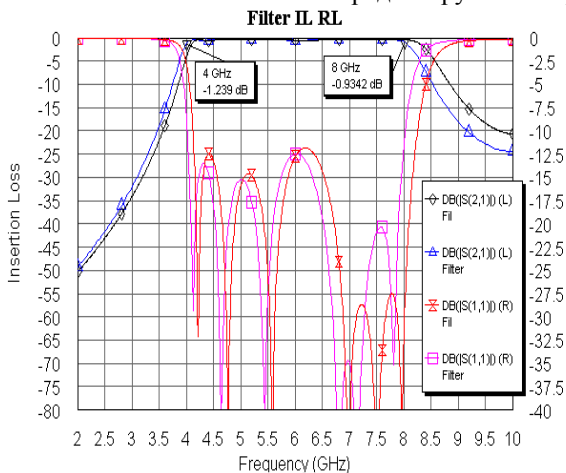


Рис. 2.114

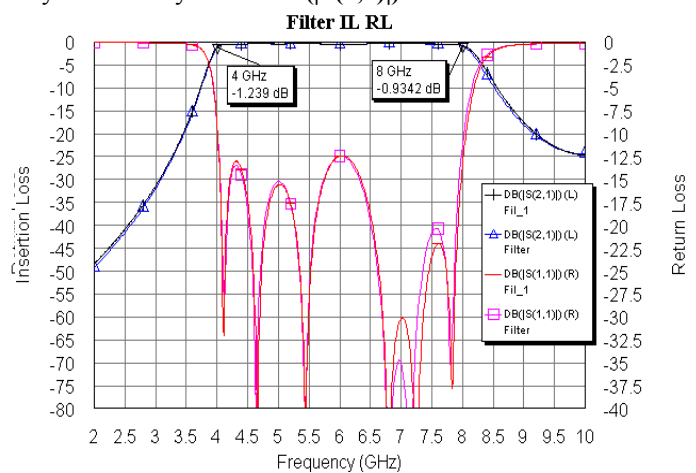


Рис. 2.115

Откройте окно графика и щёлкните по значку **Analyze** на панели инструментов. Полученный график электромагнитной структуры показан на рис. 2.114. Характеристика немного сдвинута вверх по частоте и резонаторы нужно немного удлинить.

Откройте окно электромагнитной структуры.

Дважды щёлкните по топологии проводников. Установите курсор на ромбик посередине нижней стороны первого резонатора, нажмите левую кнопку мышки и сдвиньте её на 0.2 мм вниз. Аналогично удлините все остальные резонаторы на такую же величину.

Установите курсор левее и выше первой перемычки, но не выше топологии, нажмите левую кнопку мышки и переместите курсор по диагонали правее и ниже последней перемычки, чтобы выделить все перемычки. Установите курсор на любую выделенную перемычку, нажмите левую кнопку мышки и сместите перемычки вниз на 0.2 мм.

Откройте окно графика и щёлкните по значку **Analyze** на панели инструментов. Результаты анализа на рис. 2.115.

## 2.2.7. Полосно-заграждающий фильтр на параллельных шлейфах.

Требования: девятиэлементный заграждающий фильтр на частоту заграждения 6 ГГц и частотами отсечки 4 и 8 ГГц на поликоре толщиной 0.5 мм.

Откройте iFilter. Щёлкните по кнопке типов фильтра. В открывшемся окне **Select Filter Type** щёлкните по кнопкам **Bandstop** и **Microstrip**.

В списке **Main Filter type** отметьте **Optimum Distributed Bandstop Filter**. В списке **Options** отметьте **16.4 dB Return Loss**. Нажмите **OK**.

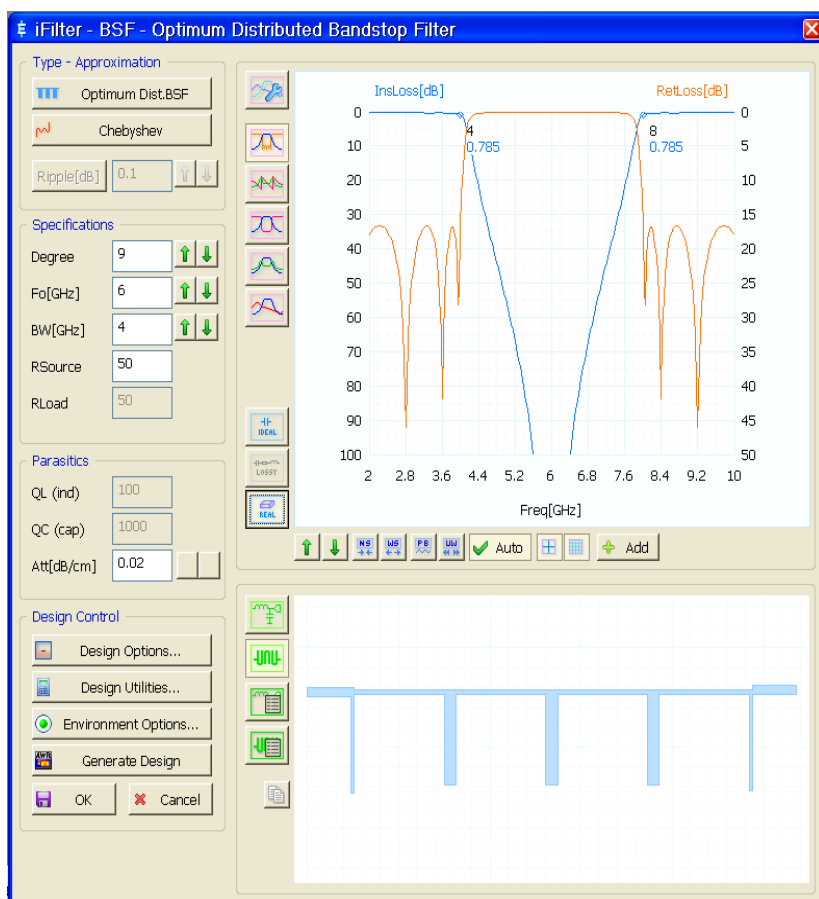
Щёлкните по второй кнопке в области **Type-Approximation** и выберите тип характеристики **Chebyshev**.

В области **Specifications** введите 9 в поле **degree**, 6 в поле **F0[GHz]**, 4 в поле **BW[GHz]**, 50 в поля **Reson Z<sub>0</sub>** и **RSource**.

Щёлкните по верхней кнопке **Edit Chart Settings**



слева от схемы. В открывшемся окне



**Chart Settings** отметьте кнопку **IL+RL**. В поле **Fmin [GHz]** введите 2, в поле **Fmax [GHz]** введите 10. Щёлкните по кнопке **Markers** и установите маркеры на частотах 4 и 8 ГГц. Нажмите **Apply** и **OK**.

В области **Design Control** щёлкните по кнопке **Design Options**.

На вкладке **Realization** отметьте **Add input and output lines to the layout**, **Split Shunt impedances if smaller than Zmin** и в поле ввода введите 30.

На вкладке **Technology** в поле **Substrate Er** введите 10.35, в поле **Height(H)[mm]** введите 0.5, в поле **Cond. Thickness(t)[mm]** (толщина проводника) введите 0.005, в поле **Loss Tangent (tanD)** введите 0.001. Нажмите **Применить** и **OK**.

Слева от графика нажмите кнопку **REAL**.

Основное окно с топологией в области отображения результатов будет выглядеть, как показано на рис. 2.116.

Передайте синтезированную схему в MWO. Для этого

щёлкните по кнопке **Generate Design**. Откроется окно **Generate Design in Microwave Office** с опциями экспорта.

В области **General** в поле **Base Name** введите **Filter**. В этой же области отметьте **Overwrite existing items**.

В области **Schematic** отметьте **Use variables for element parameters**. В списке ниже этой опции отметьте элементы схемы, которые желательно скрыть для упрощения отображения схемы.

В области **Graphs** отметьте **Use fixed axis settings instead of Auto**. В этой же области отметьте тип графика **Insertion Loss + Return Loss**.

В области **Analysis** отметьте **Analyze design after generation** и **Use range below (not project defaults)**, чтобы анализ выполнялся сразу после передачи в MWO и использовались частоты, переданные из iFilter, а не частоты, установленные в проекте.

В этой же области в поля **Fmin [MHz]** и **Fmax [MHz]** введите минимальную **2000** и максимальную **10000** частоты для анализа. Или щёлкните по кнопке **Set to current range**, чтобы установить текущие частоты в iFilter. Нажмите **OK**.

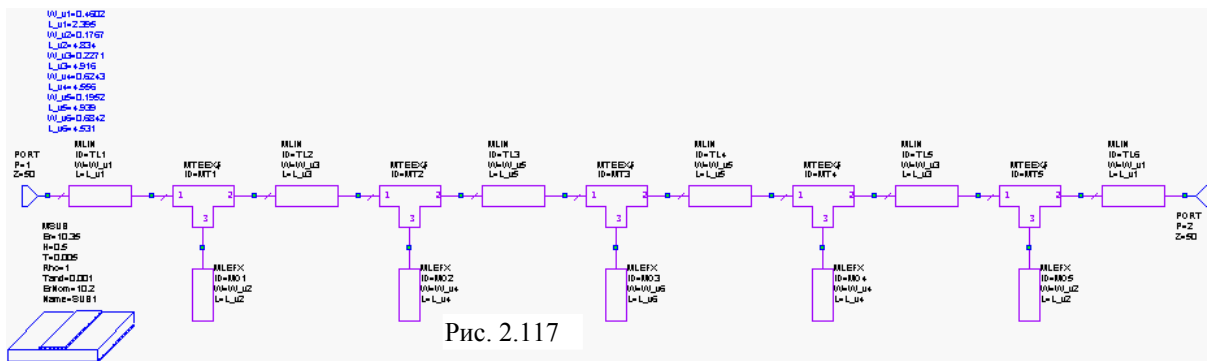


Рис. 2.117

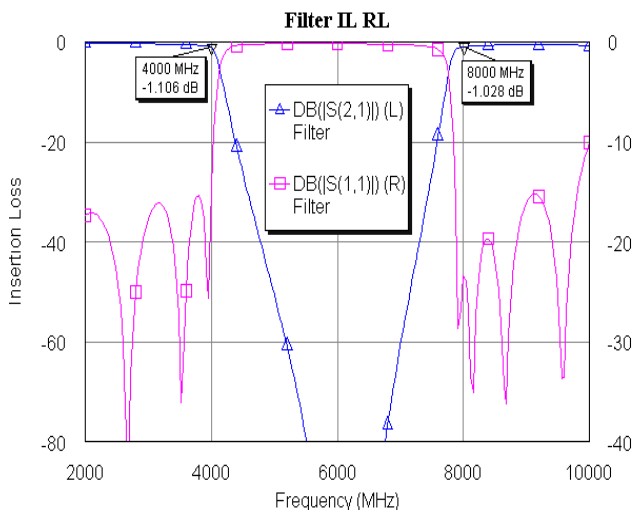


Рис. 2.118

Нажмите **OK** в главном окне iFilter. Переданная в MWO схема показана на рис. 2.117, а рассчитанный график на рис. 2.118.

Откройте окно схемы. Переданные переменные показаны на рис. 2.119. Округлите их с точностью до 0.05 (рис.2.120). Переменные **W\_v1** и **L\_v1** относятся к входному и выходному проводникам, отключите их из настройки. Характеристика после округления удовлетворяет требованиям (рис. 2.121) и не требует настройки.

Откройте окно схемы. Щёлкните по кнопке **View Layout** на панели инструментов, чтобы создать топологию схемы. Выделите всю топологию и щёлкните по значку **Snap Together** на панели инструментов, чтобы правильно соединить элементы топологии. В окошке значка **Grid Spacing** на панели инструментов введите **0.5x**. Топология схемы показана на рис. 2.122.

Измерьте длину и ширину топологии, получилось 26.95x5.35 мм.

Щёлкните по значку **Add New EM Structure** на панели инструментов. Введите имя структуры **Fil**, отметьте **AWR EM-Sight Simulator** и нажмите **Create**.

Щёлкните по значку **Substrate Information**. На вкладке **Enclosure** введите **X\_Dim=26.95**, **Y\_Dim=7.4**, **Grid\_X=0.05** и **Grid\_Y=0.05**. На вкладке **Material Defs** введите **Er=10.35**, **TanD=0.001**. На вкладке **Dielectric Layers** введите для слоя **1** толщину **6** и для слоя **2** толщину **0.5**. Нажмите **OK**.

**W\_v1=0.4602**    **W\_v1=0.45**  
**L\_v1=2.395**    **L\_v1=2.5**  
**W\_v2=0.1767**    **W\_v2=0.15**  
**L\_v2=4.834**    **L\_v2=4.9**  
**W\_v3=0.2271**    **W\_v3=0.25**  
**L\_v3=4.916**    **L\_v3=4.95**  
**W\_v4=0.6243**    **W\_v4=0.6**  
**L\_v4=4.556**    **L\_v4=4.65**  
**W\_v5=0.1952**    **W\_v5=0.2**  
**L\_v5=4.939**    **L\_v5=4.95**  
**W\_v6=0.6842**    **W\_v6=0.65**  
**L\_v6=4.531**    **L\_v6=4.6**

Рис. 2.119

Рис. 2.120

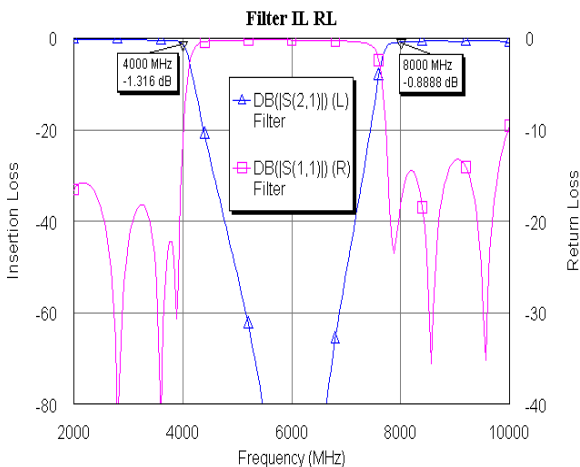


Рис. 2.121

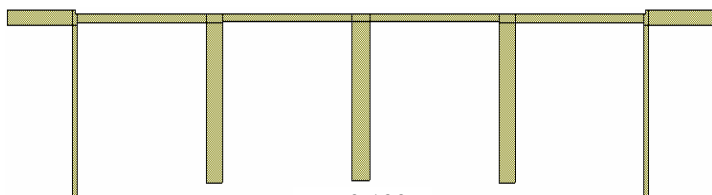


Рис. 2.122

Откройте окно топологии схемы, выделите всю топологию и скопируйте её в буфер.

Откройте окно электромагнитной структуры и вставьте в неё скопированную топологию симметрично относительно корпуса.

Выделите всю топологию и щёлкните по значку **Union** на панели инструментов, чтобы объединить отдельные элементы топологии.



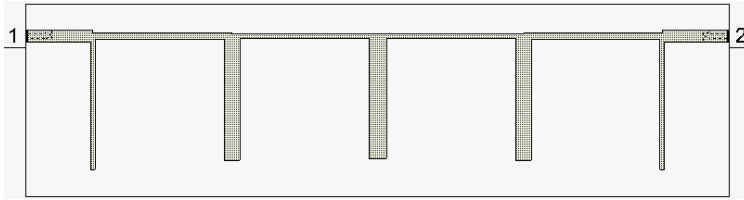


Рис. 2.123

**Edge Port**, установите порты на входе и выходе фильтра. Установите смещение референсных плоскостей 1 мм.

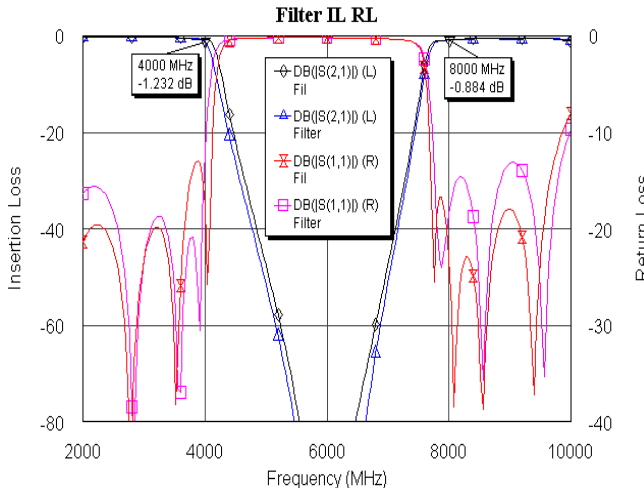


Рис. 2.124

Выделите всю топологию проводников, щёлкнув по ней мышкой в любом месте. Щёлкните правой кнопкой мышки по выделенным проводникам и выберите **Shape Properties**. Отметьте **Conductor**, в **EM Layer** введите слой 2 и определите материал 1/2oz Cu. Щёлкая по значку

Топология электромагнитной структуры будет выглядеть, как показано на рис. 2.123.

Щёлкните правой кнопкой по имени электромагнитной структуры **Fil** и выберите **Options**.

В открывшемся окне на вкладке **Frequencies** снимите отметку в **Use project defaults** и введите диапазон частот от 2000 до 10000 с шагом 40, нажмите **Apply**. На вкладке **EMSight** отметьте **Enable AFS** и нажмите **OK**.

Щёлкните правой кнопкой мышки по имени измеряемой величины **Filter:DB(S(2,1))** в группе графика в окне просмотра проекта и выберите **Properties**. В поле **Data Source Name** введите **All Sources**, нажмите **OK**. Аналогично отредактируйте измеряемую величину **Filter:DB(S(1,1))**.

Откройте окно графика и щёлкните по кнопке **Analyze** на панели инструментов. Полученный график показан на рис. 2.124.

## 2.2.8. Полосно-пропускающий фильтр с боковыми связями 14 – 18 ГГц.

Требования: пятирезонаторный фильтр с полосой пропускания 14 – 18 ГГц на поликоре толщиной 0.5 мм. Ослабление на частотах 12 и 22 ГГц не менее 10 дБ.

Откройте **iFilter**. Щёлкните по кнопке типов фильтра. В открывшемся окне **Select Filter Type** щёлкните по кнопкам **Bandpass** и **Microstrip**.

Т.к. полоса пропускания широкая, крайние зазоры будут узкие, поэтому выберем фильтр с кондуктивной связью. В списке **Main Filter type** отметьте **Edge Coupled Bandpass Filter**. В списке **Options** отметьте **Tapped input/output**. Нажмите **OK**.

В поле **Ripple[dB]** введите величину пульсаций в полосе 0.1.

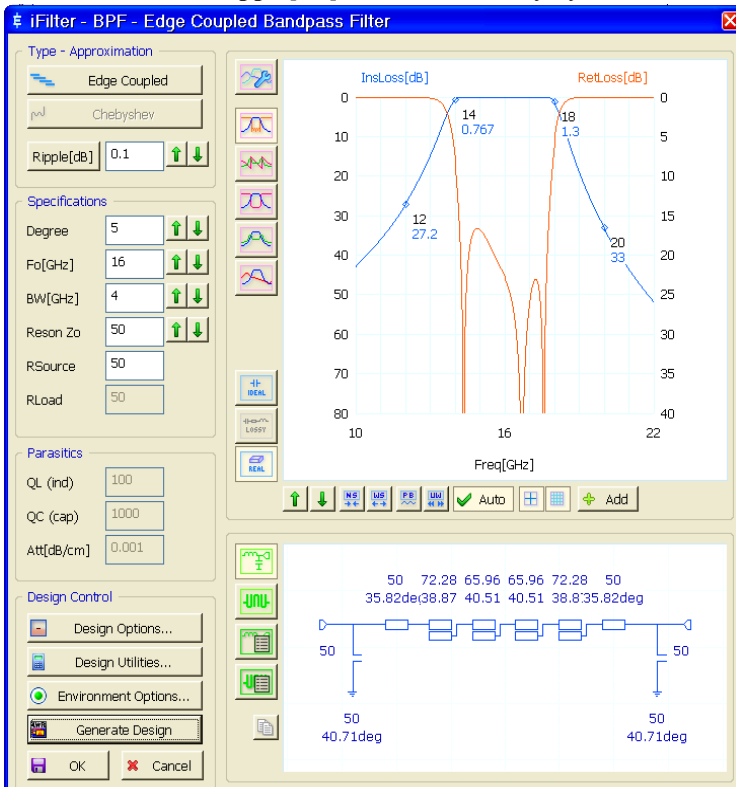


Рис. 2.125

Щёлкните по кнопке **Environment Options**, на вкладке **Units** открывшегося окна отметьте единицы измерения **mm** и **GHz**, нажмите **Применить** и **OK**.

В области **Specifications** введите 5 в поле **degree**, 16 в поле **F0[GHz]**, 4 в поле **BW[GHz]**, 50 в поля **Reson Z<sub>0</sub>** и **RSource**.

Щёлкните по верхней кнопке

**Edit Chart Settings** слева от схемы. В открывшемся окне **Chart Settings** отметьте кнопку **IL+RL**. В поле **Fmin [GHz]** введите 10, в поле **Fmax [GHz]** введите 22. Щёлкните по кнопке **Markers** и установите маркеры на частотах 12, 14, 18 и 20 ГГц. Нажмите **Apply** и **OK**.

В области **Design Control** щёлкните по кнопке **Design Options**.

На вкладке **Realization** отметьте **Add input and output lines to the layout**.

На вкладке **Technology** в поле **Substrate E<sub>r</sub>** введите 10.65, в поле **Height(H)[mm]** введите 0.5, в поле **Cond. Thickness(t)[mm]** (толщина проводника) введите 0.005, в поле **Loss Tangent**

(tanD) введите **0.001**. Нажмите **Применить** и **ОК**.

Слева от графика нажмите кнопку **REAL**.

Основное окно со схемой в области отображения результатов будет выглядеть, как показано на рис. 2.125.

Передайте синтезированную схему в MWO. Для этого щёлкните по кнопке **Generate Design**. Откроется окно **Generate Design in Microwave Office** с опциями экспорта.

В области **General** в поле **Base Name** введите **Filter**. В этой же области отметьте **Overwrite existing items**.

В области **Schematic** отметьте **Use variables for element parameters**. В списке ниже этой опции отметьте элементы схемы, которые желательно скрыть для упрощения отображения схемы.

В области **Graphs** отметьте **Use fixed axis settings instead of Auto**. В этой же области отметьте тип графика **Insertion Loss + Return Loss**.

В области **Analysis** отметьте **Analyze design after generation**, чтобы график был рассчитан сразу после передачи проекта в MWO, и **Use range below (not project defaults)**, чтобы для анализа использовать частоты, переданные из iFilter, а не частоты, установленные в проекте.

В этой же области в поля **Fmin [MHz]** и **Fmax [MHz]** введите минимальную **10000** и максимальную **22000** частоты для анализа. Или щёлкните по кнопке **Set to current range**, чтобы установить текущие частоты в iFilter.

В области **Tuning and Optimization** отметьте **Mark Tuning Variables**, чтобы назначить переменные для настройки. В поле **# of steps** введите количество точек для анализа **201**. Нажмите **ОК**.

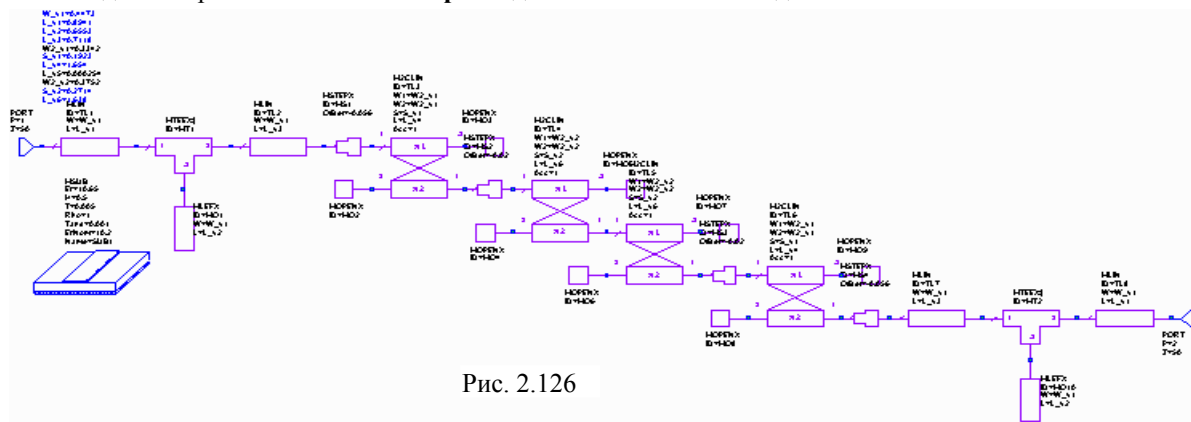


Рис. 2.126

Затем нажмите **ОК** в основном окне программы iFilter. В MWO появятся экспортированная схема (рис. 2.126) и рассчитанный график (рис. 2.127).

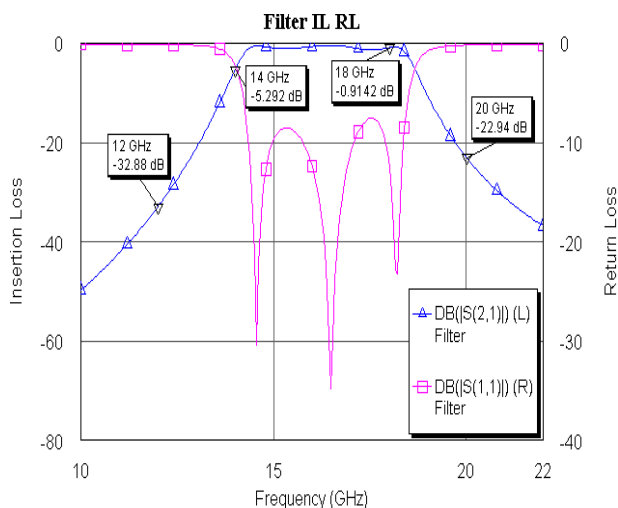


Рис. 2.127

$W\_v1=0.4473$   
 $L\_v1=0.8941$   
 $L\_v2=0.6553$   
 $L\_v3=0.7118$   
 $W2\_v1=0.3342$   
 $S\_v1=0.1923$   
 $L\_v4=1.654$   
 $L\_v5=0.000254$   
 $W2\_v2=0.3752$   
 $S\_v2=0.2714$   
 $L\_v6=1.638$

Рис. 2.128.

Откройте окно схемы. Обратите внимание на переданные переменные (рис. 2.128). Переменные  $W\_v1$  и  $L\_v1$  присвоены входному и выходному проводникам, и они могут быть исключены из настройки. Переменная  $L\_v5$  является длиной элементов разомкнутых концов линии **MOPENX**, которые относятся к скрытым параметрам (**Show Secondary**). Поэтому ей можно присвоить просто значение **0**.

Переменные  $W2\_v1$  и  $W2\_v2$  присваиваются ширине проводников связанных линий и эти переменные лучше включить в настройку.

Округлите переменные с точностью до 0.025 мм. Переменные будут выглядеть, как показано на рис. 2.129.

Откройте окно графика. Щёлкните по значку **Tune** на панели инструментов и настройте элементы схемы до получения требуемой характеристики (рис. 2.130).

Откройте окно схемы. При настройке схемы мы изменили ширину проводников, поэтому необходимо отредактировать параметр **Offset** в элементах скачка сопротивлений **MSTEPX**. Значение этого параметра определяется как отрицательная полуразность ширин присоединенных к этому элементу проводников (см. пример 2.2.3). Дважды щёлкните по первому элементу **MSTEPX** (**ID=MS1**). В открывшемся окне свойств элемента введите **Offset=-0.075**. Такое же значение **Offset=-0.075** введите для последнего элемента **MSTEPX** (**ID=MS4**). Для второго элемента **MSTEPX** (**ID=MS2**) и третьего **MSTEPX** (**ID=MS3**) введите **Offset=-0.0625**.

$W_{v1}=0.45$   
 $L_{v1}=0.9$   
 $L_{v2}=0.65$   
 $L_{v3}=0.7$   
 $W2_{v1}=0.35$   
 $S_{v1}=0.2$   
 $L_{v4}=1.65$   
 $L_{v5}=0$   
 $W2_{v2}=0.35$   
 $S_{v2}=0.25$   
 $L_{v6}=1.65$   
 Рис. 2.129

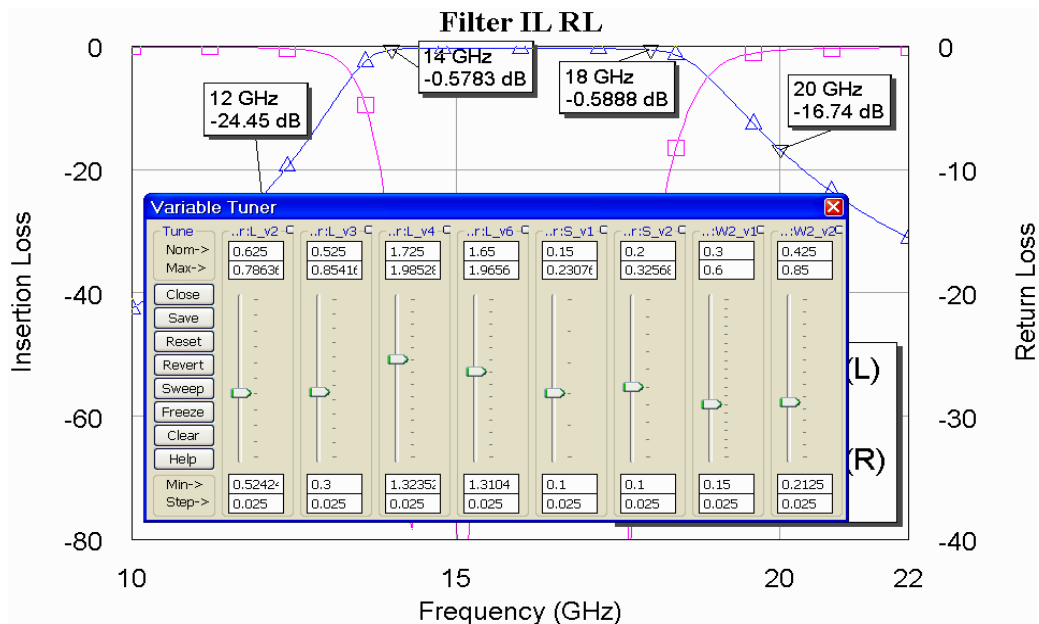


Рис. 2.130

Т.к. мы решили использовать сетку с ячейками 0.025, то желательно иметь возможность получить такую сетку в окне топологии схемы. Выберите в меню **Options>Layout Options**. В открывшемся окне на вкладке **Layout** в поле **Grid spacing** введите **0.05** и нажмите **OK**.

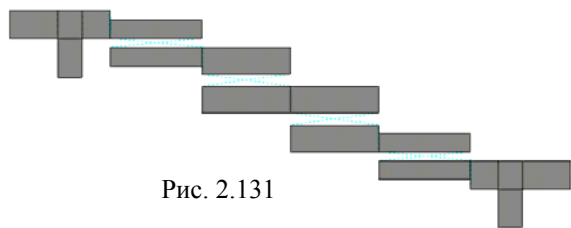


Рис. 2.131

Щёлкните по значку **View Layout** на панели инструментов. Выберите в меню **Edit>Select All** и щёлкните по значку **Snap Together** на панели инструментов, чтобы соединить элементы топологии. В окошке значка **Grid spacing** на панели инструментов введите **0.5x**. Созданная топология схемы показана на рис. рис. 2.131.

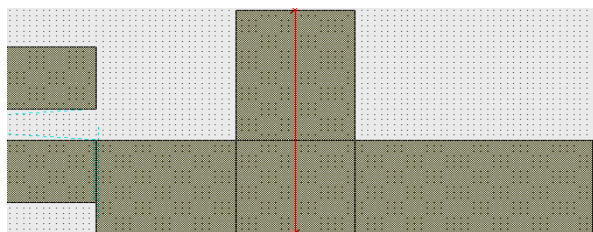


Рис. 2.132

Увеличьте масштаб входной части фильтра так, чтобы была видна сетка. Пользуясь полосами скроллинга, убедитесь, что все элементы топологии совпадают с сеткой.

Выделите в большом масштабе выходную часть фильтра и переместите выходной проводник на верхнюю часть резонатора, чтобы ширина всей топологии была меньше (рис. 2.132).

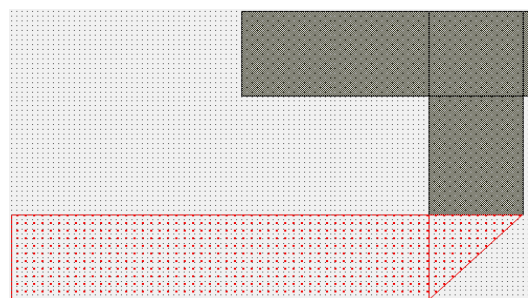


Рис. 2.133

Выделите в большом масштабе входную часть фильтра. Щёлкните по значку **Rectangle** на панели инструментов. Установите курсор мышки на левый нижний угол вертикального проводника, нажмите левую кнопку мышки и двигайте курсор по диагонали влево и вниз, чтобы создать прямоугольник размером 2x0.45 (рис. 2.133). Щёлкните по значку **Polygon** на панели инструментов. Установите курсор мышки на правый нижний угол созданного прямоугольника, щёлкните левой кнопкой мышки и двигайте курсор вверх к правому верхнему углу созданного прямоугольника, щёлкните мышкой, двигайте курсор вправо к правому нижнему углу вертикального проводника и дважды щёлкните мышкой (рис. 2.133).

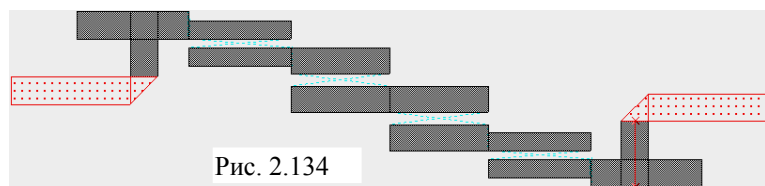


Рис. 2.134

Аналогично отредактируйте выходную часть фильтра. Должна получиться топология, показанная на рис. 2.134.

Измерьте длину и ширину топологии, получилось примерно 12.7x2.875.

Щёлкните по значку **Add New EM Structure** на панели инструментов.

Введите имя структуры **Fil**, отметьте **AWR EMSight Simulator** и нажмите **Create**.

Щёлкните по значку **Substrate Information**. На вкладке **Enclosure** введите **X\_Dim=12.7**, **Y\_Dim=5**, **Grid\_X=0.025** и **Grid\_Y=0.025**. На вкладке **Material Defs** введите **Er=10.65**, **TanD=0.001**. На вкладке **Dielectric Layers** введите для слоя **1** толщину **6** и для слоя **2** толщину **0.5**. Нажмите **OK**.

Откройте окно топологии схемы, выделите всю топологию и скопируйте её в буфер.

Откройте окно электромагнитной структуры и вставьте в неё скопированную топологию симметрично относительно корпуса.

Выделите всю топологию. Щёлкните правой кнопкой мышки по любому выделенному проводнику, выберите **Shape Properties**, в поле **EM Layer** введите **2** и определите материал **1/2oz Cu**, нажмите **OK**. Щёлкните по значку **Union** на панели инструментов, чтобы объединить соприкасающиеся проводники.

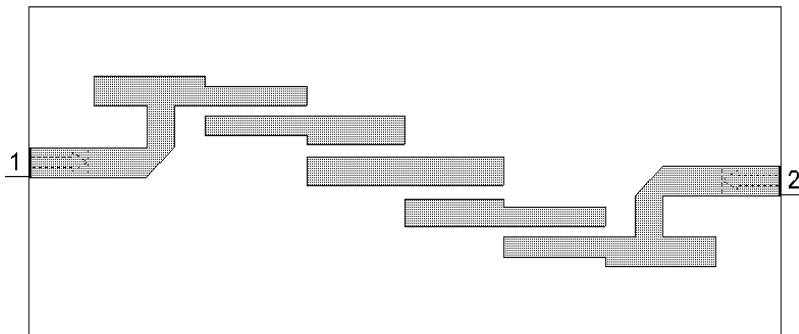


Рис. 2.135

Выделите входной проводник, щёлкните по значку **Edge Port** и установите порт на входе фильтра. Дважды щёлкните по установленному порту и в открывшемся окне установите смещение референсной плоскости 1 мм. Аналогично установите порт и сдвиг референсной плоскости на выходном проводнике.

Топология электромагнитной структуры будет выглядеть, как показано на рис. 2.135.

Щёлкните правой кнопкой мышки по имени электромагнитной структуры в окне просмотра проекта и выберите **Options**.

На вкладке **Frequencies** снимите отметку в **Use project defaults** и введите диапазон частот от **10** до **22** с шагом **0.1**, нажмите **Apply**. На вкладке **EMSign** отметьте **Enable AFS** и нажмите **OK**.

Щёлкните правой кнопкой мышки по имени измеряемой величины **Filter:DB(|S(2,1)|)** в группе графика в окне просмотра проекта и выберите **Properties**. В поле **Data Source Name** введите **All Sources**, нажмите **OK**. Аналогично отредактируйте измеряемую величину **Filter:DB(|S(1,1)|)**.

Откройте окно графика и щёлкните по значку **Analyze** на панели инструментов.

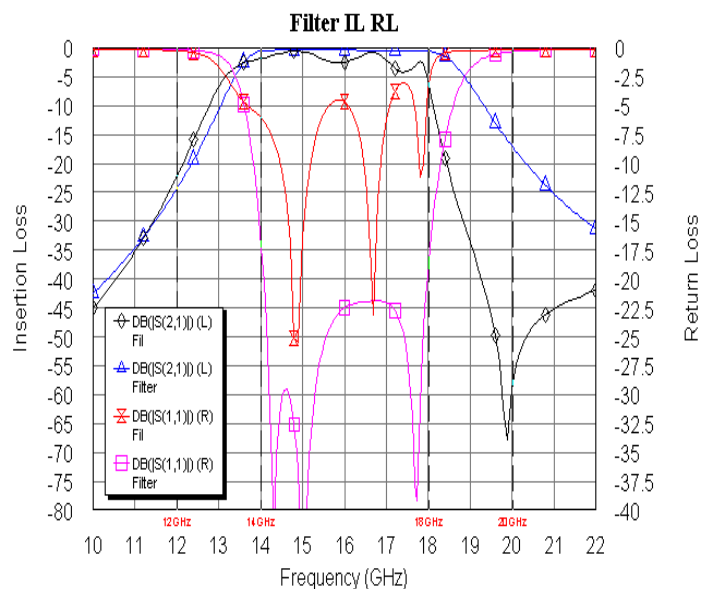


Рис. 2.136

Чтобы не затемнять рассчитанный график, удалите маркеры и установите вертикальные маркеры на частотах 12, 14, 18 и 20 ГГц. График будет выглядеть, как показано на рис. 2.136. Полоса пропускания получилась уже требуемой и с большими пульсациями.

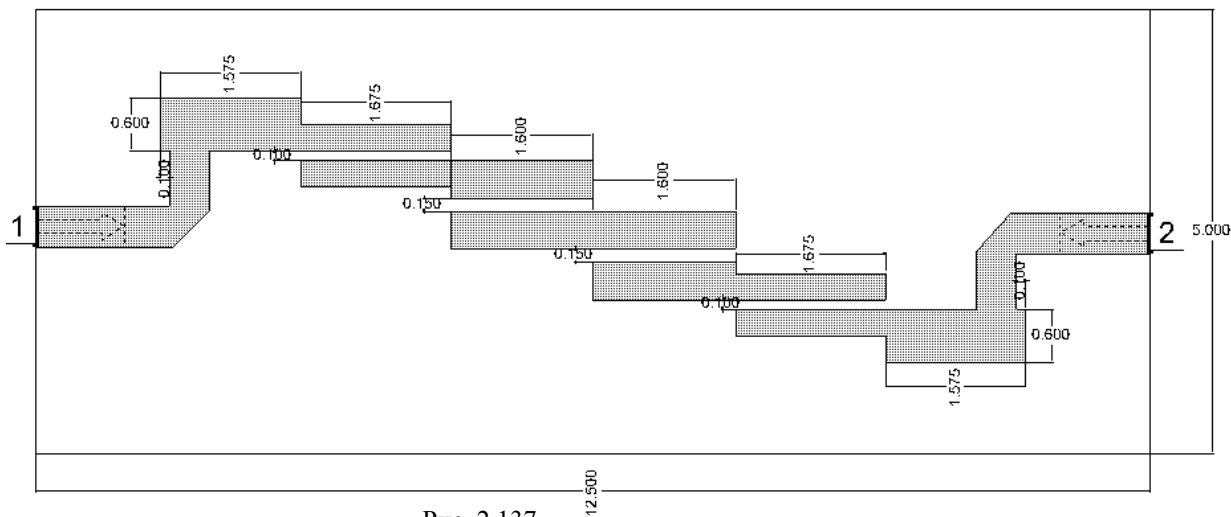


Рис. 2.137

Откройте окно электромагнитной структуры. Выделите два первых резонатора с входным проводником и сместите их вниз на 0.05 мм, чтобы уменьшить второй зазор. Затем выделите первый резонатор с входным проводником и сместите его вниз на 0.05 мм, чтобы уменьшить первый зазор. Аналогично уменьшите предпоследний и последний зазоры, смещая соответствующие резонаторы вверх на 0.05 мм. Затем нужно подбором изменить размеры кондуктивной связи, чтобы улучшить согласование. После чего нужно укоротить длину резонаторов, чтобы сдвинуть характеристику вверх по частоте и соответственно уменьшить длину корпуса. Отредактируйте эти размеры так, как показано на рис. 2.137. Характеристика потерь будет иметь вид, показанный на рис. 2.138, а VSWR – на рис. 2.139.

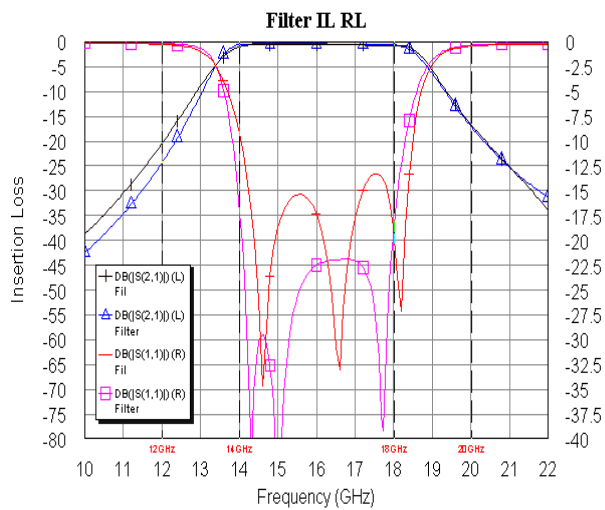


Рис. 2.138

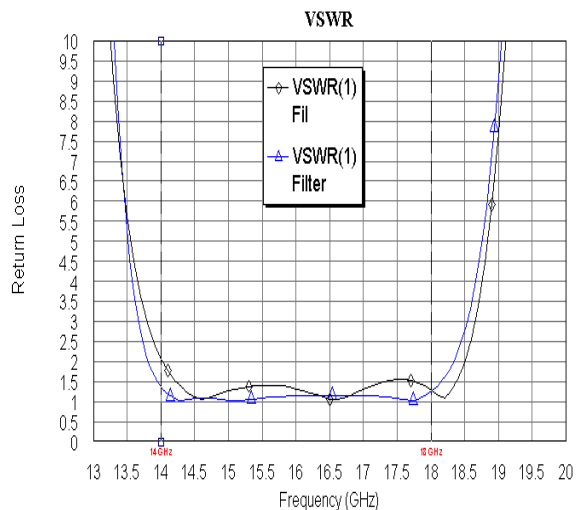


Рис. 2.139