

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет «Московский институт электронной техники».

Институт микроприборов и систем управления имени Л.Н. Преснухина

Лабораторная работа №6

«Синтез микрополосковых фильтров в AWR MWO с помощью расширения iFilter»

**По курсу
«Моделирование антенно-фидерных устройств в среде AWR Microwave Office»**

Москва, Зеленоград

2023

Оглавление

Оглавление	2
Введение.....	2
Теоретические сведения	2
Методика выполнения работы.....	3
Рекомендации по выбору ВЧ-подложки и топологии фильтра	3
Мастер iFilter	5
Схемная оптимизация.....	9
ЕМ-анализ средствами и тонкая подстройка	12
Экспорт топологии фильтра и результатов.....	20
Задание на выполнение.....	22
Требования к отчёту.....	22
Задание на самостоятельную работу.....	23
Литература	23

Введение

Цель работы: ознакомиться с инструментом синтеза микрополосковых фильтров в среде AWR Microwave Office (MWO).

Используемое оборудование или ПО: материал подготовлен на основании версии AWR Microwave Office 16.1. Однако, в работе не используются никакие специфичные для данной версии инструменты, все используемое и описываемое существует в MWO практически в таком же виде как минимум с версии MWO 2003.

Продолжительность работы: 4 часа.

Предполагается, что студент частично знаком с приемами работы в MWO, но не использовал мастер синтеза фильтров и не проводил ЕМ-моделирование.

Теоретические сведения

//TODO

Методика выполнения работы

При работе с мастером синтеза микрополосковых фильтров iFilter в MWO типовой маршрут работы обычно следующий:

1. Создание исходной структуры фильтра через мастер iFilter.
2. Оптимизация на схемотехническом уровне.
3. Тонкая подстройка на топологическом уровне (ЕМ-анализ).
4. Экспорт результатов (топологии и S-параметров) для последующего использования в основном проекте.

Рекомендации по выбору ВЧ-подложки и топологии фильтра

ВЧ-подложки рекомендовано выбирать массово распространенные. Нужно помнить, что часто ВЧ-подложку нужно выбирать не только для синтеза микрополосковых фильтров, но и для проектирования ячеек целиком. Также перед тем, как остановиться на конкретной подложке, стоит оценить ее применимость для текущего частотного диапазона, в том числе:

- рекомендовано отношение ширины 50 Ом/длине 90° порядка $1/5..1/20$, что даст возможность поиграться с размерами и схемотехническое моделирование будет близко к ЕМ-анализу;

- уменьшение толщины приводит к уменьшению ширины 50 Ом, что упрощает согласование компонентов, но при этом приводит к увеличению погонных потерь. Также это может приводить к невозможности проектирования некоторых полосковых устройств, т.к. большие волновые сопротивления становятся нереализуемыми по ширине (меньше допустимого по технологическому процессу);

- стоит учитывать доступные на текущий момент технологические нормы, в том числе минимальный зазор/минимальная ширина полоска 0,1 мм/0,1 мм;

- не стоит брать подложки типа керамики, поликора, сапфировых стекол и их аналогов, т.к. данные подложки плохо (или даже вообще невозможно) поддаются сверлению и полноценные печатные платы для ячейки целиком на них сделать не получится.

Доступные к покупке массово распространенные ВЧ-подложки на текущий момент это:

- RO4003C ($\epsilon_r = 3,55$, $\tan\delta = 0,0026$), доступные толщины 0,203 мм (8 mil), 0,305 мм (12 mil), 0,406 мм (16 mil), 0,508 мм (20 mil), 0,813 мм (32 mil) и 1,524 мм (60 mil) [6];

- RO4350B ($\epsilon_r = 3,66$, $\tan\delta = 0,004$), доступные толщины 0,101 мм (4 mil), 0,168 мм (6,6 mil), 0,254 мм (10 mil), 0,338 мм (13,3 mil), 0,422 мм (16,6 mil), 0,508 мм (20 mil), 0,762 мм (30 mil) и 1,524 мм (60 mil) [6];

- RO3003 ($\epsilon_r = 3$, $\tan\delta = 0,0013$), доступные толщины 0,13 мм (5 mil), 0,25 мм (10 mil), 0,5 мм (20 mil), 0,75 мм (30 mil) и 1,52 мм (60 mil) [7].

Стандартные толщины металлизаций – 17 мкм (0,5 os) и 35 мкм (1 os).

Для других подложек могут быть иные доступные толщины.

Для указанных подложек есть аналоги от других производителей. Таблица взаимозаменяемости приведена ниже. Но надо учитывать, что взаимозаменяемость идет только по относительной диэлектрической проницаемости на определенной частоте ($\epsilon_r/Dk@10$ ГГц). По доступным толщинам диэлектрика и металлизации, тангенсу угла диэлектрических потерь и другим физическим свойствам материалы могут отличаться, иногда значительно. Точные значения нужно проверять по документации на выбранную подложку. Хорошие каталоги с указанием взаимозаменяемости можно найти на ресурсах [8] и [9].

Rogers corp	TACONIC	WANGLING	FSD	Jio Yao
RO4003C	HF-330F	WL-CT338	FSD883T	HJY340B-M
RO4350B	HF-350	WLCT350	FSD888T	HJY350A или HJY350B-M
RO3003 или RO3003G2	TLC-30	TFA300	FSD300GR	FJY300C-M

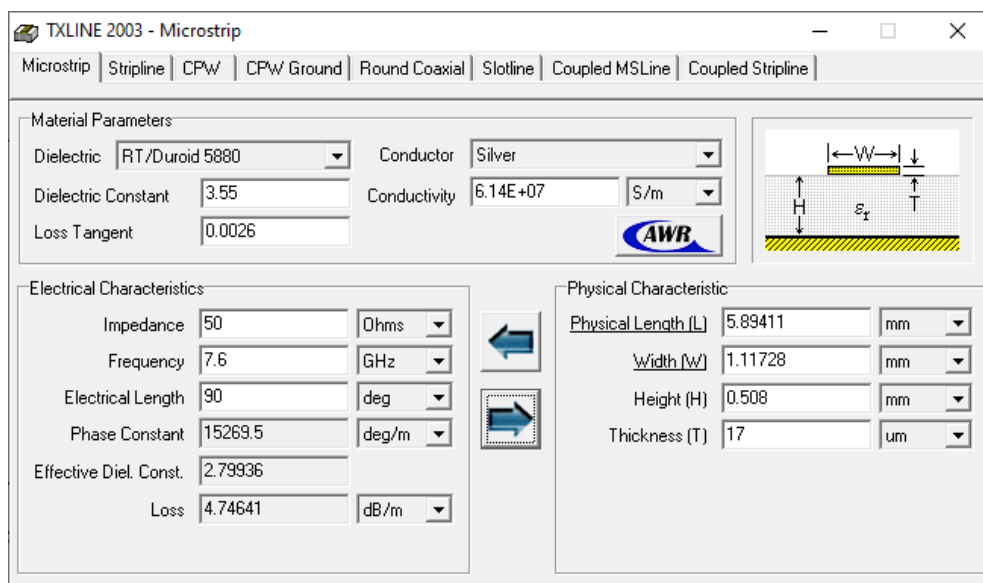
При выборе конкретной топологии фильтра можно остановиться на шпильчатой и вариациях, построенных на связанных линиях. Использовать топологию на встречных штырях в микрополосковой реализации не стоит, т.к. используются земляные отверстия, которые методом моментов (AXIEM в MWO) считаются довольно долго. Также стоит избегать комбинированных с дискретными компонентами вариантов, т.к. придется проводить настройку и моделирование с использованием моделей существующих обмеренных дискретных компонентов. В пределе можно задуматься об использовании продвинутых топологий (например, построенных на связанных резонаторах сложной формы), но для них как правило нет адекватной схемотехнической

модели, нужно сразу строить топологическую ЕМ-модель и аккуратно ее настраивать.

Определим требования к фильтру:

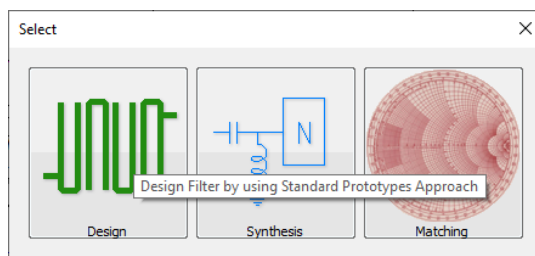
- полосно-пропускающий фильтр;
- центральная частота $F_c = 7,6$ ГГц;
- ширина полосы пропускания по -3дБ $\Delta f_{-3\text{дБ}} = 800$ МГц;
- границы полосы запираания 6,0..6,6 ГГц (нижняя полоса) и 8,6..9,0 ГГц (верхняя полоса);
- уровень запираания 30 дБ по отношению к уровню полосы пропускания.

В качестве ВЧ-подложки выберем RO4003C ($\epsilon_r = 3,55$, $\tan\delta = 0,0026$) толщиной 0,508 мм с толщиной металлизации $\frac{1}{2}$ os (17 мкм). Анализ линии 50 Ом, 90° @ 7,6 ГГц с помощью TXLINE говорит о ее размерах 1,1 мм x 5,9 мм. Отношение близко к 1/5.

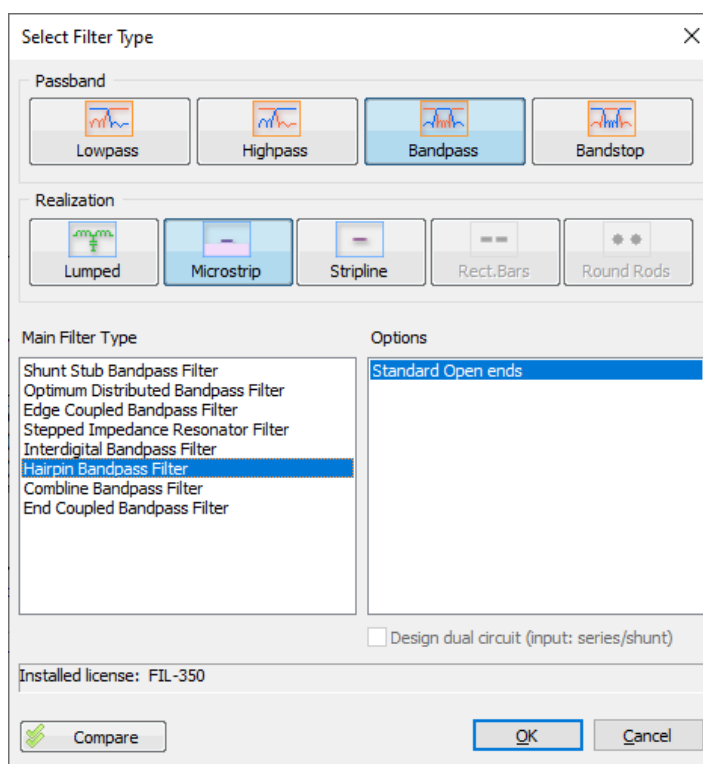


Мастер iFilter

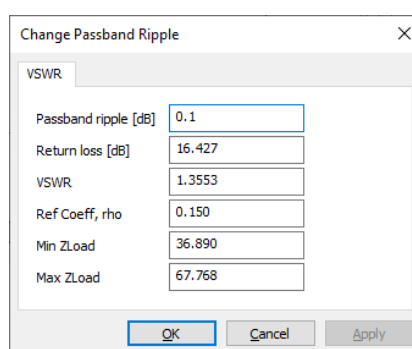
Запуск мастера iFilter делается в дереве проекта в списке Wizards – iFilter Filter Synthesis. В окне нужно выбрать режим Design.



В следующем окне выбирается тип АЧХ фильтра (Bandpass, ППФ), реализация на каких элементах (Microstrip, микрополосковая реализация) и топология фильтра, остановимся на шпилечном фильтре (Hairpin) без дополнительных модификаций.



Далее в открывшемся окне нужно настроить желаемые свойства фильтра. По кнопке Ripple [dB] можно оценить ожидаемые частотные свойства фильтра в полосе пропускания. Текущая неравномерность в полосе пропускания (Passband ripple) 1 дБ нас устраивает.



Далее, по кнопке Design Options на вкладке Technology нужно задать параметры ВЧ-подложки.

Distributed Model Options...

Realization Technology Parasitics Limits

Microstrip

Substrate Er 3.55

Height(H)[mm] 0.508

Cond.Thickness(t)[mm] 0.017

Loss Tangent (tanD) 0.0026

Max usable frequencies:
Fc= 59.771 GHz (1st higher order mode)
Fs= 107.820 GHz (surface wave mode)

Dimensions for common impedances
Zo= 40 ohms --> W= 1.58879mm
Zo= 50 ohms --> W= 1.12783mm
Zo= 60 ohms --> W= 0.828602mm
Zo= 70 ohms --> W= 0.621482mm
Zo= 80 ohms --> W= 0.471823mm

OK Cancel Apply


По кнопке Edit Chart Settings  отобразим маркеры (Markers) на интересующих нас частотах на графике АЧХ (IL). Здесь же можно определить спеки для будущей оптимизации (OptGoals).

Chart Settings

Plot

IL+RL GD+PH IL+SWR IL+GD IL+PhVar

Analysis Range

Fmin [MHz] 4100

Fmax [MHz] 11100

☒ Adjust automatically

IL Axis

ILmin [dB] 0

ILmax [dB] 100

☐ Adjust automatically

Synthesis Graphs

☒ Plot Ideal T2 Transfer Response H(w)

Markers and Opt Goals

Markers Opt Goals

IL @ 7200MHz

IL @ 7600MHz

IL @ 8000MHz

IL @ 6600MHz

IL @ 8600MHz

Auto Edit Add Delete Clear

OK Cancel Apply

В группе Specification указываются параметры фильтра прототипа. Укажем центральную частоту 7,6 ГГц и ширину полосы пропускания BW = 800 МГц. Значение волнового сопротивления резонаторов Reson Zo = 60 Ом довольно удобная цифра, менять ее не будем. А вот с порядком фильтра (Degree) придется поиграться, пока значения на АЧХ не станут более-менее приличными. Причем, т.к. в дальнейшем результаты анализа заведомо будут хуже, чем на текущем представленном графике АЧХ фильтра-прототипа, то заложимся на уровень запыриания в полосе заграждения

Specifications

Degree 5

Fo[MHz] 7600


BW[MHz] 800

Reson Zo 60

RSource 50

RLoad 50

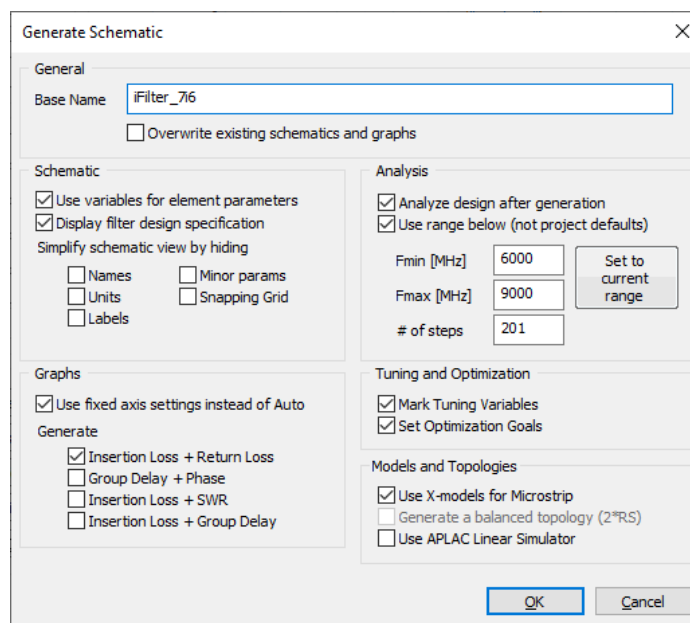
>45 дБ (вместо нужных по ТЗ 30 дБ). Подобранный пятый порядок выглядит приемлемо.

Для того, чтобы получить оценочный вид топологии фильтра в мастере, нужно нажать на кнопки Analyze Real  и View Layout .

После всех данных манипуляций окно мастера должно выглядеть приблизительно, как показано ниже.



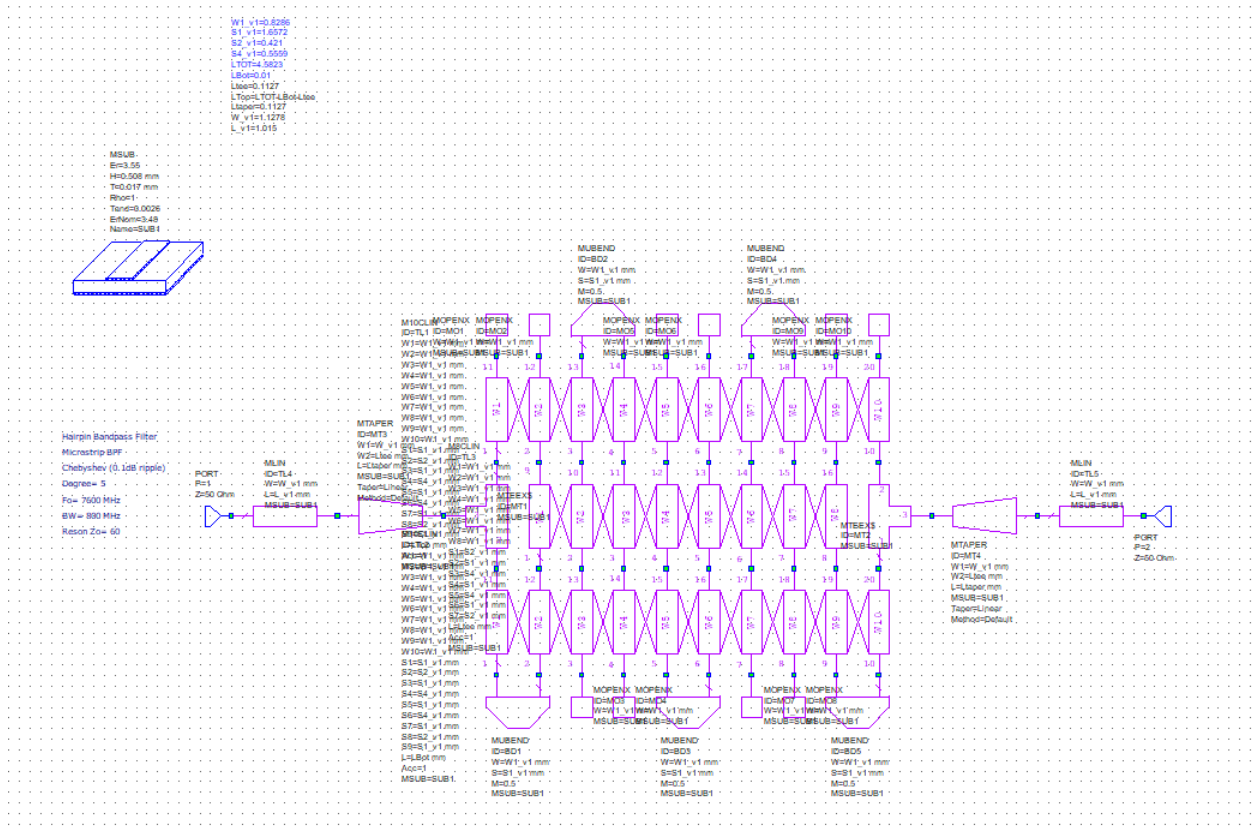
Работа в мастере закончена. По кнопке Generate Design необходимо создать схему на основании расчетов фильтра. В данном окне можно сразу настроить параметры моделирования схемы, включая частотную сетку, создание подготовленных графиков и рекомендованные к тюну и оптимизации параметры.



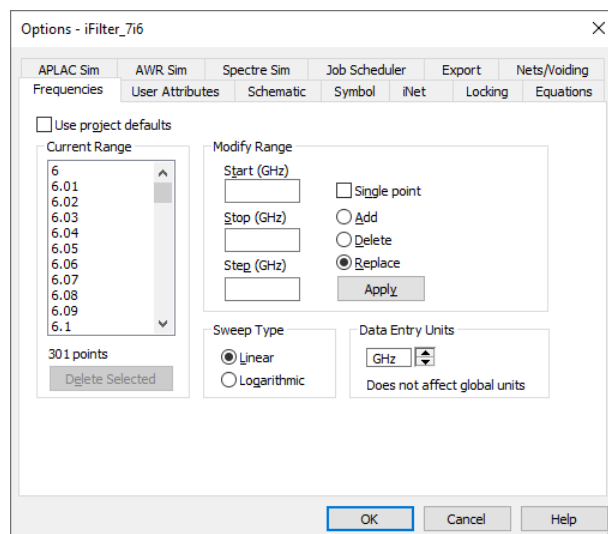
По кнопке ОК сеанс в мастере можно сохранить, чтобы при необходимости вернуться к нему в будущем. Все сохраненные сеансы показываются в дереве проекта в составе мастера iFilter.

Схемная оптимизация

Перейдем в сгенерированную схему iFilter_7i6.



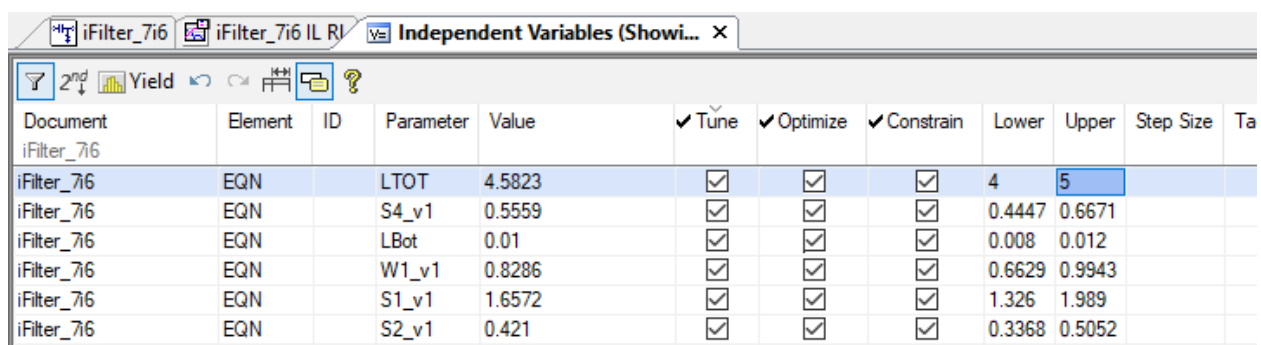
В свойствах схемы убедимся в настройках частотной сетки (от 6 ГГц до 9 ГГц с шагом 10 МГц).



Также разрешим к тюну еще общую длину LTOT.

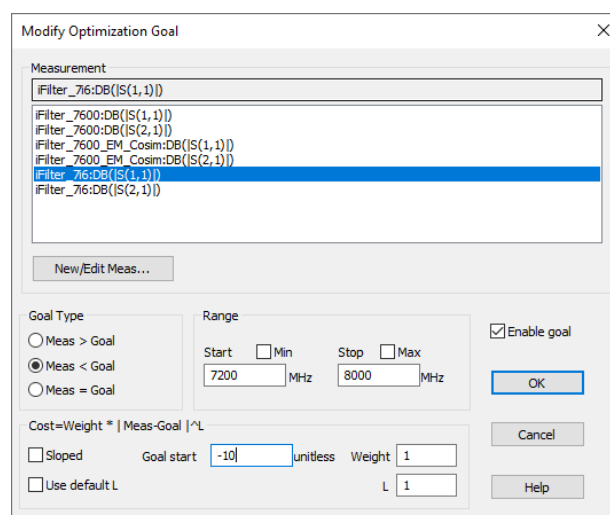
$W1_v1=0.8286$
 $S1_v1=1.6572$
 $S2_v1=0.421$
 $S4_v1=0.5559$
 $LTOT=4.5823$
 $LBot=0.01$
 $Ltee=0.1127$
 $LTop=LTOT-LBot-Ltee$
 $Ltaper=0.1127$
 $W_v1=1.1278$
 $L_v1=1.015$

В редакторе переменных схем View - Variable Browser (Alt+6) разрешим LTOT к оптимизации и ограничим ей диапазон. Настройки остальных размеров трогать не будем.



Document	Element	ID	Parameter	Value	✓ Tune	✓ Optimize	✓ Constrain	Lower	Upper	Step Size	Ta
iFilter_7i6	EQN	LTOT	4.5823		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	4	5		
iFilter_7i6	EQN	S4_v1	0.5559		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	0.4447	0.6671		
iFilter_7i6	EQN	LBot	0.01		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	0.008	0.012		
iFilter_7i6	EQN	W1_v1	0.8286		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	0.6629	0.9943		
iFilter_7i6	EQN	S1_v1	1.6572		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	1.326	1.989		
iFilter_7i6	EQN	S2_v1	0.421		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	0.3368	0.5052		

Переходим к настройке целей оптимизатора. Текущие требования на S11 довольно жесткие и их может получиться выполнить не выйдет. Смягчим требования на S11 в полосе пропускания до -10 дБ.



Modify Optimization Goal

Measurement

iFilter_76:DB(S(1,1))

iFilter_7600:DB(S(1,1))

iFilter_7600:DB(S(2,1))

iFilter_7600_EM_Cosim:DB(S(1,1))

iFilter_7600_EM_Cosim:DB(S(2,1))

iFilter_76:DB(S(1,1))

iFilter_76:DB(S(2,1))

New/Edit Meas...

Goal Type

☐ Meas > Goal

☒ Meas < Goal

☐ Meas = Goal

Range

Start ☐ Min ☐ Stop ☐ Max

7200 MHz 8000 MHz

☒ Enable goal

Cost=Weight * | Meas-Goal | ^L

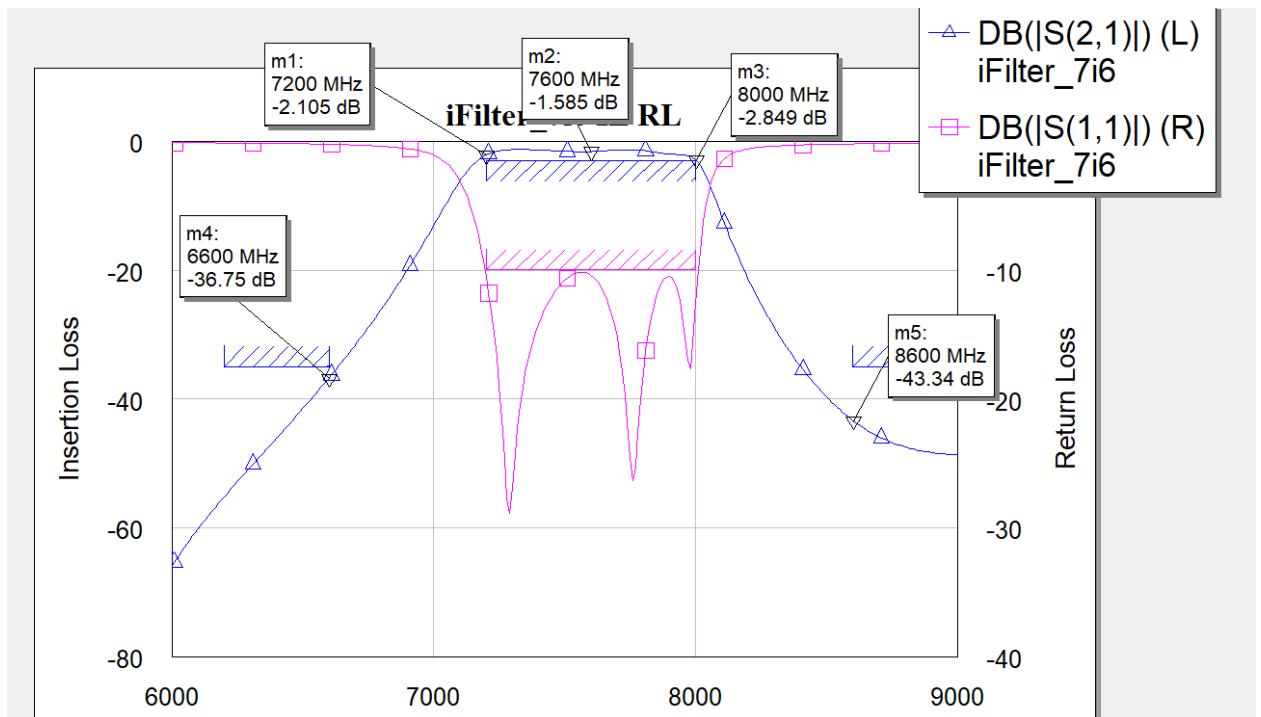
☐ Sloped Goal start unitless Weight L

☐ Use default L


OK Cancel Help

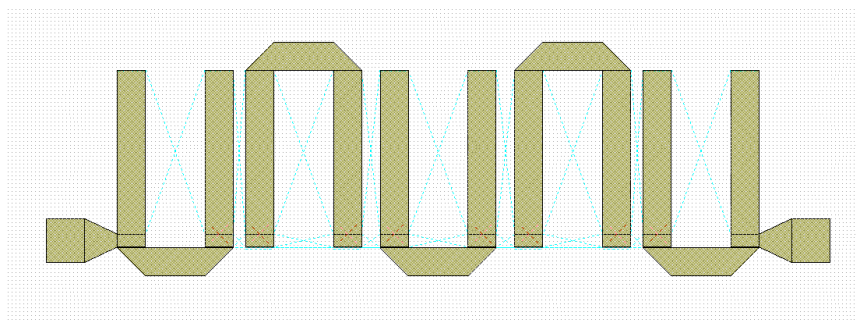
Также нужно проверить требования на уровни запираания. Они по T3 определяются относительно уровня пропускания.

Переходим на окно оптимизатора Simulate – Optimize (F7). Запускаем оптимизацию. Схемная оптимизация пройдет довольно быстро.



При расчете оптимизатора может получиться, что не получается выполнить требования на АЧХ, потери в полосе пропускания оказываются ниже 3 дБ. Но при этом видно, что требования на запырание выполняются с запасом. В этом случае, можно смягчить требования на потери в полосе пропускания, до 4..5 дБ. Но при этом надо не забыть пропорционально ужесточить требования на уровни запырания (т.к. по ТЗ они определяются относительно уровня пропускания).

В конце расчетов надо посмотреть на получившуюся схему и ее топологическое представление. Надо пройтись по полученным значениям переменных и убедиться, что они имеют допустимые значения (нет ли слишком узких или слишком широких зазоров и ширин, нет ли участков, у которых длина меньше чем ширина и пр.). На топологическом уровне выбрав все компоненты и по команде Snap Together  все их соединить и также убедиться, что топология выглядит нормально.

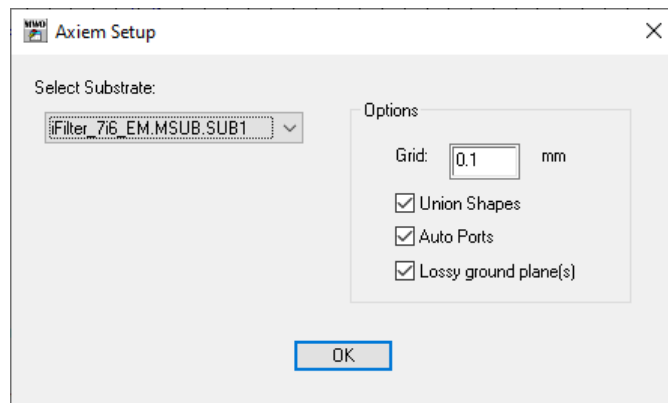


Работа на схемном уровне закончена. Можно перейти к ЕМ-анализу и тонкой подстройке.

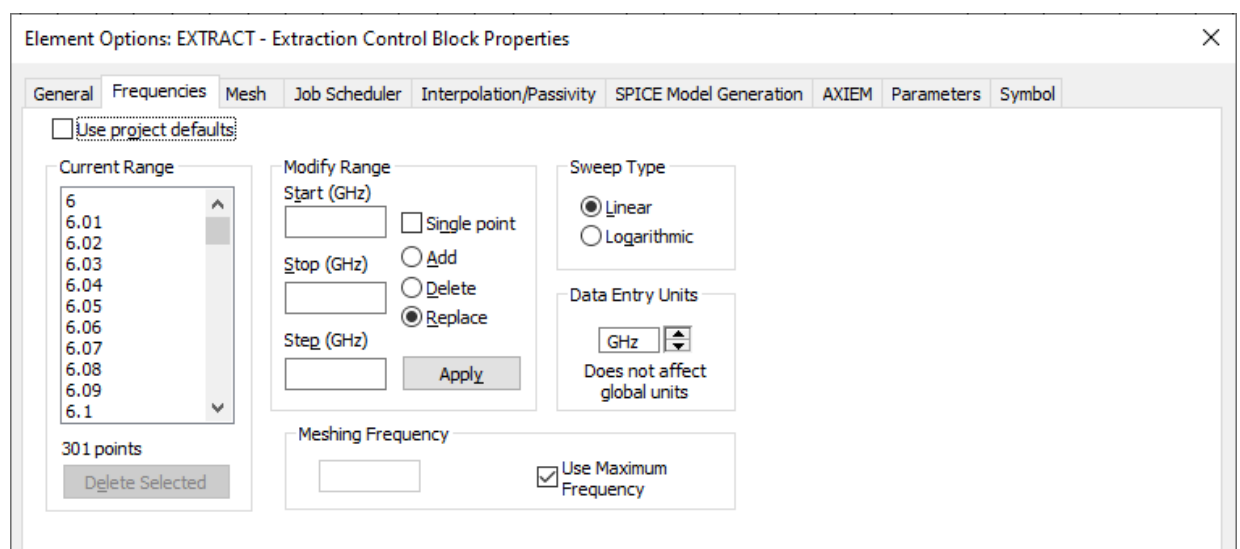
ЕМ-анализ средствами и тонкая подстройка

Подготовим топологию к электромагнитному анализу. Для этого будем использовать инструмент экстракции (косимуляции).

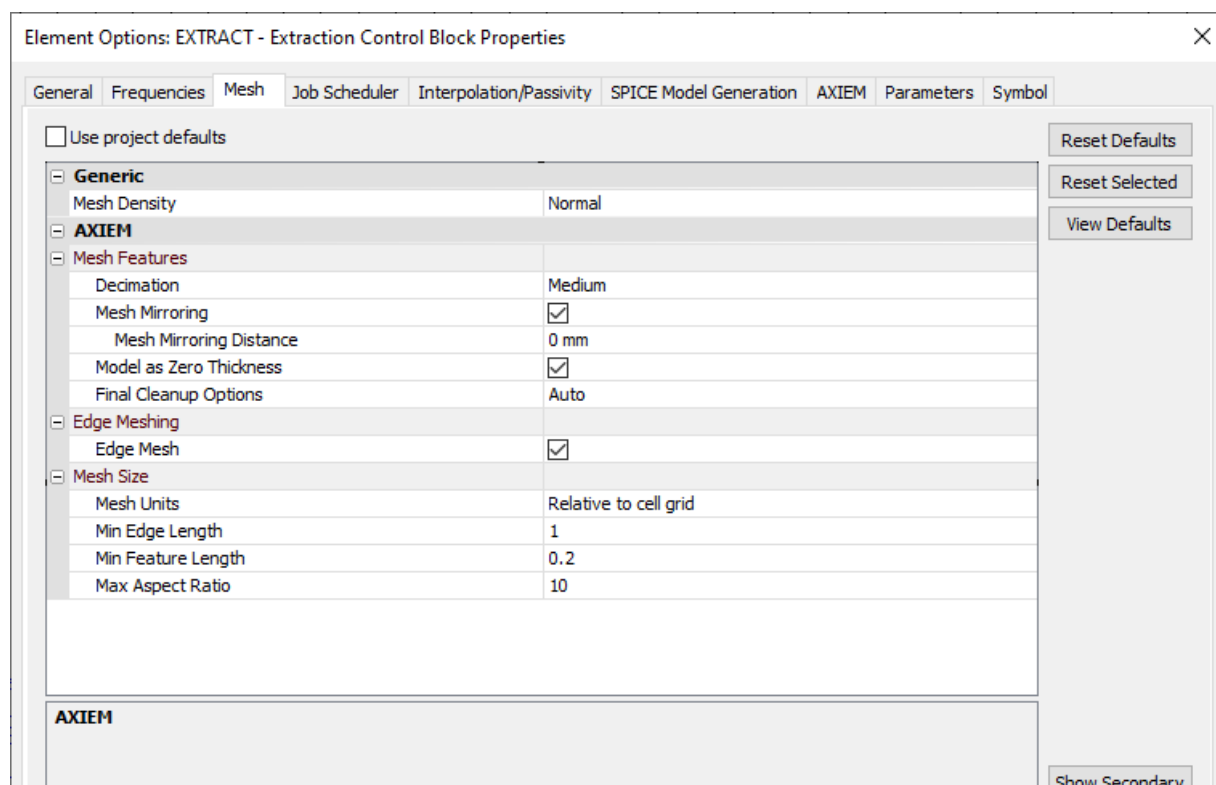
Чтобы не испортить существующую схему, склонируем существующую схему под другим именем ПКМ – Duplicate (iFilter_7i6_EM). Экстракция (косимуляция) топологии проводится с помощью блоков EXTRACT и многослойного определения подложки STACKUP. Их можно заполнять вручную. Но существует скрипт, автоматизирующий их создание. Нужно выбрать схемное определение подложки MSUB и запустить скрипт Scripts – EM – Create_Stackup. В появившемся окошке нужно задать шаг базовой сетки 0,1 мм, что соответствует минимальному зазору/ширине по выбранному техпроцессу. Остальные настройки хорошо подходят для ЕМ-моделирования планарного фильтра методом моментов AXIEM.



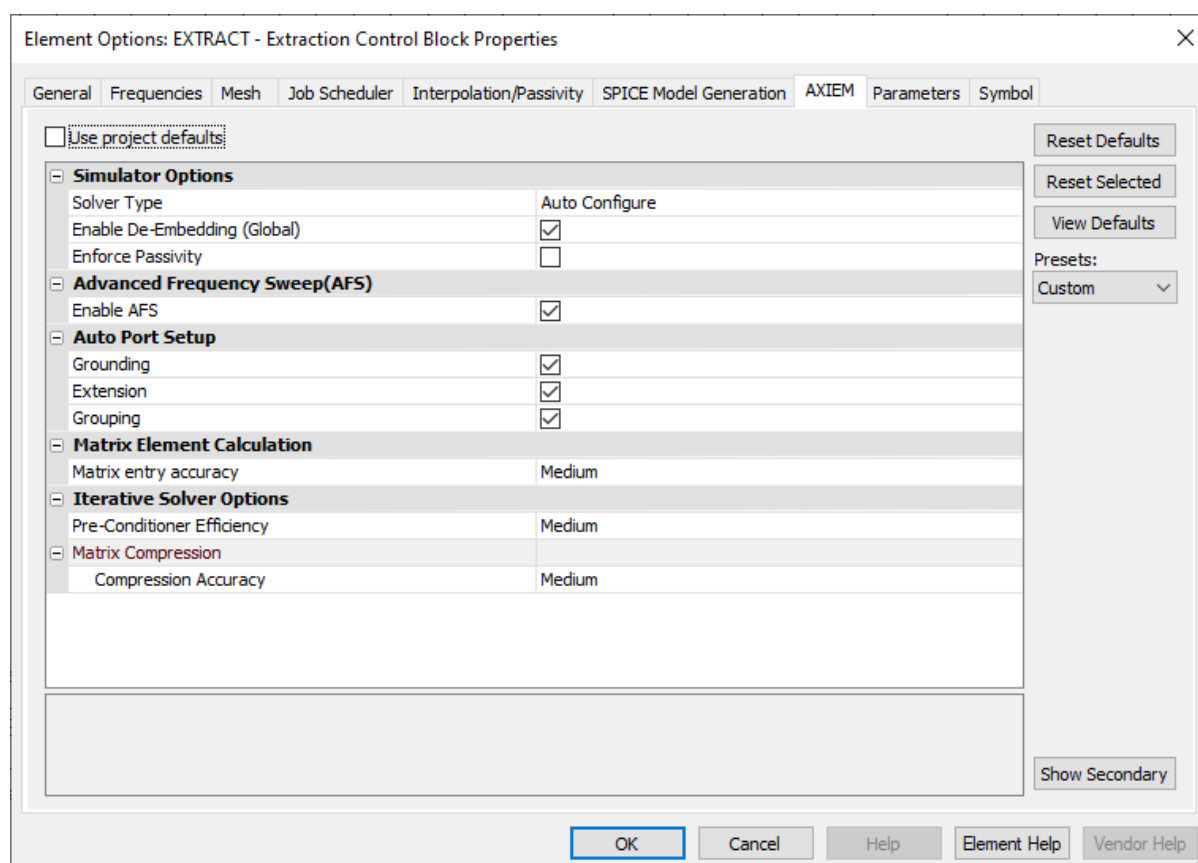
В добавленном в схему блоке EXTRACT нужно пройтись по его настройкам. На вкладке Frequencies нужно убедиться, что стоит интересующая нас частотная сетка.



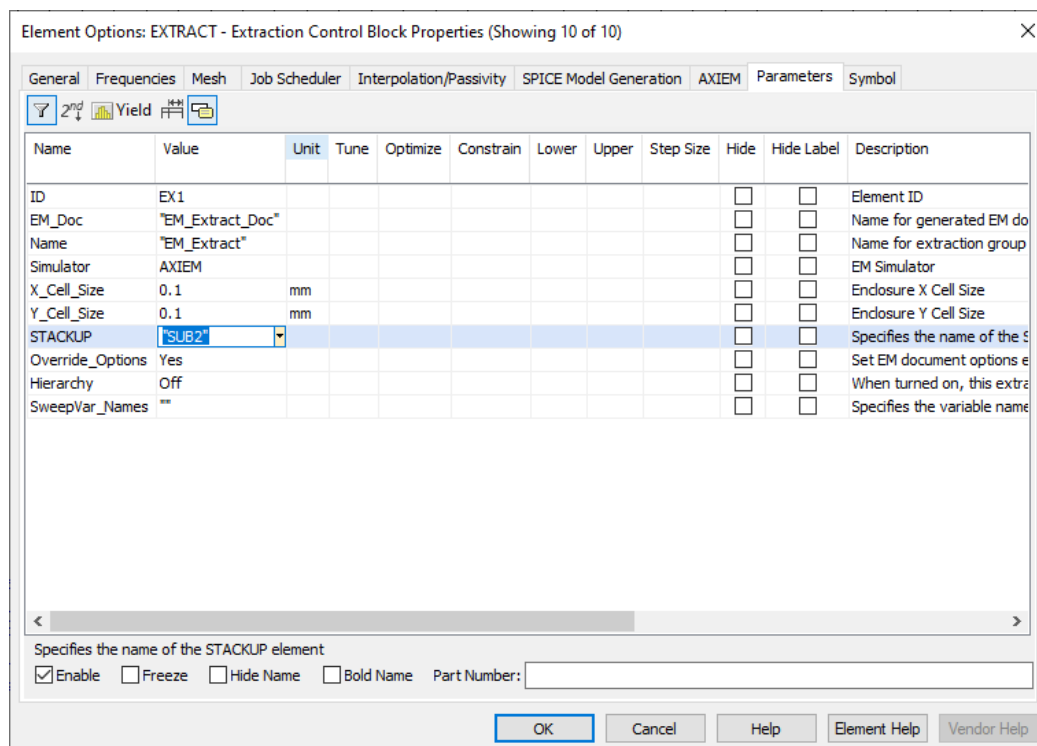
На вкладке Mesh задаются настройки сетки. Значения по умолчанию подходят для нашей задачи.



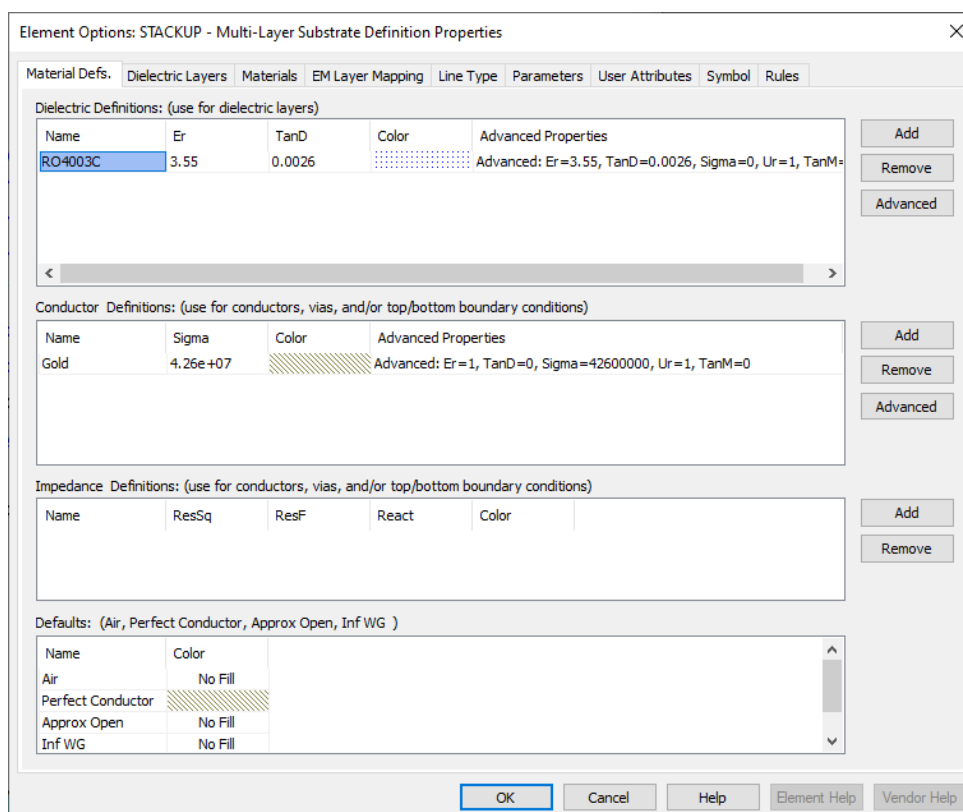
На вкладке AXIEM нужно убедиться, что включен режим Advanced Frequency Sweep.



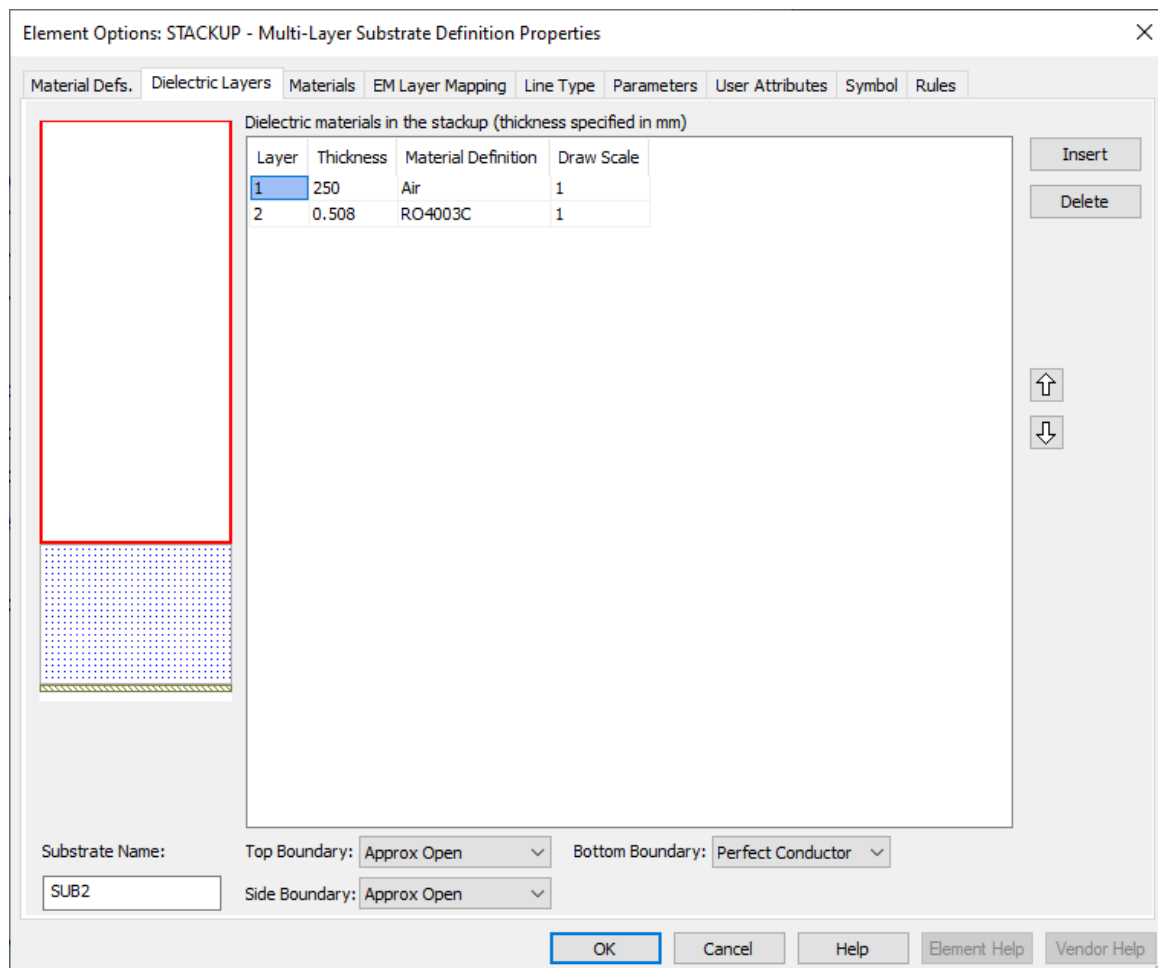
На вкладке Parameters нужно указать имя ЕМ-стека SUB2.



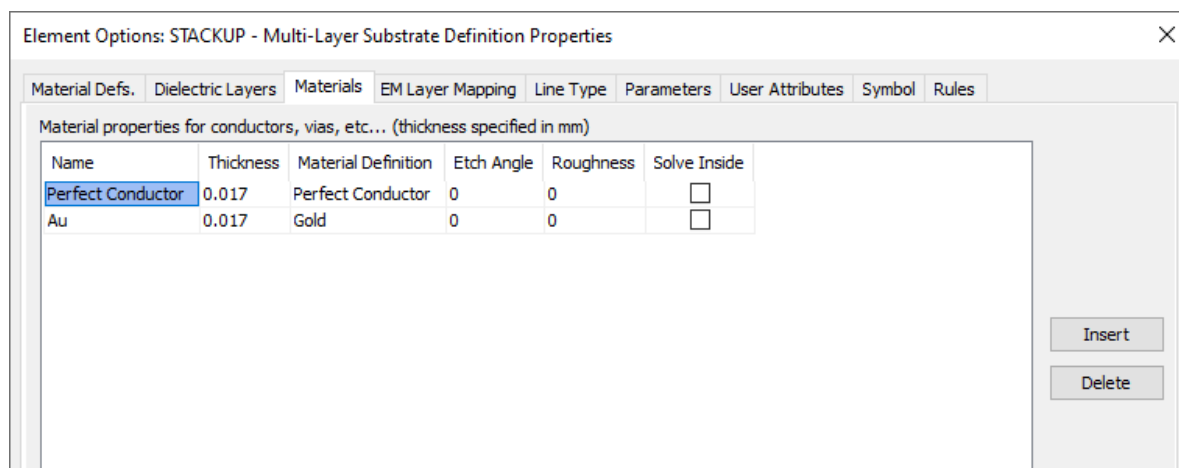
Далее нужно проверить настройки ЕМ-стека SUB2. На вкладке Materials Defs. Определяются используемые материалы диэлектриков. Они импортированы из MSUB. Чтобы не путаться, можно переименовать название диэлектрика на настоящее RO4003C.



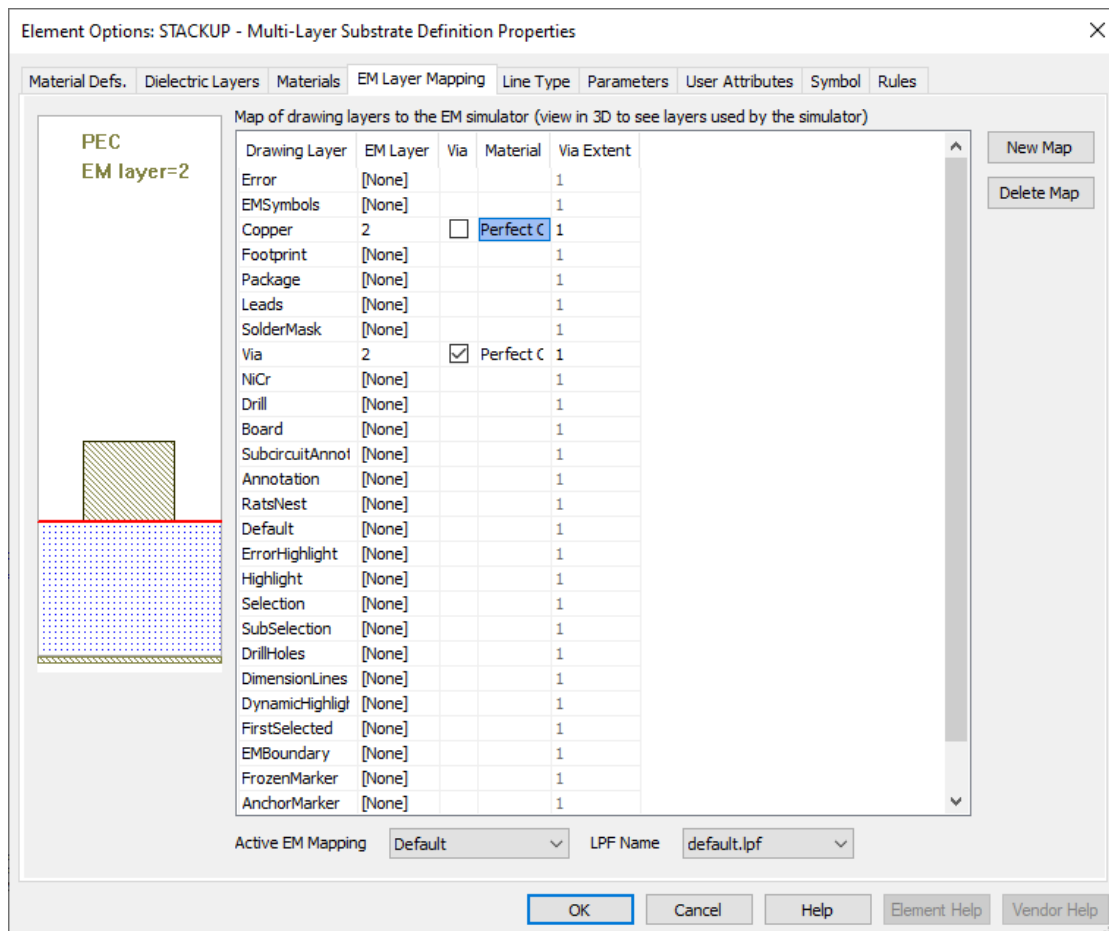
На вкладке Dielectric Layers указывается структура подложки по диэлектрическим слоям. Толщины также импортируются из MSUB. При этом толщина воздуха достаточно большая (250 мм). Также нужно проследить за граничными условиями – Top Boundary = Approx Open, Bottom Boundary = Perfect Conductor, Side Boundary = Approx Open.



На вкладке Materials задаются материалы проводников. На ней ничего менять не нужно.

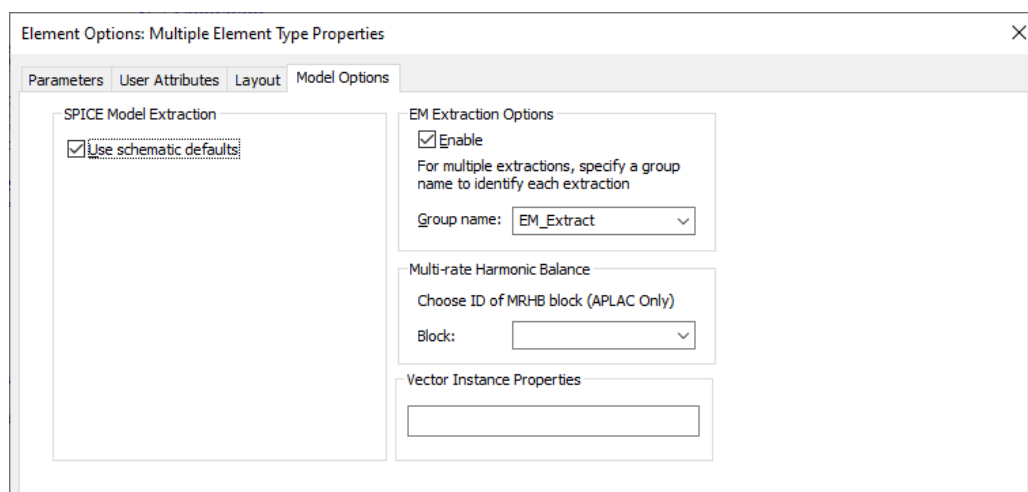


На вкладке EM Layer Mapping указываются металлизированные слои. Здесь нужно у слоя Copper (EM Layer = 2) заменить материал на Perfect Conductor.

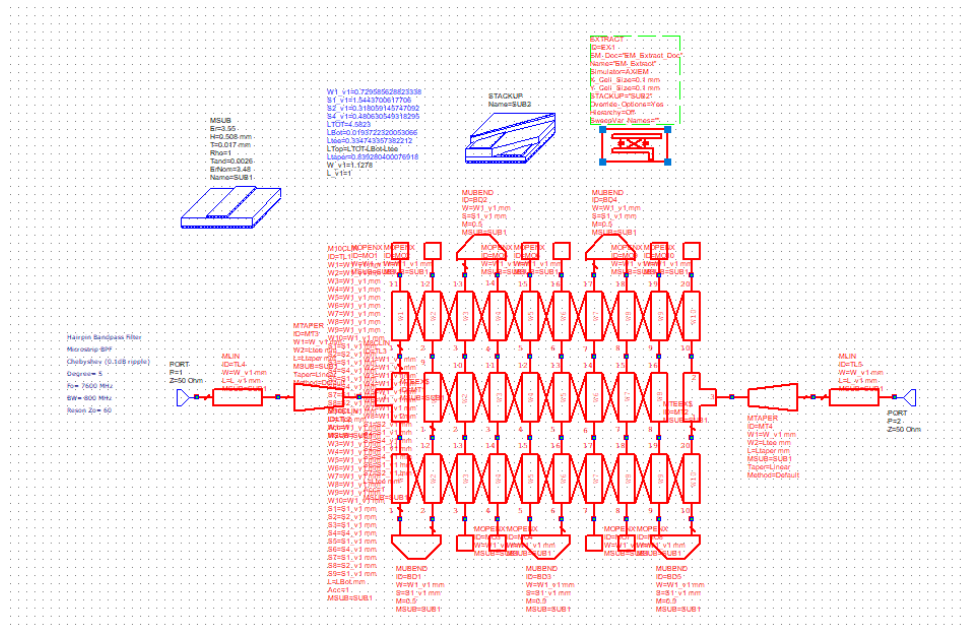


На последующих вкладках ничего настраивать не нужно.

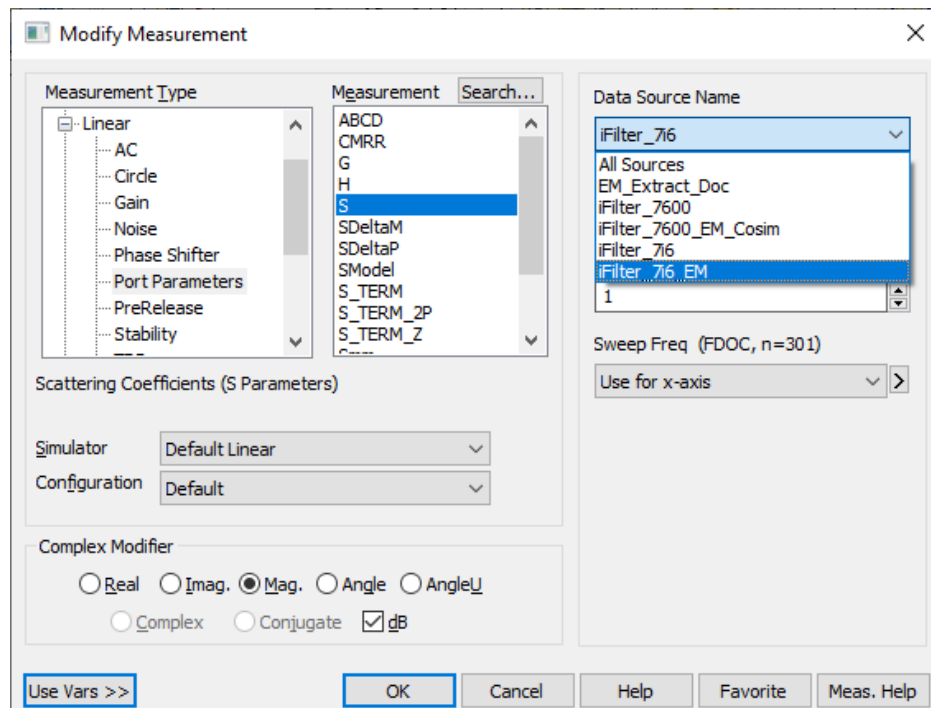
Далее нужно указать, какие части схемы уходят в генерацию топологии (экстракцию). Для этого нужно выбрать все полосковые части схемы и в их параметрах на вкладке Model Options в группе EM Extraction Options включить галку Enable и выбрать имя блока экстракции (EM_Extract).



Убедиться, какие части схемы отправлены в экстракцию можно, выбрав блок EXTRACT на схеме. Все части схемы, связанные с ним, будут подсвечены одним с ним цветом.



Настроим графики. Чтобы не задавать их всех, склонируем график «iFilter_7i6 IL RL» с именем «iFilter_7i6 IL RL_EM», а затем для его составляющих графиков изменим источник на схему iFilter_7i6_EM.



Чтобы на графиках изображались границы с оптимизации, надо аналогично отредактировать существующие цели оптимизатора, изменим им измерительные выражения.

Modify Optimization Goal

Measurement

iFilter_7i6_EM:DB(|S(2,1)|)

iFilter_7600:DB(|S(1,1)|)
iFilter_7600:DB(|S(2,1)|)
iFilter_7600_EM_Cosim:DB(|S(1,1)|)
iFilter_7600_EM_Cosim:DB(|S(2,1)|)
iFilter_7i6:DB(|S(1,1)|)
iFilter_7i6:DB(|S(2,1)|)
iFilter_7i6:VSWR(1)
iFilter_7i6_EM:DB(|S(1,1)|)
iFilter_7i6_EM:DB(|S(2,1)|)

New/Edit Meas...

Goal Type

☐ Meas > Goal
☒ Meas < Goal
☐ Meas = Goal

Range

Start ☐ Min 6200 MHz Stop ☐ Max 6600 MHz

☒ Enable goal

OK

Cost=Weight * | Meas-Goal |^L

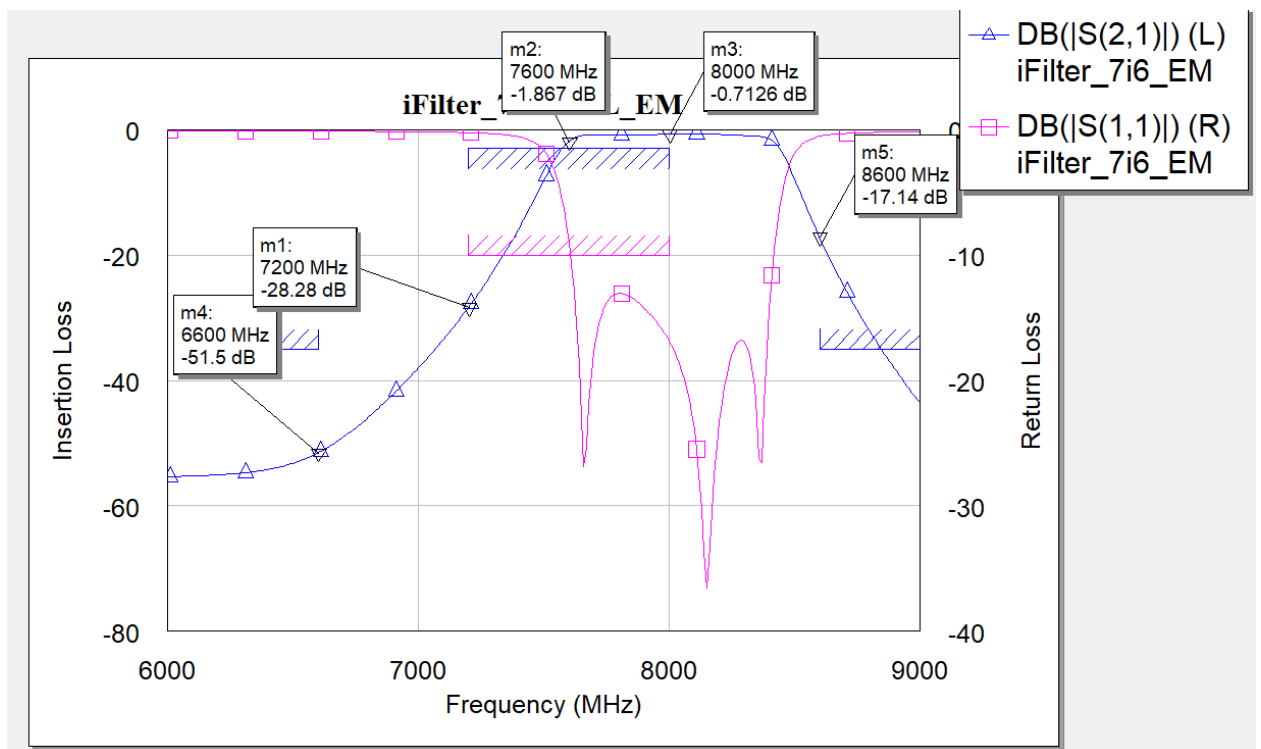
☐ Sloped Goal start -35 unitless Weight 1

☐ Use default L L 1

Cancel

Help

Топология готова к запуску. Результаты моделирования показывают некоторый уход центральной частоты фильтра вверх.

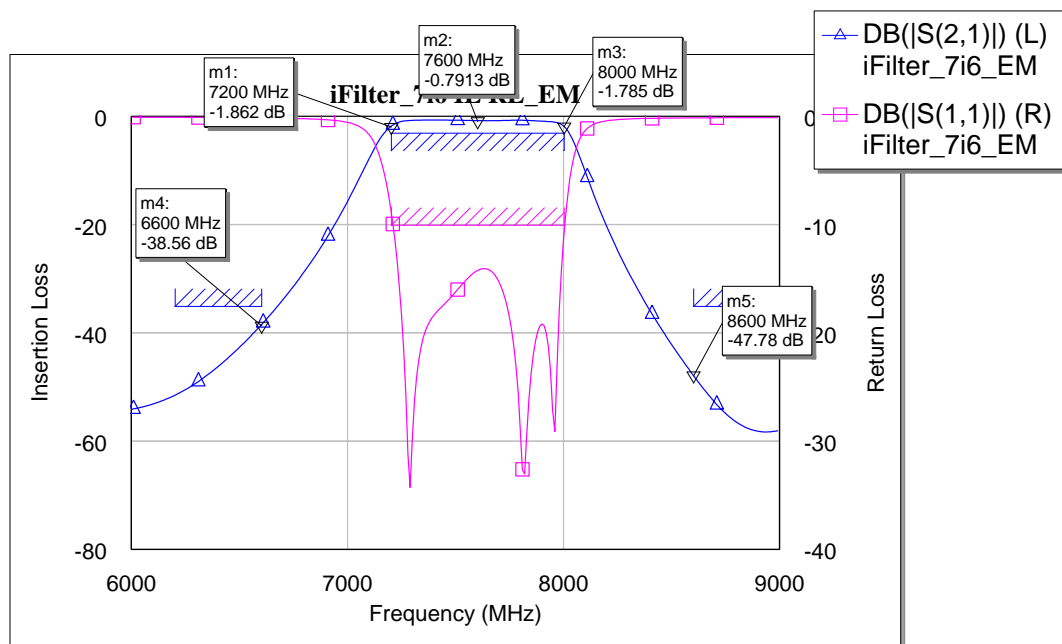


Можно опять заняться оптимизацией. Но, т.к. для расчета используется ЕМ-модель, то оптимизация может занять неоправданно большое время. Вместо этого можно аккуратно поработать с некоторыми параметрами схемы. В данном случае, явно нужно увеличить какую-либо из длин, в первую очередь LTOT. И вручную, за несколько запусков ЕМ-моделирования выйти на нужные характеристики.

```
W1_v1=0.73
S1_v1=1.55
S2_v1=0.31
S4_v1=0.48
LTOT=4.9
LBot=0.015
Ltee=0.33
LTop=LTOT-LBot-Ltee
Ltaper=0.72
W_v1=1.13
L_v1=1
```

Также стоит округлить численные значения до разумных точностей и посмотреть, к чему это приведет.

Видно, что потери в полосе фильтра не больше ~2 дБ (что лучше требуемого 3 дБ). Из этого также следует, что полученный уровень запырания 36,5 дБ, что также заведомо лучше требуемого 30 дБ. Данные цифры говорят о том, что есть некоторый запас на неточность производства и можно рассчитывать, что характеристики изготовленного фильтра будут не хуже требуемых.



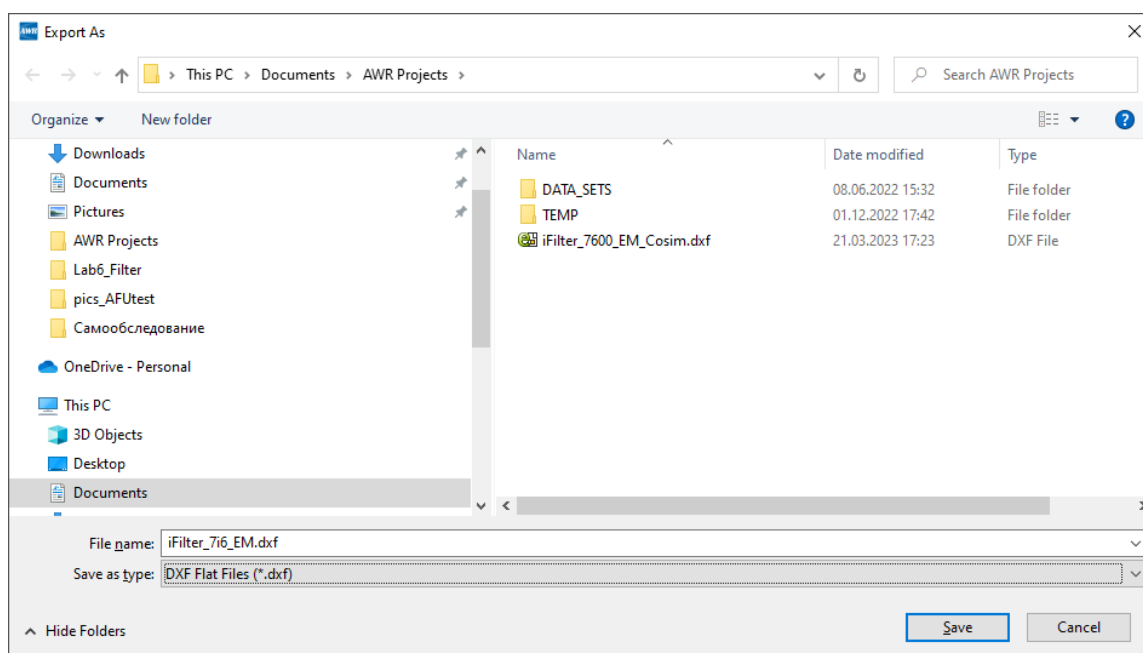
Расчеты окончены. В идеале данную топологию также стоит проверить в каком-либо еще электромагнитном САПР, чтобы убедиться в достоверности результатов.

Экспорт топологии фильтра и результатов

Для дальнейшего использования данного фильтра в других САПР могут понадобиться его топология и результаты моделирования.

Топология переносится из дерева проекта по схеме ПКМ – Export Layout. Доступно несколько нейтральных форматов для переноса – GDSII, DXF и Gerber/NC Drills. Формат Gerber/NC Drills – это файлы для производства, их стоит избегать. GDSII и DXF более подходящие форматы для переноса. Однако важно понимать, перенесенная топология не будет параметризированной. Если планируется полноценная работа в следующем САПР, в том числе с подстройкой размеров, то скорее всего, ее придется в этом следующем САПР собирать заново.

Также данные форматы не переносят информацию о подложке и иногда не содержат в себе указание на размерность длин (мм, дюйм и пр.), в которых спроектирована топология. Данную информацию необходимо указывать в примечаниях отдельно.



Результаты моделирования переносятся через создание Output Files в дереве проекта. Надо будет указать тип файла, его параметры и имя. Для фильтра результаты являются 2-портовыми S-параметрами, т.е. файл типа s2p.

Add Output File [X]

Measurement Type

+

 File

Measurement Search...

AMtoAMPMF
AntPat_EF
AntPat_TPwrF
ENVELOPEF
MATLAB
NETDMP
NPORTF
PharmF
SpiceF
TOT_PWRF

Write Port Parameters to Touchstone or MDIF File

Simulator Default Linear
Configuration Default

Complex Modifier

☐ Real
☐ Imag.
☐ Mag.
☐ Angle
☐ AngleU

☐ Complex
☐ Conjugate
☐ dB

Data Source Name
iFilter_7i6_EM

Parameter Type S Format DB

Sweep Precision 8 Data Precision 8

Ref. Impedance 50

☒ Write Noise for Active Source

File Type Auto

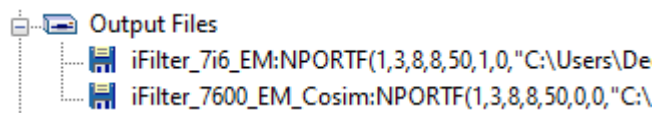
File Name AWR Projects\Filter_7i6_EM.s2p ...

☐ Write into Project Data Files

Sweep Freq (FDOC, n=301)
Use for x-axis >

OK Cancel Help Favorite Meas. Help

Запись файла произойдет после запуска моделирования.



Задание на выполнение

В соответствии с необходимыми требованиями спроектировать микрополосковый фильтр с использованием мастера iFilter. Провести его настройку на схемном и топологическом уровнях. Экспортировать полученные результаты (топологию и s-параметры) для использования в БДЗ ППУ [5].

Требования на АЧХ фильтра брать из требований на АЧХ канала в БДЗ ППУ [5].

Список рекомендованных ВЧ-подложек и рекомендации по их выбору приведены в соответствующем разделе методики выполнения.

При выполнении ориентироваться на методику выполнения.

Требования к отчёту

Отчет о выполненной лабораторной работе должен представлять из себя структурированное описание всей выполненной работы, в том числе должен содержать:

- Титульный лист, с наименованием работы, указанием исполнителя и даты выполнения.
- Цель (-и) работы.
- Список использованных инструментов в лабораторной работе.
- Разделы работы, которые рекомендовано формировать в соответствии с этапами выполнения (аналогично методике и заданию на выполнение).
- Для каждого этапа необходимо привести все выполненные расчеты, подготовленные модели, результаты и анализ результатов.

Подробность описания этапов выполненной работе студент определяет самостоятельно. Самое простое правило, которому надо следовать – человек, незнакомый с выполненной работой (но знакомый с использованным инструментом) должен быть в состоянии по отчету повторить данную работу и понять, что в ней происходит.

Готовый отчет необходимо экспортировать в pdf.

Архив проекта MWO лучше всего делать встроенным инструментом File – Archive Project. Архивированный проект имеет расширение emz.

Задание на самостоятельную работу

1) Подготовка к лабораторному занятию

При подготовке к выполнению лабораторной работы необходимо продумать шаблон отчета, при необходимости внести краткие теоретические сведения, продумать и наметить количество, вид и расположение таблиц и графиков с измеренными данными. Для получения допуска необходимо подробно изучить теоретический материал.

2) Верификация результатов моделирования.

Провести анализ спроектированного фильтра в другом доступном САПР. Учесть, что т.к. фильтр является высокочастотным микрополосковым планарным устройством, то для ЕМ-моделирования использовать виды моделирования, основанные на методе моментов (МоМ) или методе конечных элементов (FEM). Избегать видов моделирования, основанных на методе конечных разностей во временной области (FDTD), т.к. они требуют повышенных требований на временной шаг для получения достоверных результатов в зонах запыливания по сравнению с методами МоМ и FEM, возвращающих результаты изначально в частотной области.

Литература

1. Бахвалова, С. А. (Автор МИЭТ, Ин-т МПСУ). Основы конструирования РЭС : лабораторный практикум / С. А. Бахвалова ; Министерство образования и науки РФ, Национальный исследовательский университет "МИЭТ". - Москва : МИЭТ, 2021. - 68 с. - Имеется электронная версия издания. - б.ц., 100 экз. - Текст : непосредственный : электронный.

2. Бахвалова, С. А. (Автор МИЭТ, МРТУС). Основы моделирования и проектирования радиотехнических устройств в Microwave Office : учебное пособие / С. А. Бахвалова, В. А. Романюк ; Министерство образования и науки РФ, Национальный исследовательский университет "МИЭТ". - Москва : СОЛОН-Пресс, 2016. - 152 с. - URL: <https://e.lanbook.com/book/92995> (дата обращения: 09.09.2021). - ISBN 978-5-91359-206-4. - Текст : электронный

3. Бахвалова С.А. (Автор МИЭТ, МРТУС). Основы моделирования устройств в Microwave Office : Лабораторный практикум / С.А. Бахвалова ; Министерство образования и науки РФ,

Национальный исследовательский университет "МИЭТ". - М. : МИЭТ, 2015. - 180 с. - Имеется электронная версия издания. - б.ц., 100 экз.

4. Репозиторий автора с методическими указаниями по курсу «Моделирование антенно-фидерных устройств в среде ADS» <https://github.com/dee3mon/Keysight-ADS-Microstrip-methodic>

5. Репозиторий автора с методическими указаниями по курсу «Моделирование приемопередающих устройств в среде ADS» <https://github.com/dee3mon/Keysight-ADS-RFDevices-methodic>

Ссылки на документацию использованных ЭКБ

6. Документация на ВЧ-подложки RO4003C и RO4350B <https://www.rogerscorp.com/advanced-electronics-solutions/ro4000-series-laminates/ro4003c-laminates>

7. Документация на ВЧ-подложку RO3003 <https://www.rogerscorp.com/advanced-electronics-solutions/ro3000-series-laminates/ro3003-laminates>

8. Общий каталог магазина ЭлекТрейд-М <http://www.eltm.ru/>

9. Специальный раздел магазина ЭлекТрейд-М, посвященный базовым материалам печатных плат <https://pcmaterial.ru/>

Записи Youtube с видеоуроками по AWR MWO

10. Видеоурок «Feature: iFilter» на канале AWR Design Enviroment <https://youtu.be/gZ6-I5KUmq8>

11. Видеоурок «Проектирование и моделирование ВЧ фильтров в AWR Microwave Office. Практический кейс» на канале Softprom - IT Distributor <https://youtu.be/RNBBYs1ZICI>

12. Вебинар «Вебинар Знакомство с Cadence AWR Design Environment» на канале PCBSOFT <https://youtu.be/I1-mS8d4hww>

Разработчик:

Ст.преподаватель Института МПСУ

Приходько Д.В.