

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 №7

«Расчет и моделирование цепи подачи питания»

Модуль
«Моделирование антенно-фидерных устройств»

По курсу
«Моделирование СВЧ-устройств в САПР»

Москва, Зеленоград

2025

Оглавление

| | |
|---|----|
| Оглавление | 2 |
| Введение | 2 |
| Теоретические сведения | 3 |
| Методика выполнения работы | 3 |
| Создание проекта | 5 |
| Модель на идеальных линиях передачи | 6 |
| Модель на схемном уровне в микрополосковом исполнении | 8 |
| Модель на топологическом уровне | 14 |
| Добавление дискретных компонентов | 20 |
| Корректировка топологии и косимуляция emCosim | 27 |
| Моделирование по постоянному току | 33 |
| Задание на выполнение | 35 |
| Требования к отчёту | 39 |
| Задание на самостоятельную работу | 40 |
| Контрольные вопросы | 41 |
| Литература | 42 |



Введение

Цель работы: ознакомиться с расчетом и моделированием цепи подачи питания в среде Keysight Advanced Design System (ADS).

Используемое оборудование или ПО: материал подготовлен на основании версии Keysight Advanced Design System 2023.

Продолжительность работы: 4 часа.

В разделе «Методика выполнения» приведены только необходимые действия по выполнению лабораторной работы. Подробно описываются только новые приемы работы в ADS. Предполагается, что студент выполнил предыдущие лабораторные работы и освоил базовый предложенный маршрут.

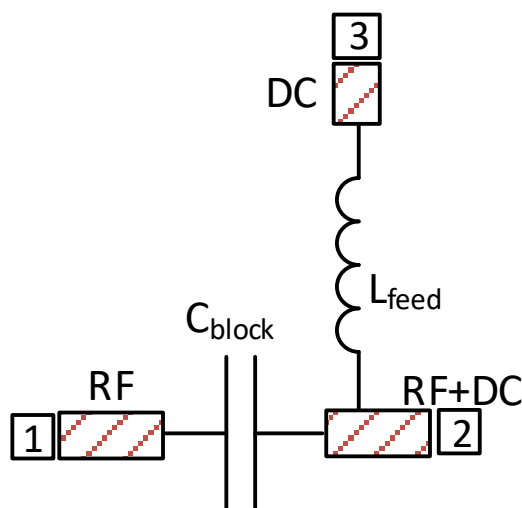
| | |
|---|--|
| Lab1 | показывает места, которые подробно описаны в первой лабораторной работе |
|  | показывает приемы, значительно упрощающие или ускоряющие использование ADS |
|  | показывает места, за которыми надо особенно следить и где легко совершить ошибку |

Теоретические сведения

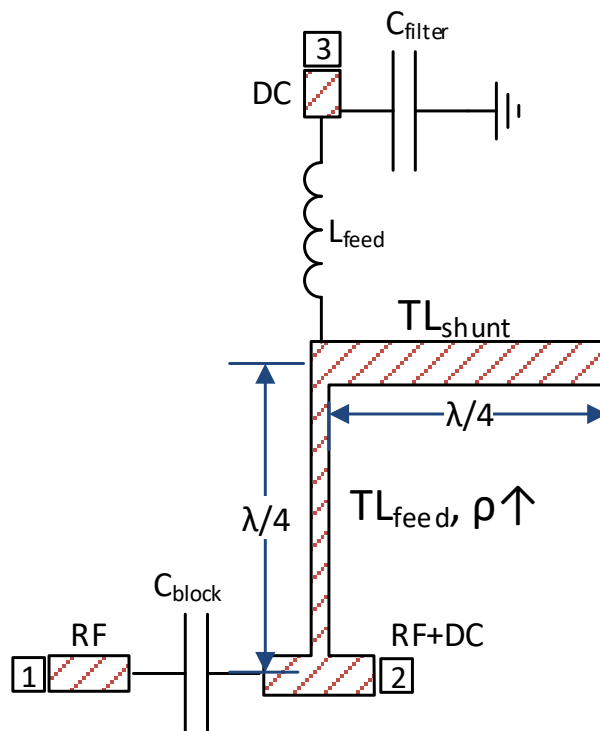
Задачей цепи питания является задача сложить ВЧ-сигнал (со входа 1) и постоянный ток (со входа 3) на выход 2, который подключается к потребителю. При этом должны соблюдаться следующие требования:

- на вход 1 постоянный ток доходить не должен;
- ВЧ-сигнал не должен идти на вход 3;
- проход ВЧ-сигнала со входа 1 на выход 2 должен идти с минимальными искажениями.

На дискретных компонентах такая цепь легко реализуется в виде простой LC-цепочки:



Однако, на уже относительно невысоких частотах индуктивности перестают работать как чистые индуктивности, превращаясь в резонансный контур, поэтому для высоких частот предпочтительнее следующая схема.



Комбинация из двух четвертьволновых шлейфов TLfeed и TLshunt по ВЧ пробрасывает XX к точке их подключения, отвязывая вход 3 от прохода ВЧ-сигнала. Дополнительно волновое сопротивление TLfeed подбирается как можно большим (ширина как можно меньше), чтобы также как меньше влиять на основной проход ВЧ-сигнала.

В такой цепи требования на собственную резонансную частоту индуктивности Lfeed гораздо мягче. Фильтрующий конденсатор Cfilter дополнительно служит для закорачивания ВЧ-сигнала на землю.

Блокировочный конденсатор Cblock подбирается так, чтобы как можно меньше влиять на основной проход ВЧ-сигнала.

Шлейф TLshunt может быть исполнен широкополосным, в виде одиночного сектора или бабочки.

На входе 3 могут дополнительно находиться еще дополнительные LC-или RC-цепочки для улучшения развязки входа 3 по ВЧ.

Цепь подачи питания часто совмещают с согласующей цепью, т.е. импеданс порта 2 совсем не обязательно является стандартным (50 Ом).

Данная цепь может работать как цепь подачи питания (ставится по выходу), так и цепь подачи смещения (ставится по входу) в активное устройство.

Методика выполнения работы

Маршрут работы следующий:

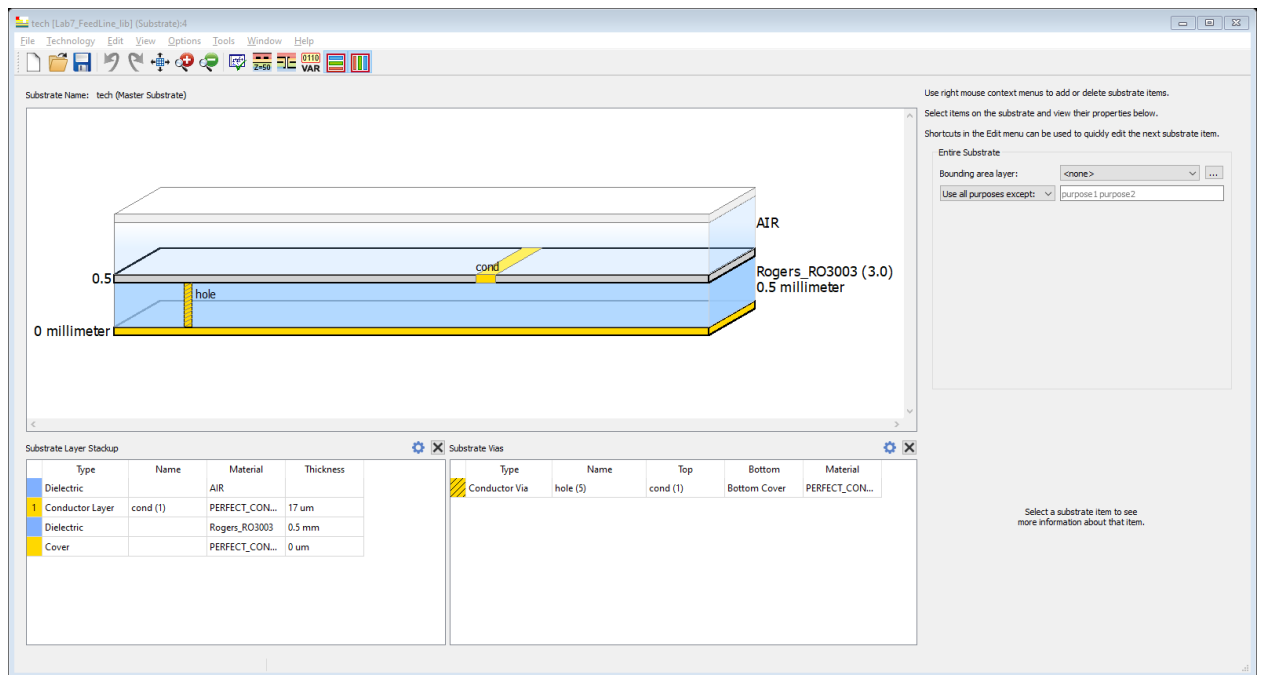
1. Составление модели на идеальных линиях передачи и моделирование в режиме S-параметров и анализ результатов.
2. Преобразование модели на идеальных линиях в базовую схемотехническую модель на заданной ВЧ-подложке с помощью инструмента LineCalc. Моделирование в режиме S-параметров и анализ результатов.
3. Преобразование схемотехнической модели в топологическое представление. Оптимизация геометрии с точки зрения занимаемого места. Моделирование методом uMoM (Microwave Momentun).
4. Добавление дискретных компонентов (блокировочного конденсатора и развязывающей индуктивности) в виде моделей от реальных производителей на схемном уровне.
5. Общая комисиуляция с использованием инструмента emCosim как в режиме S-параметров, так и по постоянному току.

Создание проекта

Lab1

Проект должен быть подготовлен к ЕМ-моделированию, в том числе:

- В качестве библиотеки слоев необходимо дополнительно к библиотеке назначения слоев схемы «ads_schematic_layer» выбрать «ads_standard_layers» (назначение топологических слоев).
- единицы длин проекта – мм, с разрешением 10000 точек/мм
- рекомендовано сразу создать определение подложки tech.subst, в примере RO3003 ($\epsilon_r = 3,0$, $\tan D = 0,0013$), толщиной диэлектрика 0,5мм, толщиной металлизации 17мкм.



Модель на идеальных линиях передачи

Пусть цепь питания строится с учетом прохода ВЧ-сигнала на частоте 4 ГГц.

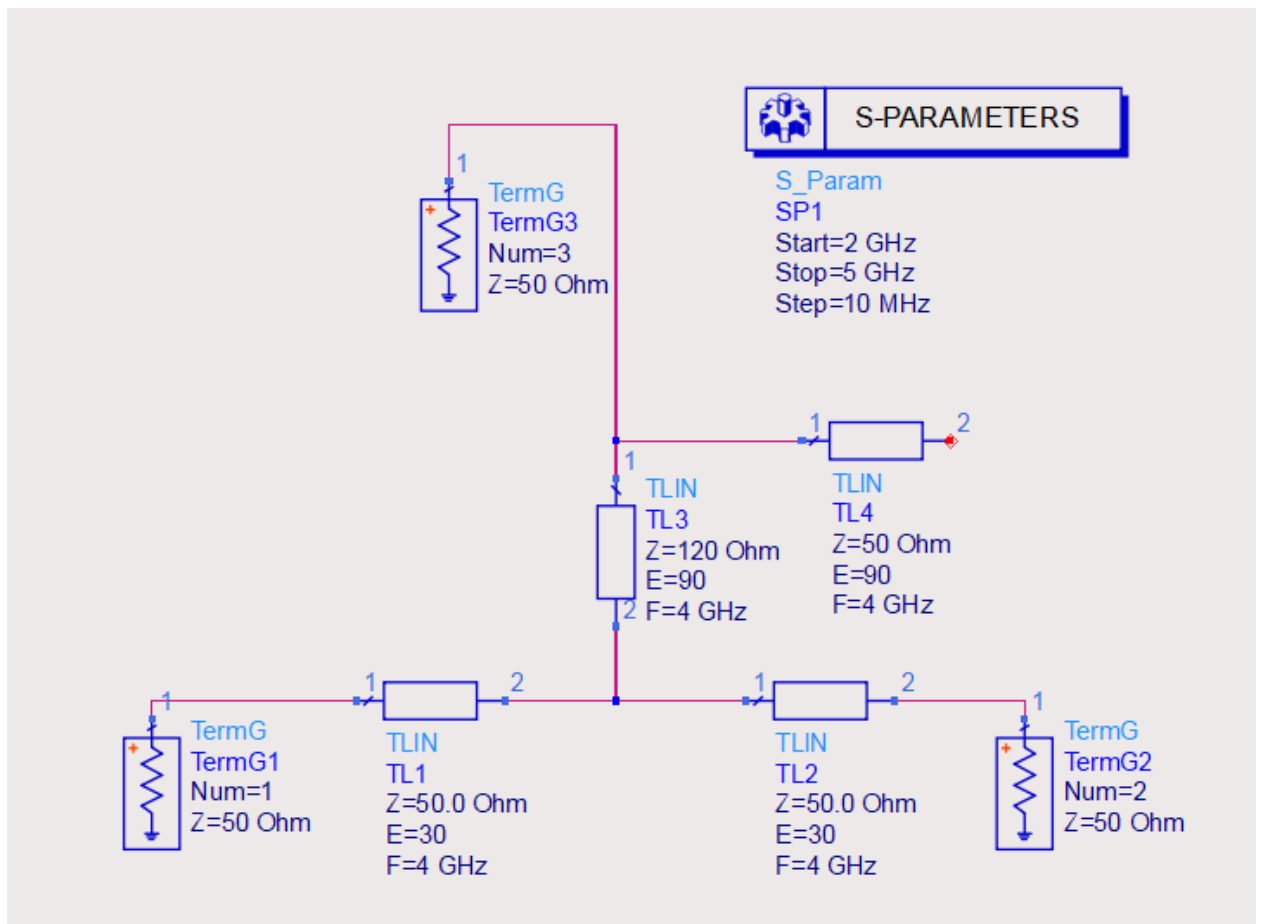
Создаем схему FeedLine_Ideal. Соберем на идеальных линиях передачи



(модель TLIN). Длину участков по основному проходу ВЧ-сигнала установим малой 30° . Шлейфу TL3 установим волновое сопротивление 120 Ом, далее при преобразовании в микрополосковое представление будем исходить из минимальной допустимой ширине по техпроцессу.



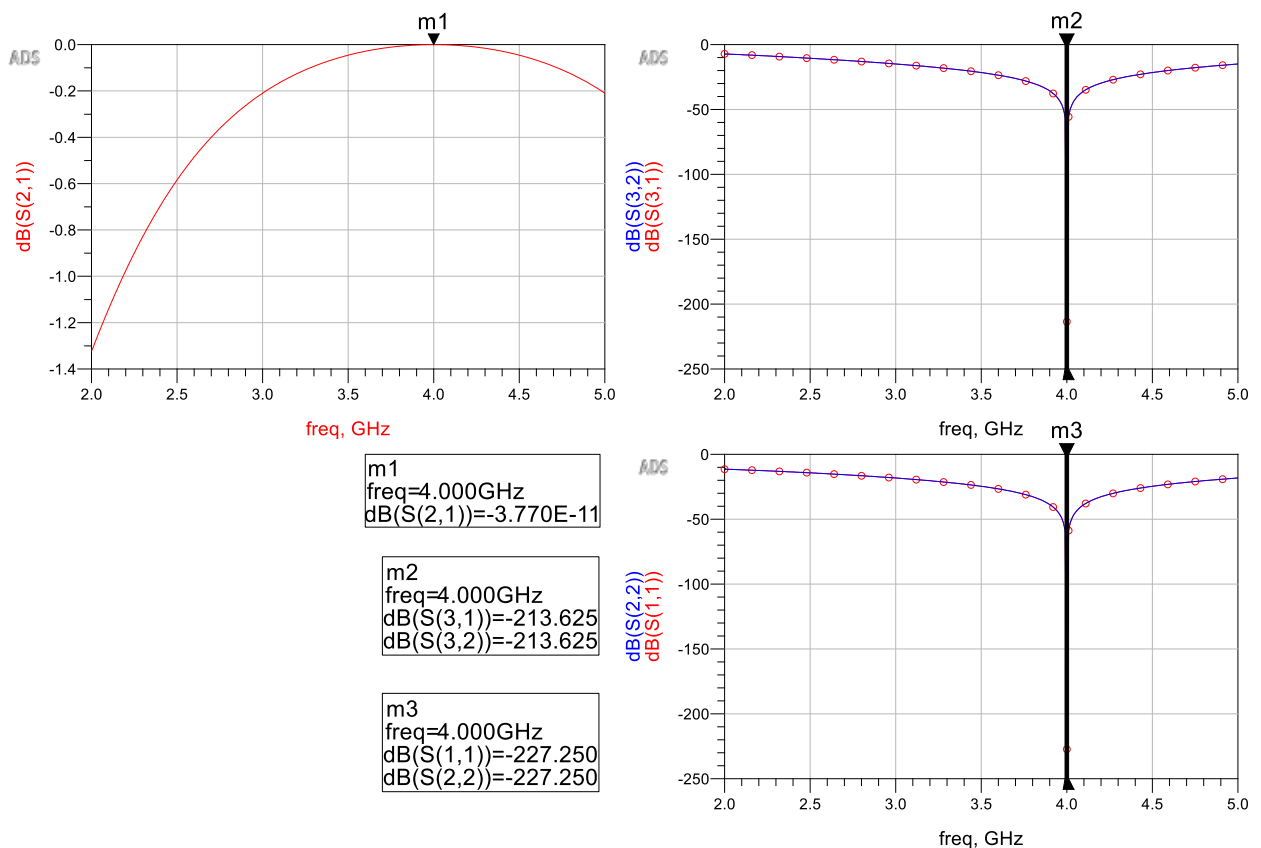
Нужно следить за нумерацией терминаторов Term (свойство Num). Оно определяет порядок обозначений в матрице S-параметров. Эту нумерацию надо будет сохранять одинаковой во всех схемах проекта, чтобы можно было сопоставлять графики.



Запускаем моделирование .

Lab1 Выводим прямоугольный график с амплитудными соотношениями – коэффициенты передачи из порта 2 в 1 ($\text{dB}(S_{21})$) и развязку между 2-3 и 1-3 ($\text{dB}(S_{31})$ и $\text{dB}(S_{32})$), а также добавим коэффициенты отражения от портов 1 и 2 ($\text{dB}(S_{11})$ и $\text{dB}(S_{22})$ соответственно).

Т.к. схема симметрична, то $\text{dB}(S_{31})$ и $\text{dB}(S_{32})$ полностью совпадают. Отметим одну из кривых символами. Аналогично $\text{dB}(S_{11})$ и $\text{dB}(S_{22})$.




По результатам видно:

- на центральной частоте основной проход ВЧ практически не имеет потерь: $\text{dB}(S_{21}) \rightarrow 0$ дБ;
- проход ВЧ-сигнала идеально согласован: $\text{dB}(S_{11})$ и $\text{dB}(S_{22}) \rightarrow -\infty$;
- развязка порта питания огромная: $\text{dB}(S_{31})$ и $\text{dB}(S_{32}) \rightarrow -\infty$.

Модель на схемном уровне в микрополосковом исполнении

Преобразуем рассчитанную ранее схему цепь из идеальных линий передачи в микрополосковое представление на схемном уровне, пока без дискретных компонентов.

Создаем новую схему FeedLine_MLIN.

Lab1 С помощью инструмента LineCalc  рассчитаем геометрические размеры некоторых линий.

Напомним параметры подложки – RO3003 ($\epsilon_r = 3,0$, $\tan D = 0,0013$), толщиной диэлектрика 0,5мм, толщиной металлизации 17мкм.

Расчет ведем для частоты 4 ГГц.

Все изменяемые параметры вынесем в переменные.

Микрополосковая линия на 50 Ом и электрической длиной 90° имеет ширину $W_{50} = 1,2$ мм и длину $L_{90} = 12,1$ мм.

Пусть мы решили работать по техпроцессу с минимальной шириной линий 0,2 мм. Эта ширина соответствует волновому сопротивлению 117 Ом.

Размеры секторального шлейфа будем устанавливать пока приблизительно, за исключением установки радиуса равным L_{90} .

Соединение секторального шлейфа с проходящей линией надо делать через тройник MTEE.



Проход ВЧ-сигнала имеет ширину W_{50} .

Выход на порт 3 – установим меньшим $W_3 = 0,7$ мм, что близко к ширине чип-индуктивности типоразмера 0603.

Длины участков со стороны портов 1, 2 и 3 установим короткими - 1,5..2,5 ширин соответствующих линий ($Lin1$, $Lin2$ и $Lin3$ соответственно).

Вся модель строится на микрополосковых линиях MLIN, тройниках MTEE_ADS и секторальным шлейфом MRSTUB.



При расположении микрополосковых компонентов в схеме их можно только вращать (Rotate , Ctrl+R). Зеркалить (Mirror About X, Mirror About Y, Shift+X или + Y ) такие компоненты нельзя. Зеркалится только обозначение в схеме, при последующем переносе в топологию это приводит к некорректному построению.

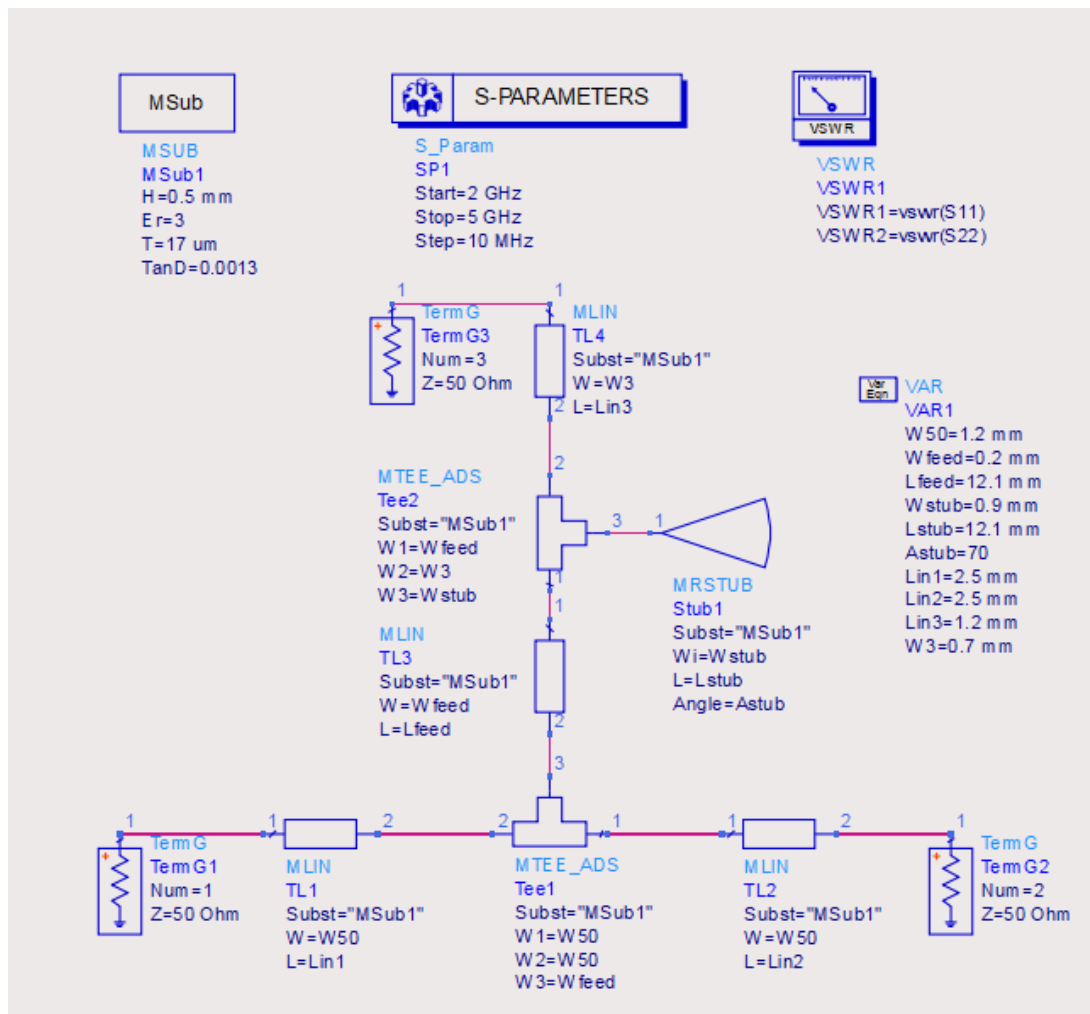


При расположении компонентов можно перемещать привязанную текстовую информацию по ПКМ – Move Component Text (F5), так, чтобы получать чистую и читаемую схему.

Дополнительно добавим расчет КСВН для ВЧ-портов 1 и 2.



В качестве широкополосного шлейфа не обязательно брать секториальный шлейф. Можно воспользоваться шлейфом типа «бабочка». Шлейф типа «бабочка» смотрит в обе стороны от линии и как правило занимает чуть меньше площади, чем аналогичный секториальный шлейф. Но не всегда возможно направить шлейф в обе стороны от линии и тогда удобнее пользоваться секториальным шлейфом.

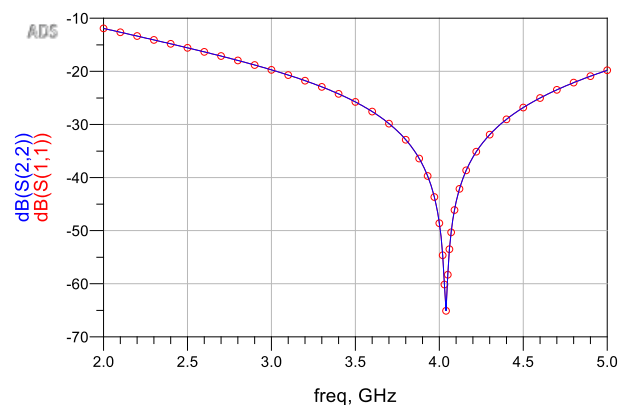
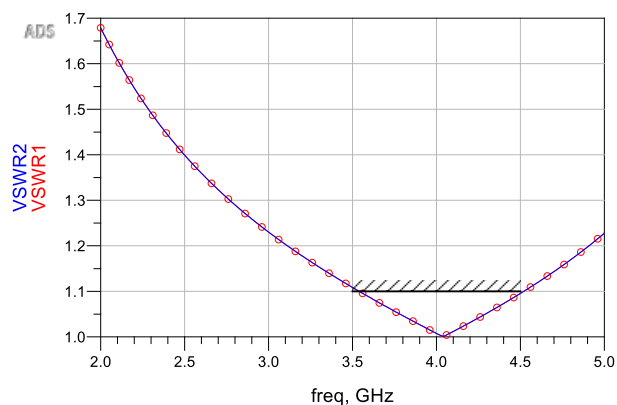
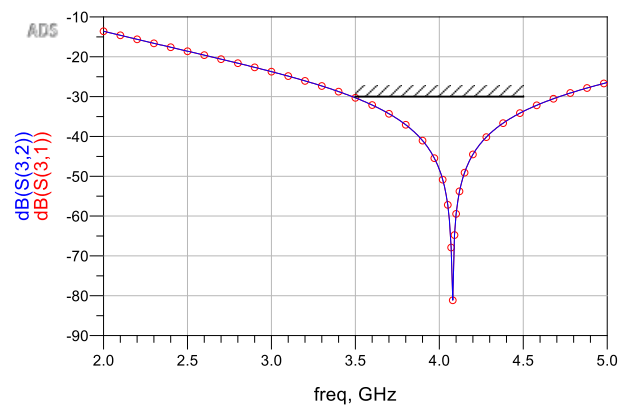
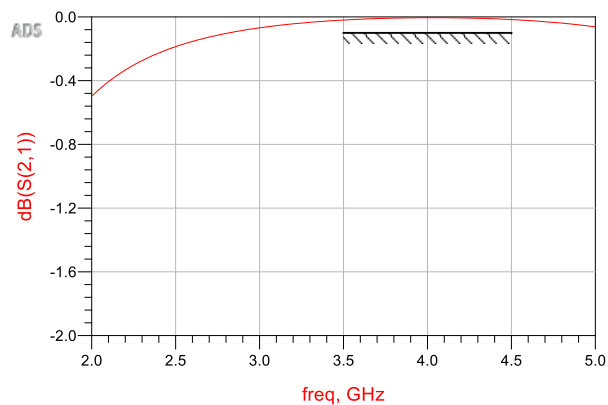
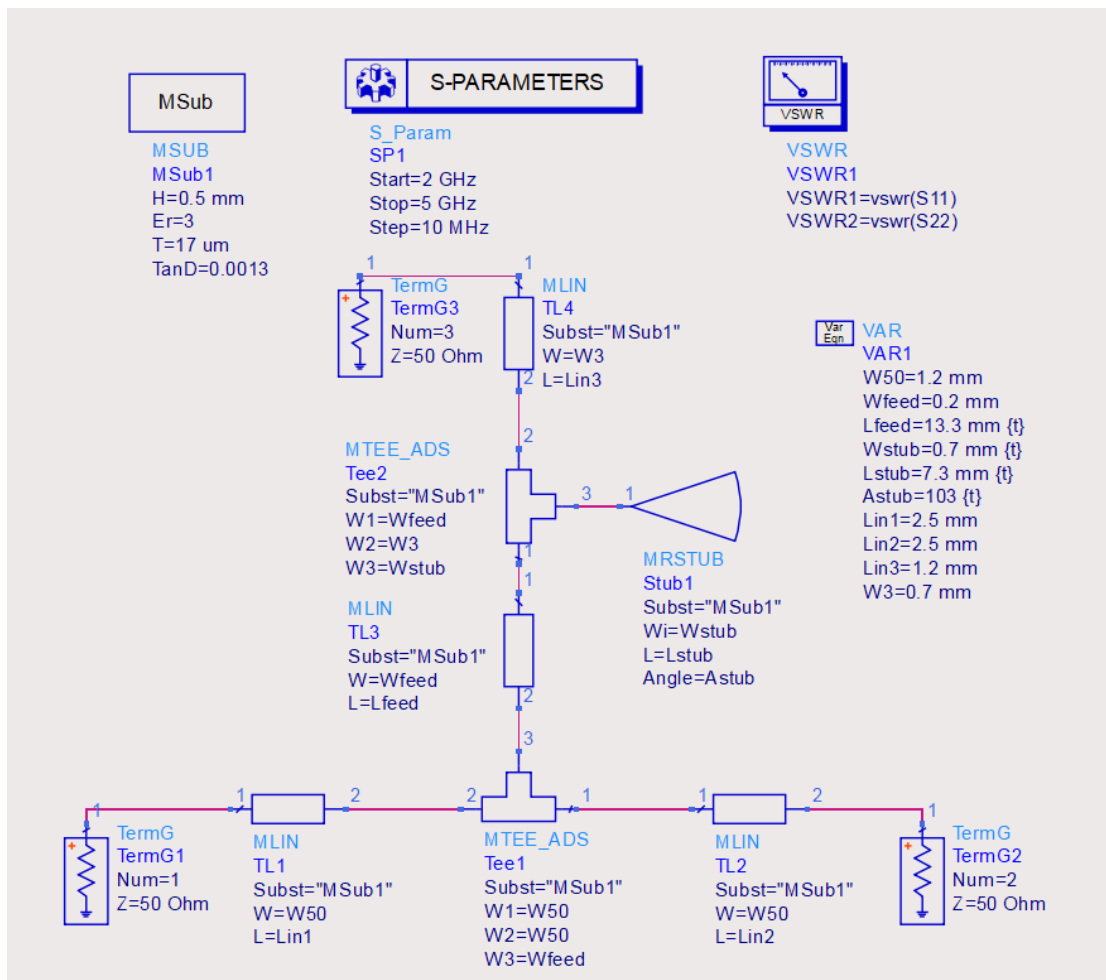


Запускаем моделирование. В области графиков контролируем коэффициенты передачи из порта 2 в 1 ($\text{dB}(S_{21})$) и развязку между 2-3 и 1-3 ($\text{dB}(S_{31})$ и $\text{dB}(S_{32})$). Также надо смотреть на коэффициенты отражения от портов 1 и 2 ($\text{dB}(S_{11})$ и $\text{dB}(S_{22})$ соответственно) и соответствующие им КСВН.

Зафиксируем рабочую полосу в диапазоне 3,5..4,5 ГГц. Выберем следующие пределы результатов:

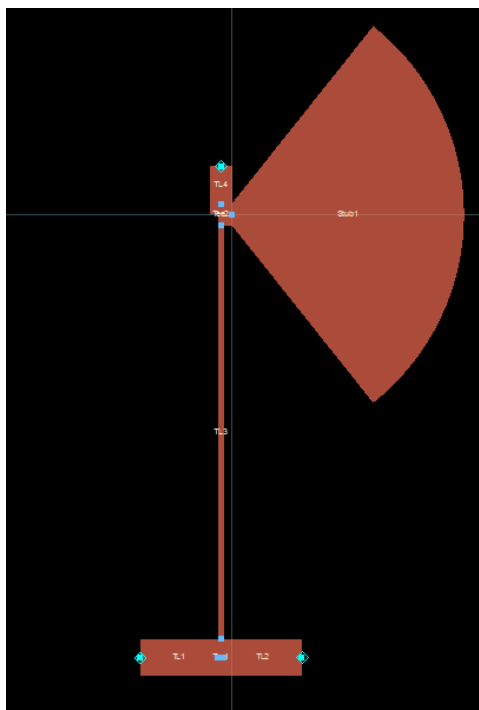
- по коэффициенту передачи $\text{dB}(S_{21})$ установим предел $> -0,1$ дБ;
- по развязкам $\text{dB}(S_{31})$ и $\text{dB}(S_{32})$ предел < -30 дБ;
- по КСВН1 и КСВН2 предел $< 1,1$.

Видно, что цепь не настроена. С помощью инструмента Tune или Optimization настроим цепь. Работать будем со всеми параметрами секторального шлейфа (W_{stub} , A_{stub} и L_{stub}) и длиной тонкого шлейфа L_{feed} .



Цепь настроена.

Сгенерируем для полученной схемы топологическое представление (Layout – Generate/Update Layout), чтобы оценить вид полученной цепи питания.

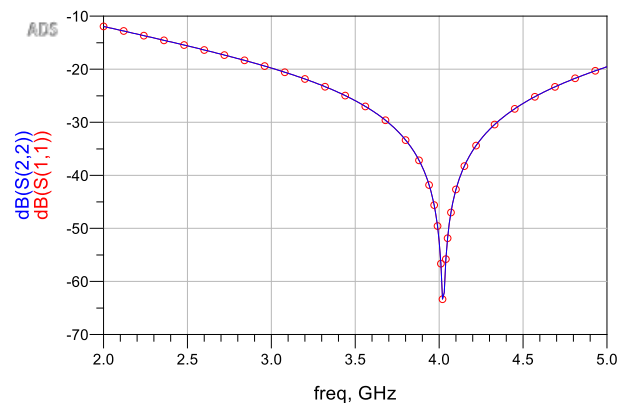
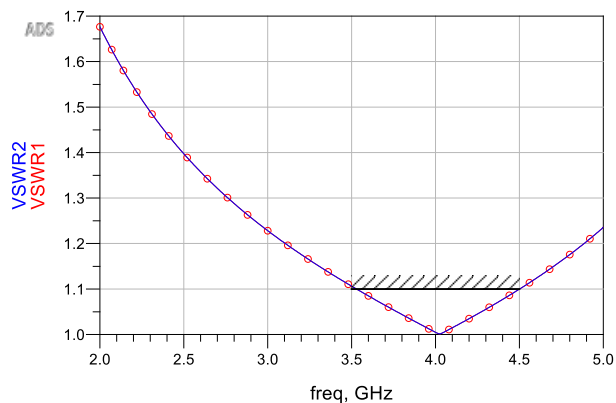
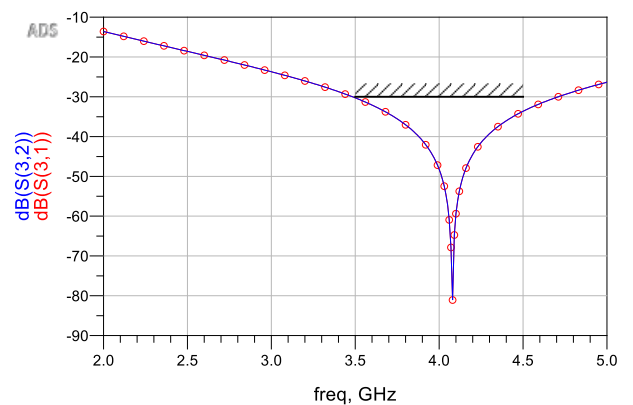
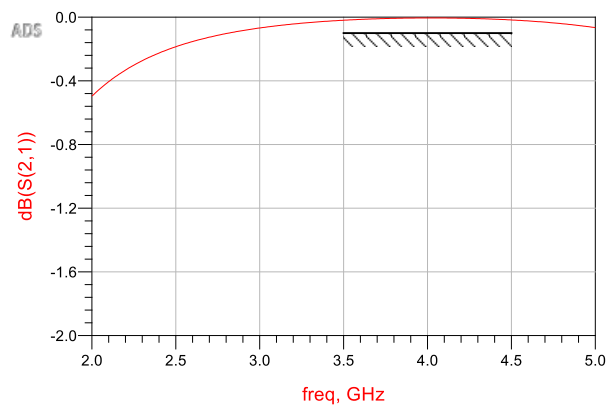
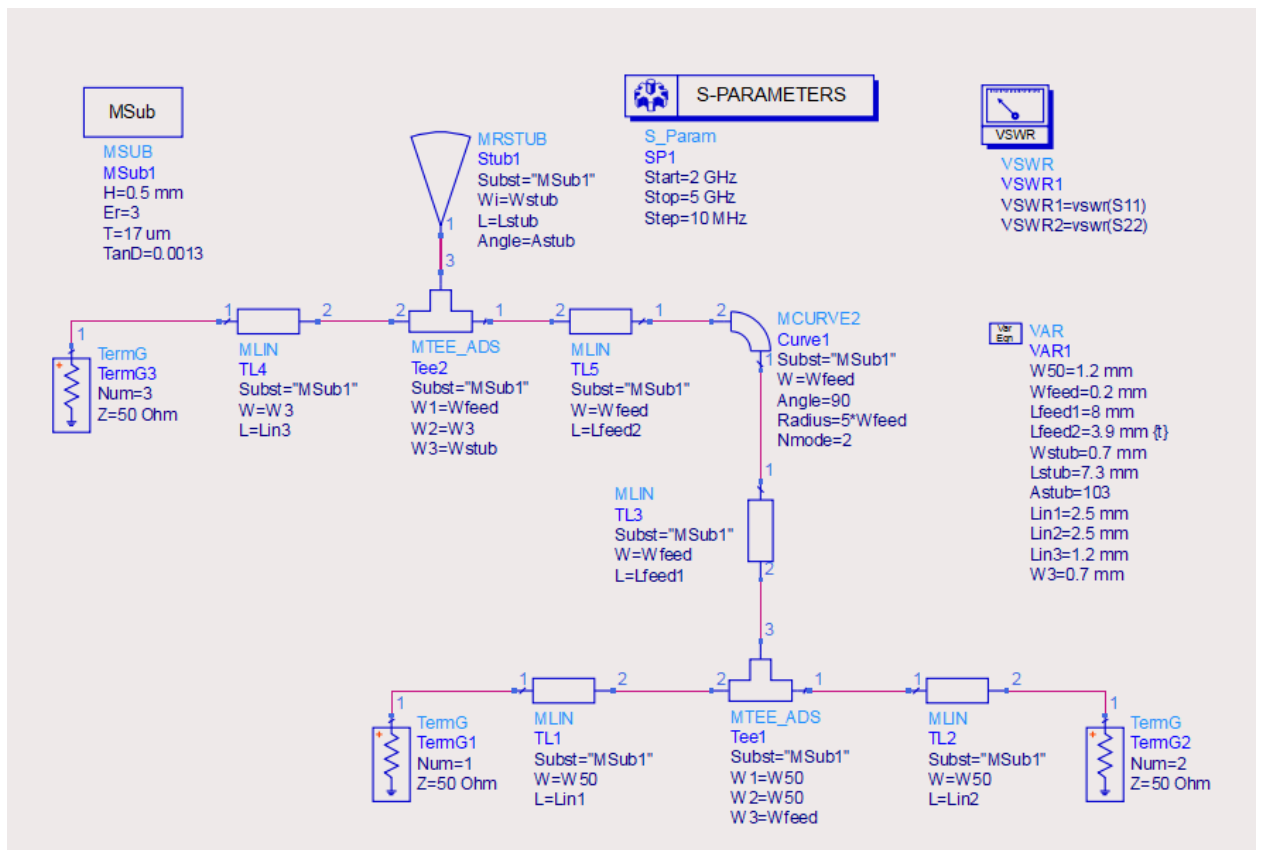


Она получилась не очень компактной. Соптимизируем ее компоновку.

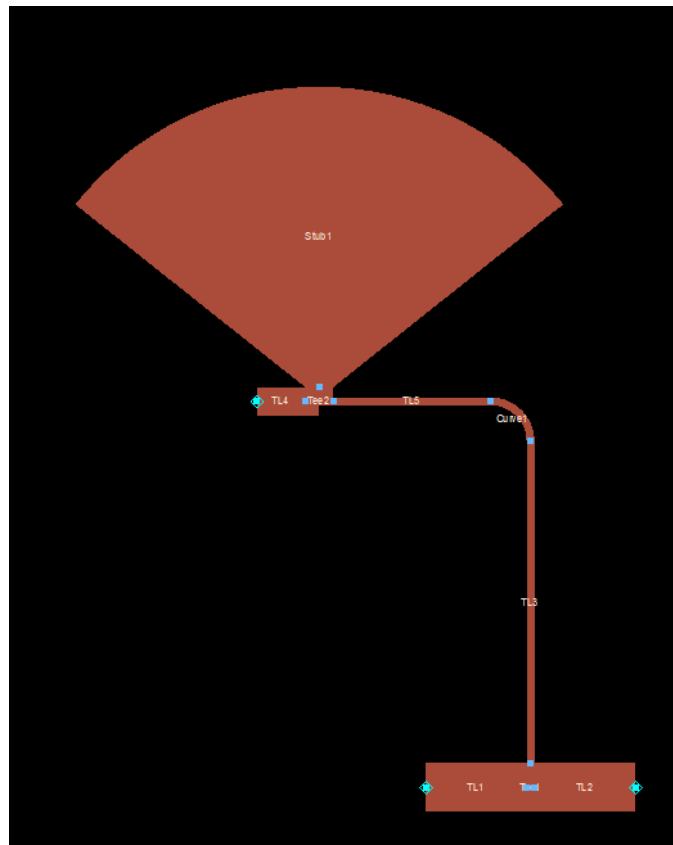
Пусть порт 2 смотрит на потребителя. Как один из вариантов уплотнения компоновки можно шлейф TLfeed где-то на трети высоты загнуть влево так, чтобы секторальный шлейф смотрел вверх.

Длина вертикального шлейфа $L_{feed} = 13,3$ мм. Разобьем его на две переменные L_{feed1} и L_{feed2} , а также учтем поворот. Поворот сделаем с помощью блока MCURVE2. Также, радиус поворота не должен быть менее 3 ширин соответствующей линии.

После построения модели при необходимости подстроим длину L_{feed2} .



Также посмотрим, как выглядит топологическое представление.



Топология выглядит прилично. Можно переходить к ЕМ-анализу топологического представления.

Модель на топологическом уровне

Lab1

Следующий этап – сгенерировать топологию на основе схемного представления. Для параметризации топологии надо будет создать двухуровневую схему, причем во внутреннюю схему должны быть отправлены только полосковые компоненты:

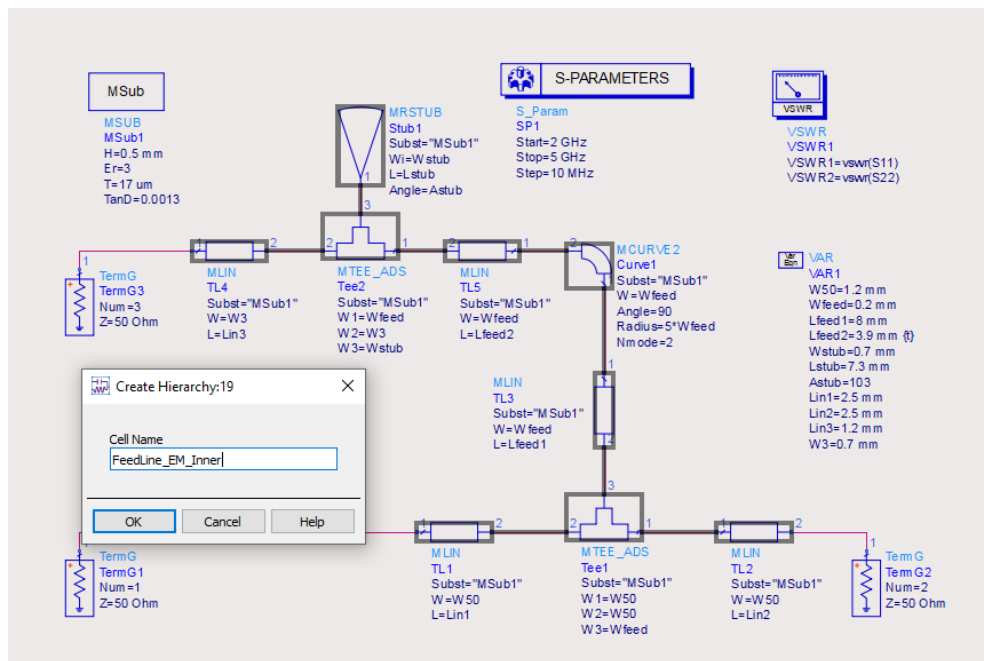
- схема верхнего уровня FeedLine_Top, в которой будет контроллер S-параметров, терминаторы и все измерительные выражения.

- схема нижнего уровня FeedLine_EM_Inner, только с микрополосками (MCURVE2, MLIN, MTEE_ADS и MRSTUB), подключённая наверх через пины.

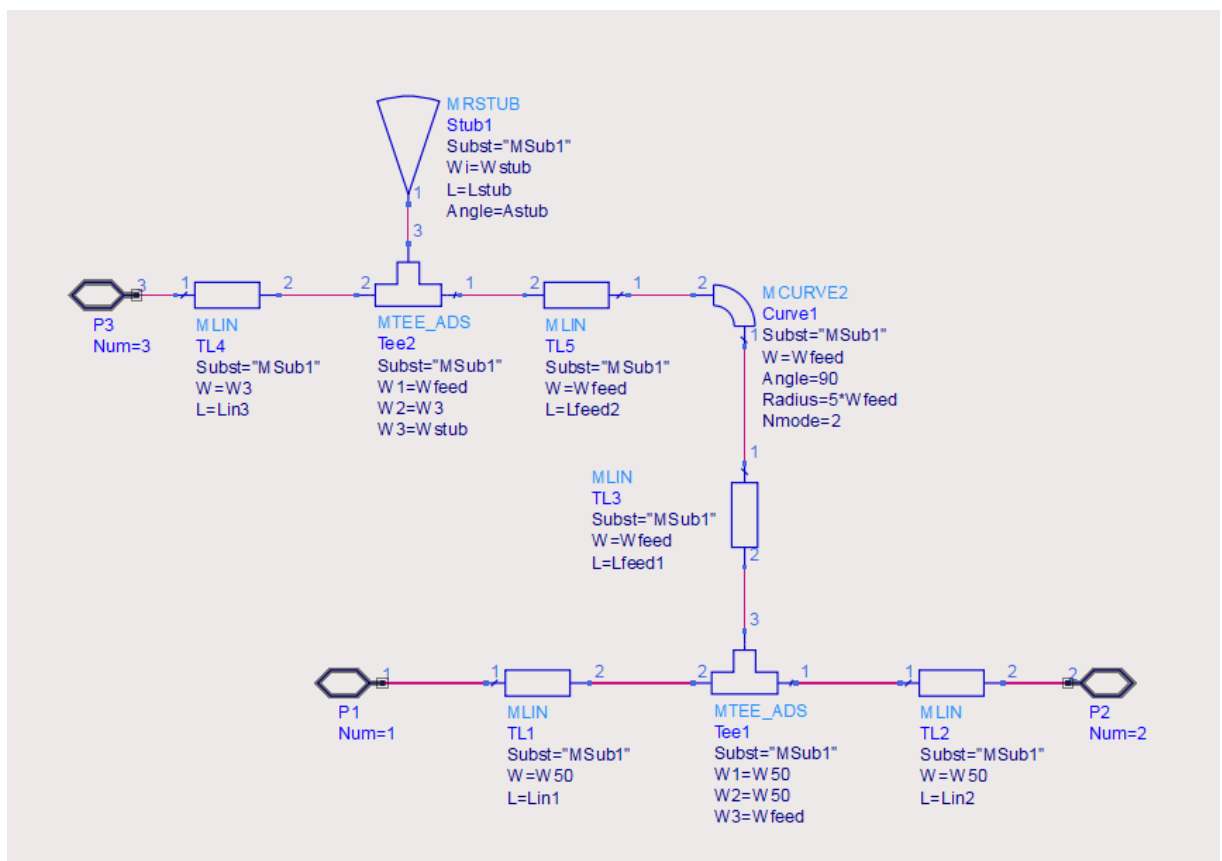
Схему нижнего уровня FeedLine_EM_Inner надо будет сконвертировать в топологию; сделать всю ячейку FeedLine_EM_Inner параметризированной и настроить параметры ЕМ_моделирования (emSetup).

Далее кратко показаны основные картинки до начала моделирования

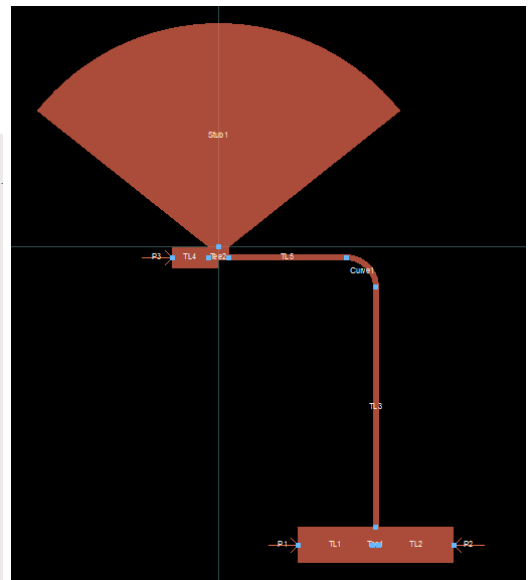
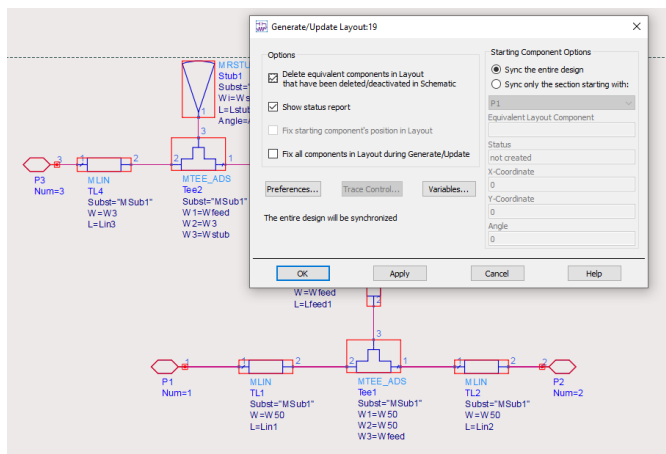
- создание иерархии



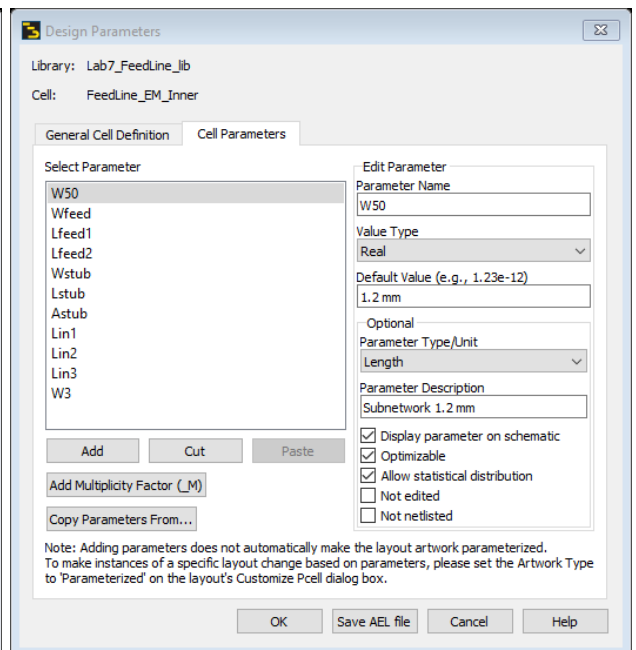
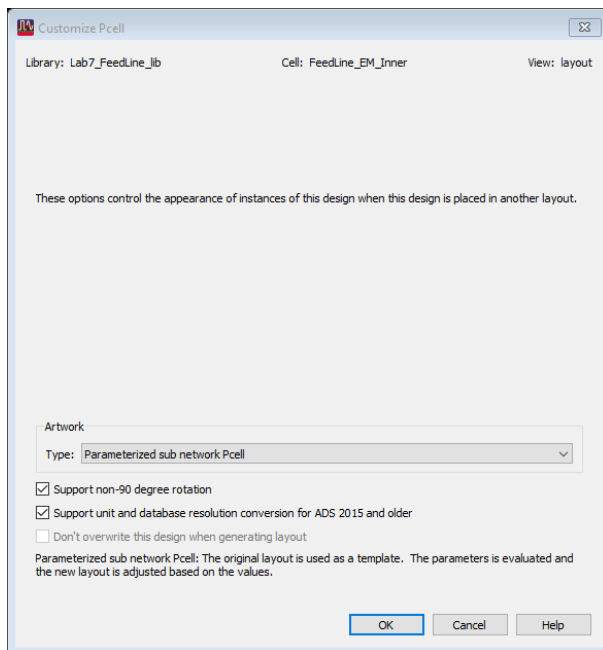
Автоматическое создание иерархий может выставить порядок пинов не в том порядке, как нам удобно. Разместим пины как показано ниже:



- генерация топологии подсхемы FeedLine_EM_Inner



- параметризация ячейки FeedLine_EM_Inner. Длины должны иметь тип Length, размах секторального шлейфа тип угол (Angle).



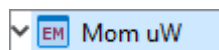
Lab1

Далее надо настроить emSetup



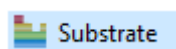
подсхемы

FeedLine_EM_Inner. Задать следующие настройки:



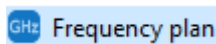
Mom uW

- метод моделирования Momentum Microwave, режим EM Simulation/Model.




Substrate


- убедиться, что привязана правильная подложка





Frequency plan

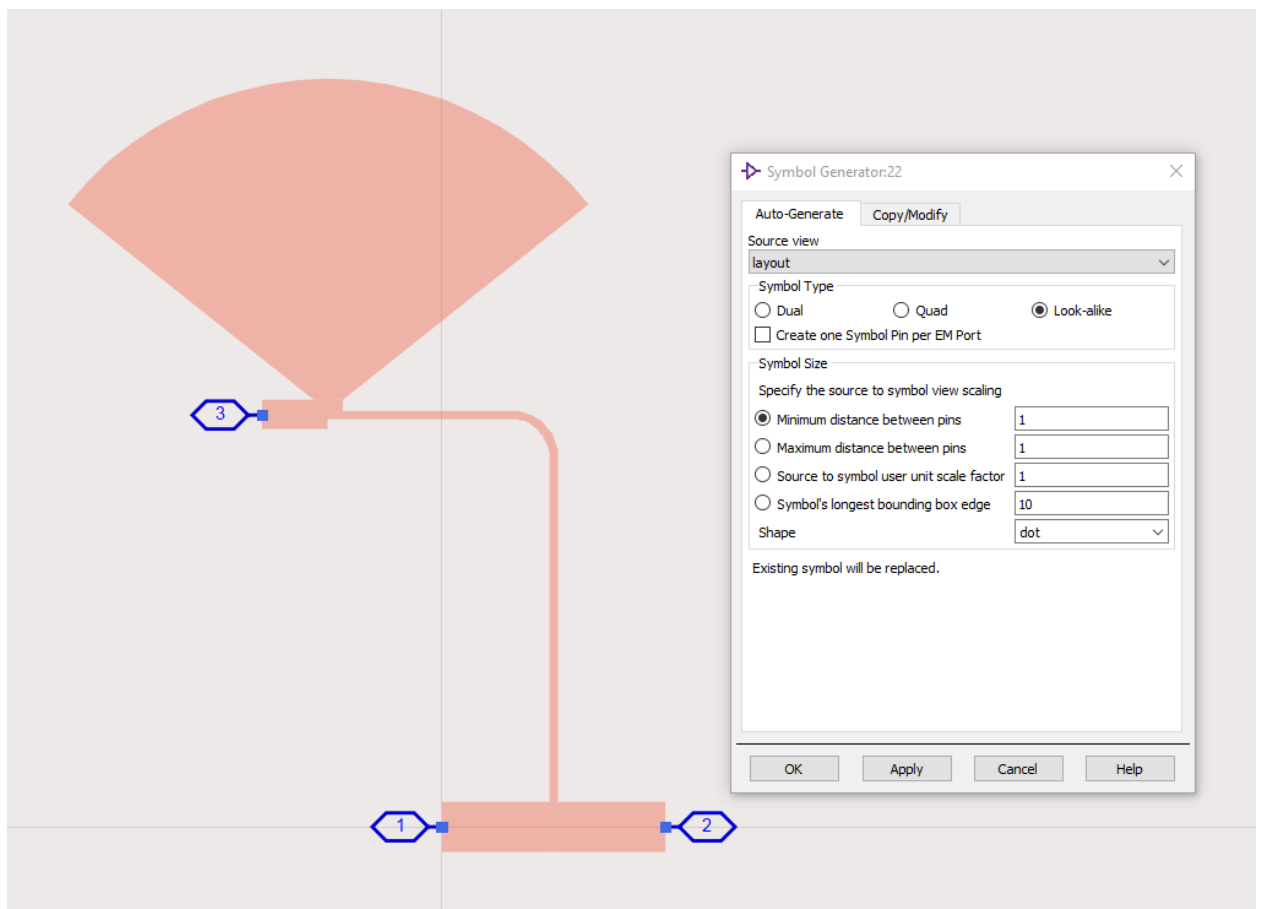
- частотный план адаптивный от 0 до 7 ГГц, плюс точка 4 ГГц

 **Output plan** - отключено автоматическое отображение результатов и отключено сохранение токов для всех расчетных частот.

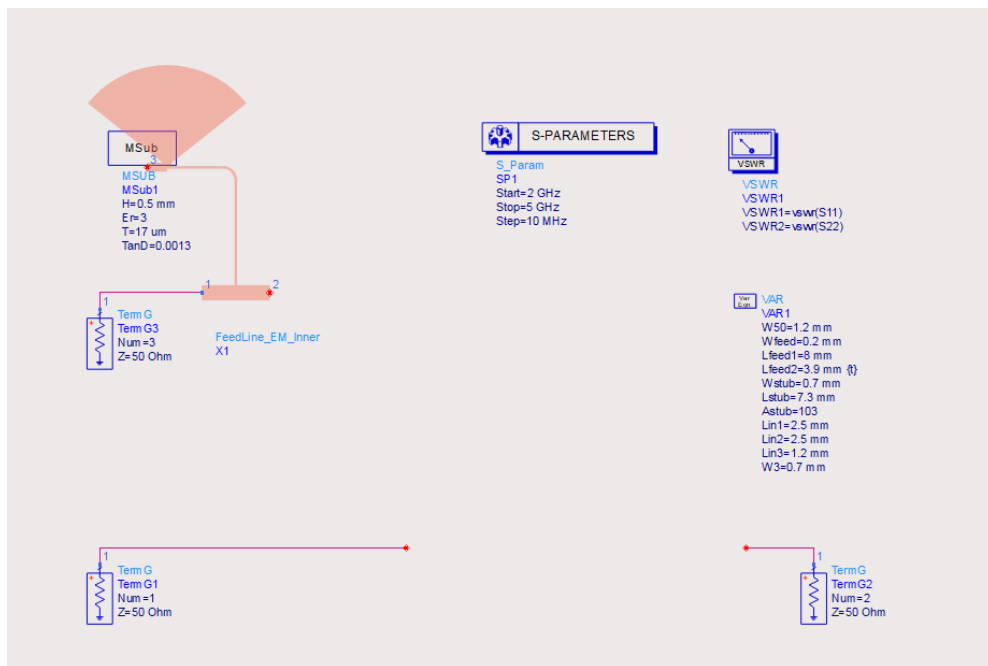
 **Options** - Mesh с точностью 60 ячеек/длина волны (т.к. линия TLFeed тонкая) и включено автоматическое создание краевой сетки

 **Model** - включено создание и сохранение emModel

По команде Tools – Open Symbol Editor  сгенерирован символ, аналогичный топологии.



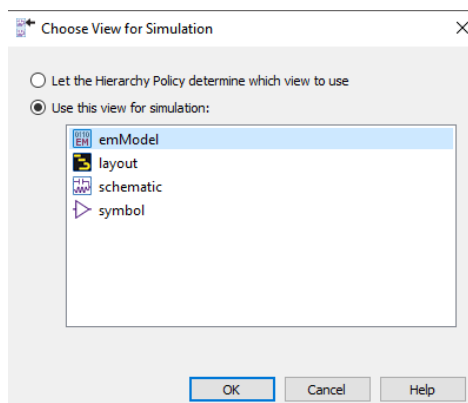
Перейдем в схему верхнего уровня FeedLine_EM_Top.



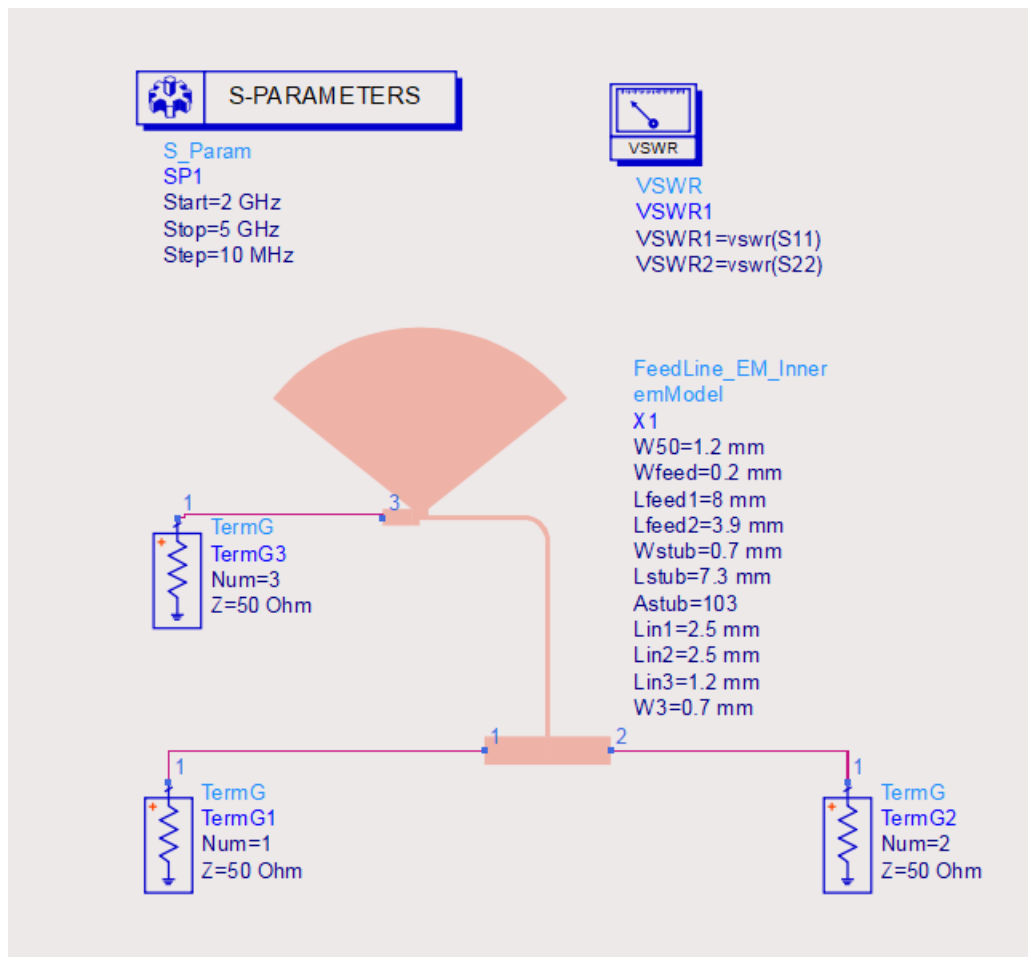
Приведем ее к следующему виду:

Lab1

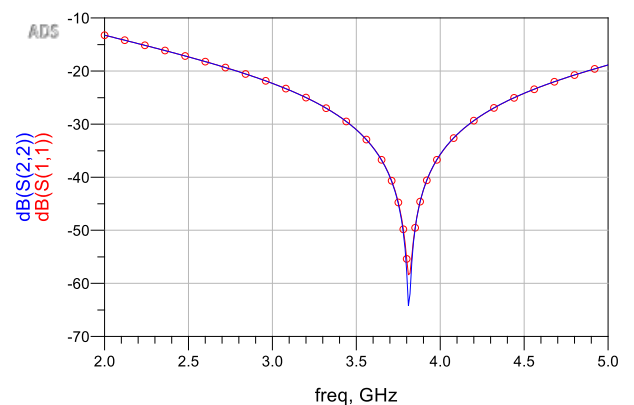
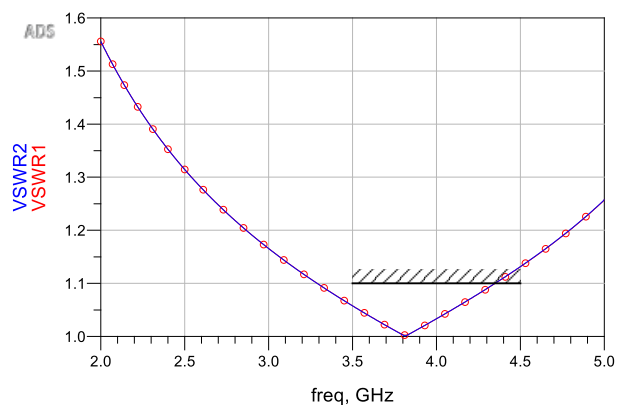
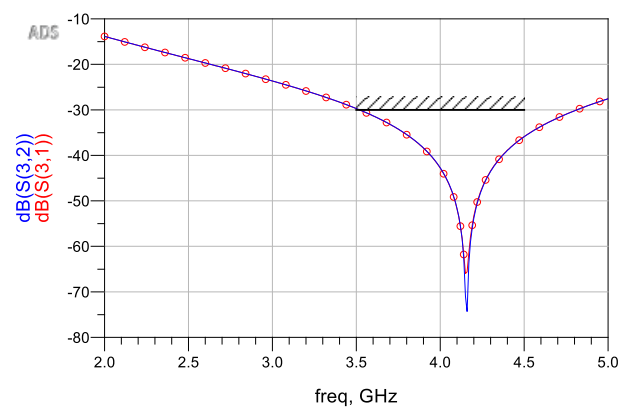
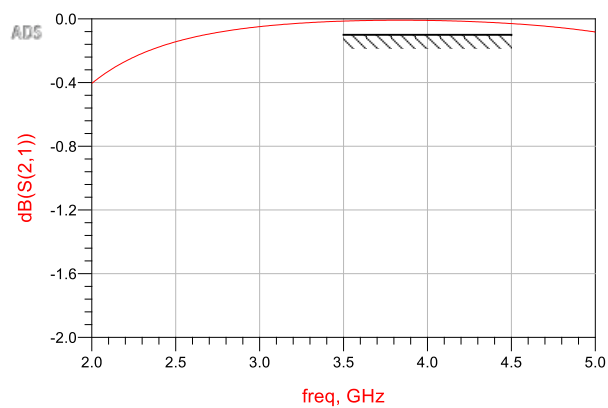
- отключим MSub1, т.к. в ЕМ-анализе подложка берется из файла subst.
- отключим блок переменных VAR, т.к. переменные в топологию передаются через переменные ячейки.
- проконтролируем положение и нумерацию терминаторов, чтобы можно было сравнивать результаты с предыдущими.
- у подсхемы топологии FeedLine_EM_Inner по ПКМ – Component – Choose View for Simulation установим, что результаты надо брать из emModel.



Общий вид схемы FeedLine_EM_Top получится следующий



Запускаем расчет.



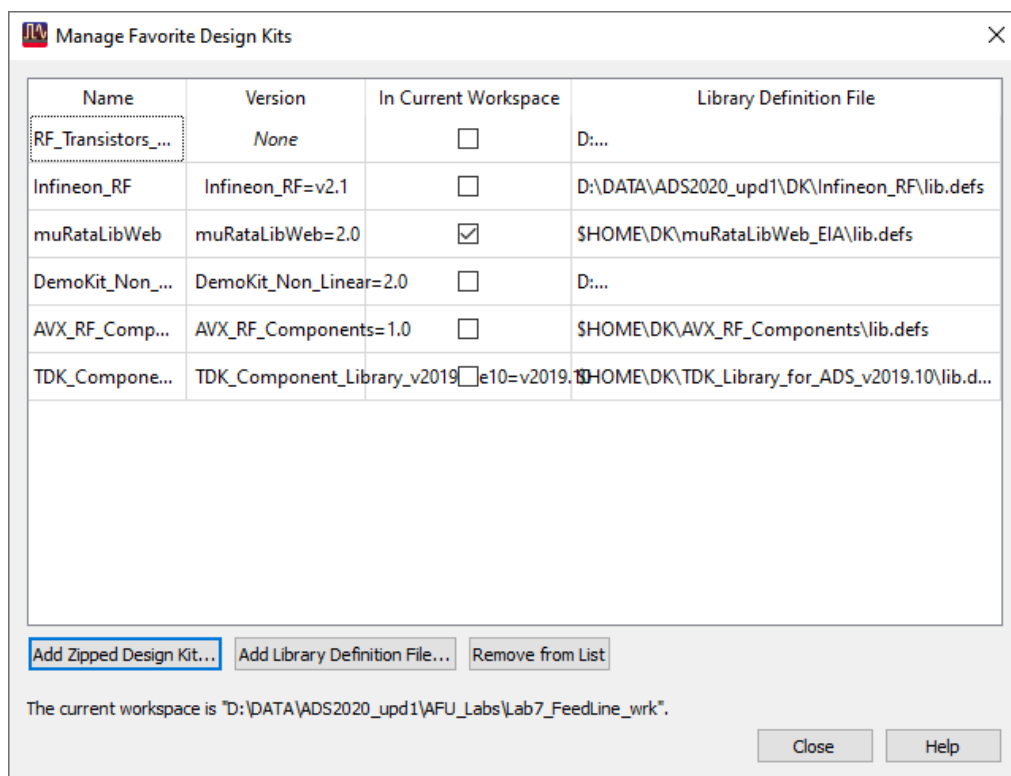
Характеристики имеют вид, близкий к желаемому. Однако видно, что провалы в развязке и в КСВН разъехались в разные стороны.

При необходимости можно попробовать подстроить текущую схему, но в данном случае более продуктивно будет сначала добавить блокировочный и фильтрующий конденсаторы и развязывающую индуктивность.

Добавление дискретных компонентов

В качестве дискретных компонентов воспользуемся библиотекой дискретных компонентов от Murata [6], одного из крупнейших производителей дискретных компонентов. В данной библиотеке присутствует множество компонентов, причем модели компонентов представлены реальные, с учетом корпуса и влияния металлизации падов.

Эту библиотеку надо подключать как DesignKit, из основного окна ADS.



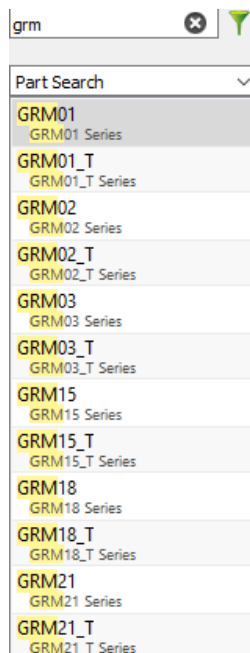
Создадим новую схему FeedLineComp_EM. В нее внесем подсхемой emModel спроектированный ранее участок FeedLine_EM_Inner.

Надо определиться с сериями компонентов.

Конденсаторы до более высоких частот сохраняют свои емкостные свойства, поэтому среди всей линейки конденсаторов от Murata можно как правило обойтись конденсаторами общего назначения, это серия GRM. В случае, если с данными конденсаторами не выйдет, то стоит перейти в серии

High Q (высокой добротности), это серии GJM и GQM. Но при изготовлении устройств они дороже.

Если в поиске компонентов ввести GRM, то будет представлено множество компонентов.



В библиотеке Murata окончание «_T» обозначает, что модель обмеряна как шунтирующая на землю. Отсутствие этого суффикса – модель обмеряна последовательно. Для наших целей моделирования достаточно использовать модели, обмерянные последовательно (без суффикса «_T»).

Цифровой код после «GRM» означает типоразмер. Для основных используемых нами компонентов типоразмеров ёмкостей 0402, 0603 и 0805 нужно брать компоненты GRM15, GRM18 и GRM21 соответственно.

В серии GQM схема обозначений типоразмеров аналогична.

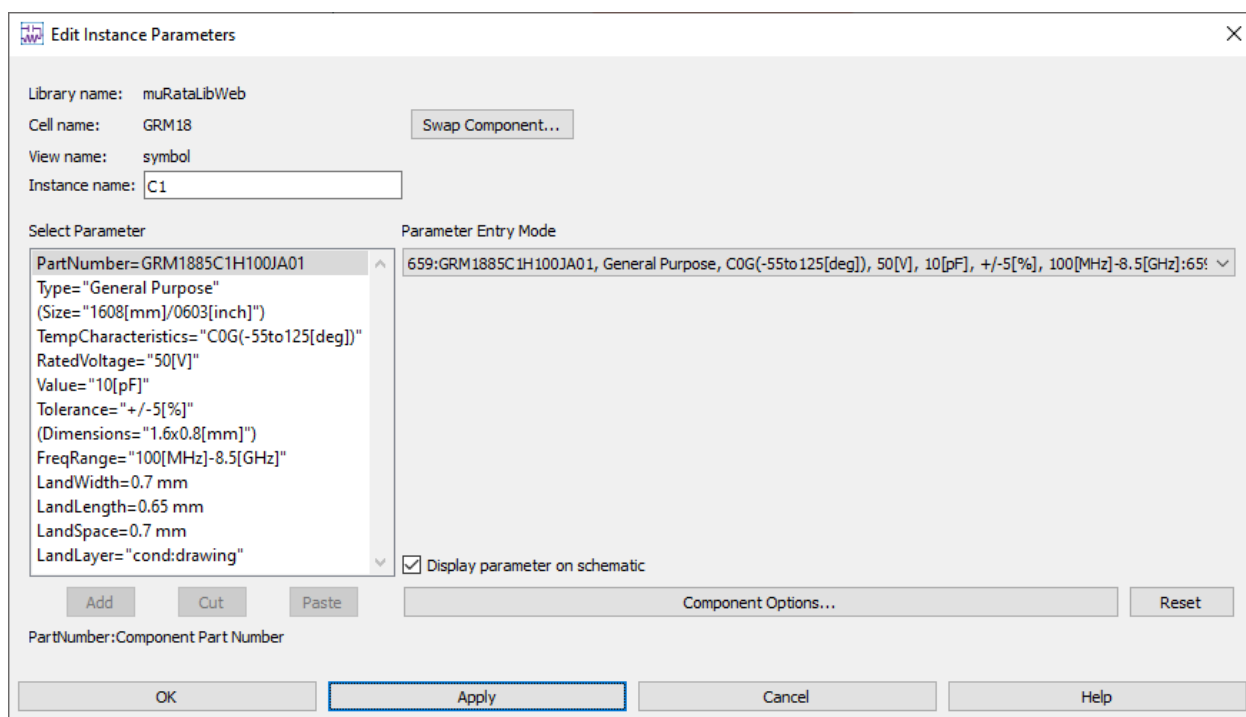
В серии GJM доступны типоразмеры 01005, 0201 и 0402, соответствуют моделям GJM02, GJM03 и GJM15 соответственно.

Ширина 50 Ом равна 1,2 мм. Установим как блокировочный входной конденсатор C1 общего назначения типоразмера 0603 (GRM18), чтобы не было слишком резкого перехода (у 0603 ширина пада 0,7-0,8 мм).

Данная модель содержит в себе все конденсаторы своей серии своего типоразмера. Конкретная модель устанавливается при выборе параметра PartNumber. При этом автоматически заполняются все связанные параметры.

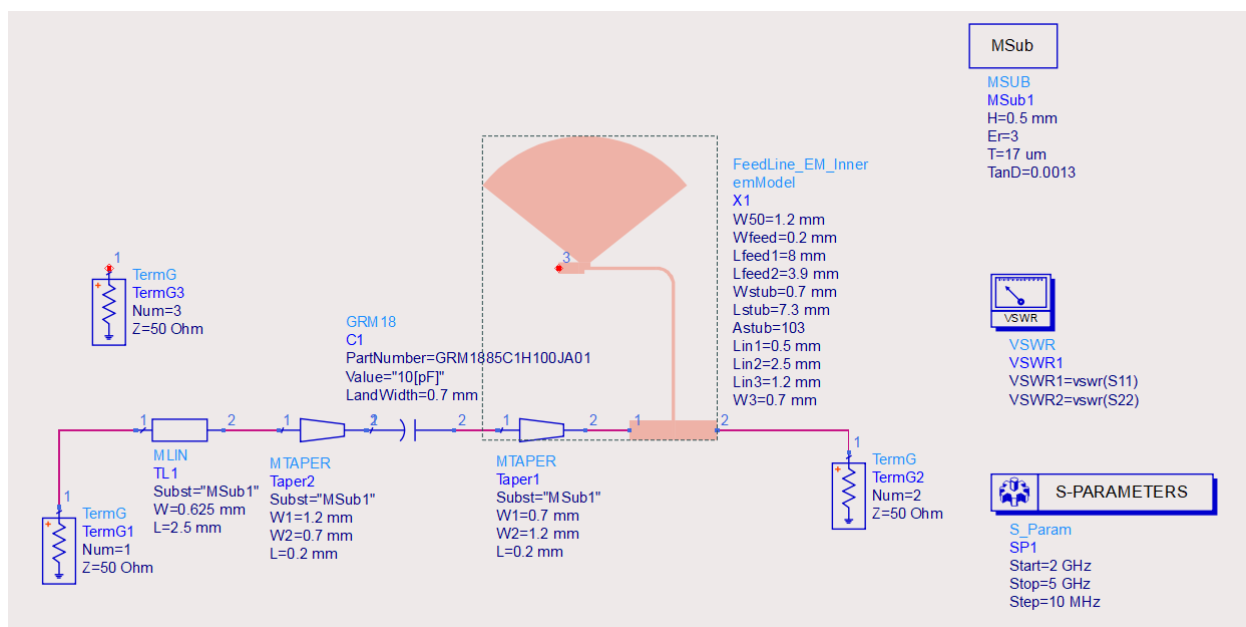
Пока выберем конденсатор емкостью 10 пФ.

Также сразу установим, что пады должны находиться в слое cond (параметр LandLayer).



У данного конденсатора ширина пада 0,7 мм. Добавим плавный переход на эту ширину с 50 Ом с обеих сторон конденсатора.

Также у уже спроектированной emModel сократим длину Lin1 до 0,5 мм.

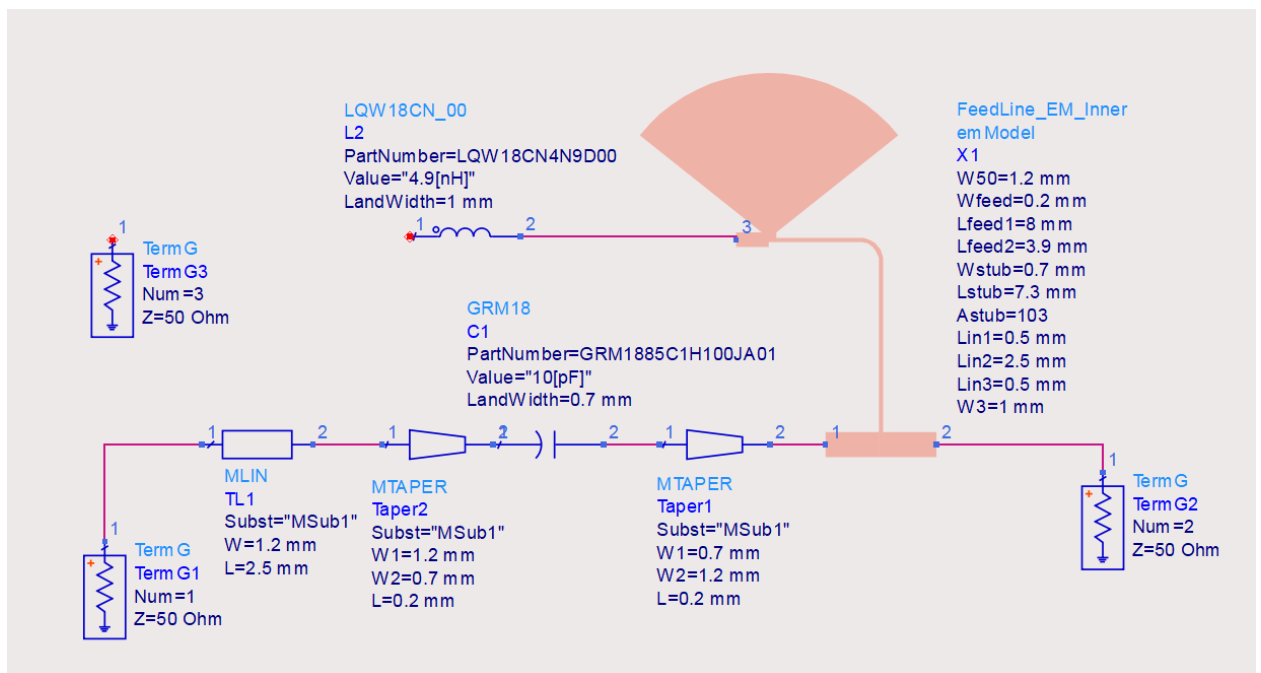


Далее в цепи DC нужно внести развязывающую индуктивность. В библиотеке Murata присутствуют ВЧ-индуктивности типоразмеров 0402, 0603 и 0805 в сериях LQW и LQG.

Здесь явного предпочтения нет, кроме того, серии разбиты на различные модели в зависимости от предельного тока. Отдельно по назначению выделены индуктивности для подачи питания (Choke). Это серии LQW15C, LQW15D, LQW18C и LQW21H.

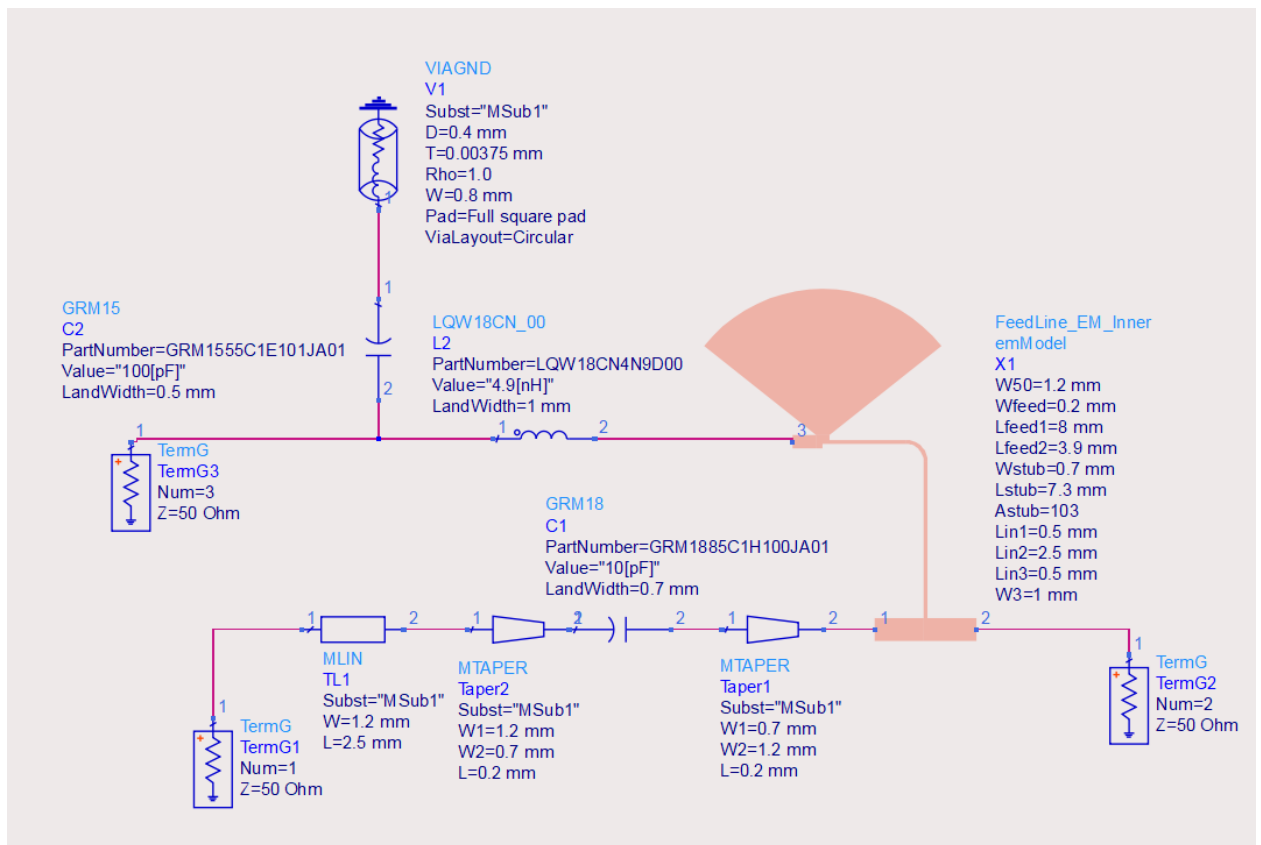
Попробуем индуктивность LQW18CN_00 типоразмера 0603 с большим доступным диапазоном номиналов. Номинал по умолчанию установим 4,9 нГн.

Также подсхеме emModel сократим длину Lin3 до 0,5 мм, а ширину вывода W3 равной ширине пада конденсатора 1 мм.

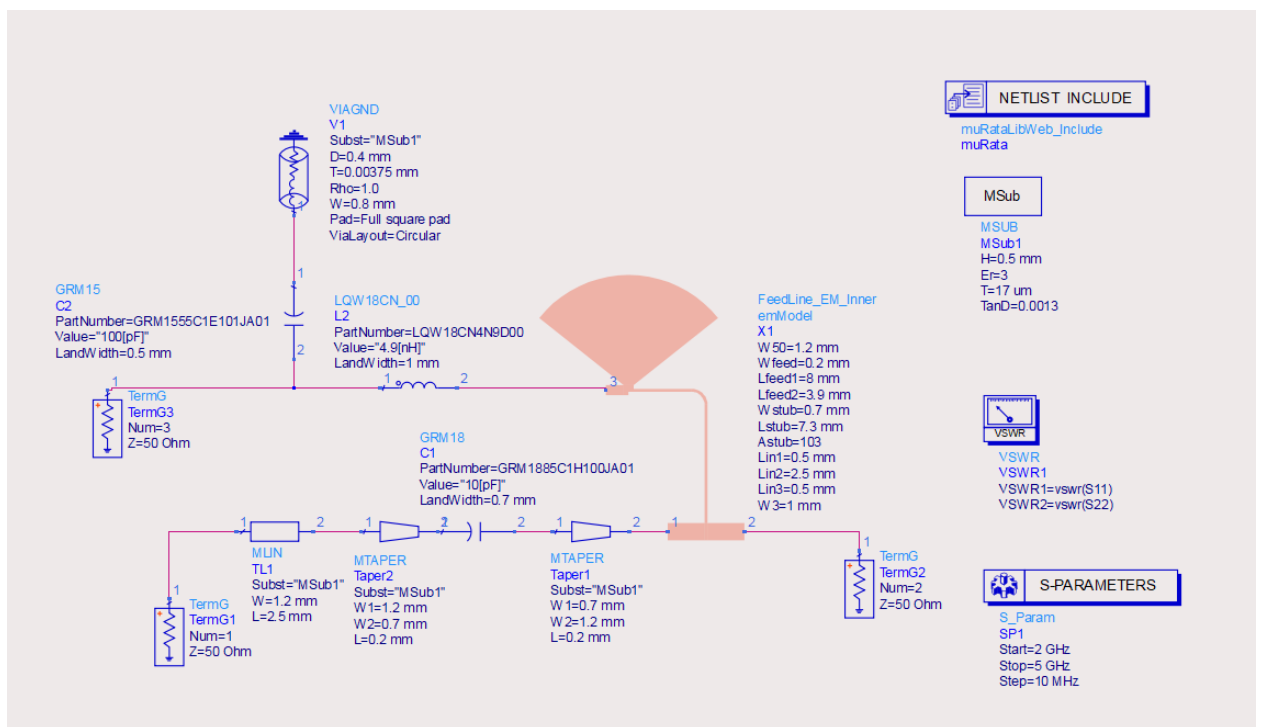


Окончательно нужен фильтрующий конденсатор по питанию со стороны DC. Пусть это будет конденсатор общего назначения типоразмера 0402 номиналом 100 пФ (серия GRM15).

В качестве отверстия будем использовать модель VIAGND отверстие 0,4 мм/ пояска 0,8 мм.



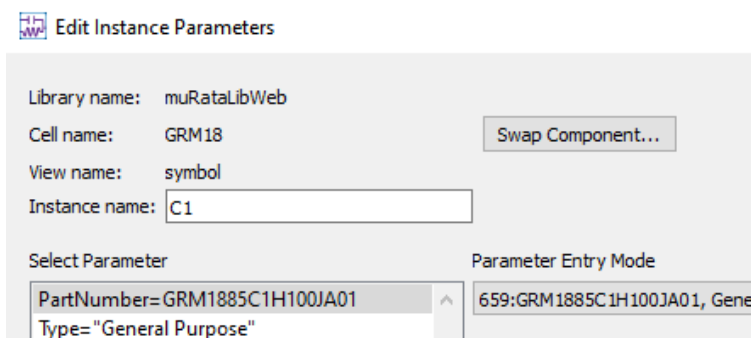
Для того, чтобы компоненты из библиотеки Murata считались, в схеме должен быть блок muRataLibWeb_Include. Общий вид схемы перед моделированием.



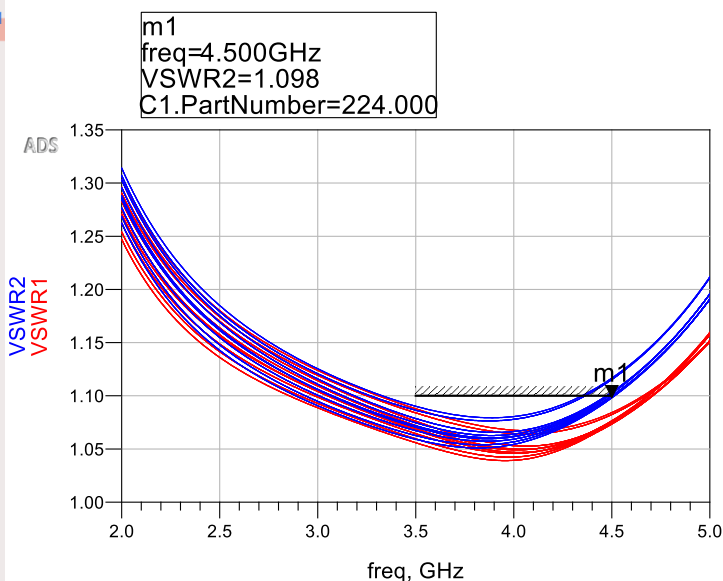
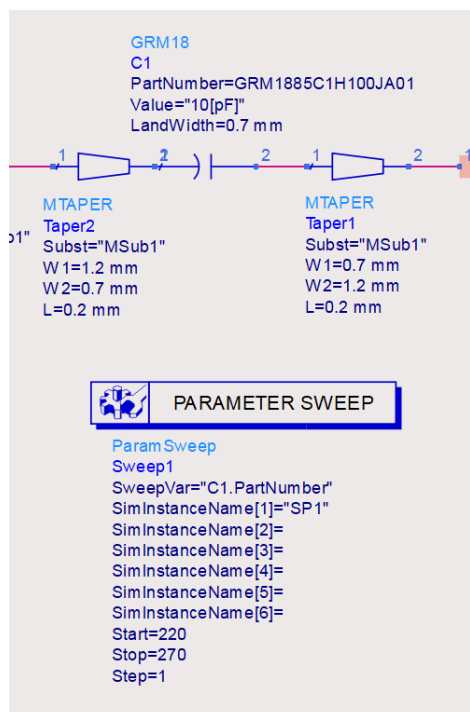
Начнем настраивать. Начнем с подбора номинала блокировочного конденсатора C1. Он в основном влияет на проход ВЧ-сигнала, т.е. на потери в S21 и КСВН 1 и 2.

Конкретная модель в конденсаторе C1 задается через переменную PartNumber. Данная переменная запрещена к тюну. Но ее можно перебирать с помощью свипа или дискретной оптимизацией.

Покажем, как можно перебирать модель свипом. У свойства PartNumber есть представление в виде номера. У выбранного номинала 10 пФ номер PartNumber равен 659.



Создадим свип по этому номеру и за несколько итераций подберем нужный PartNumber.



Подходящий номер оказался 224. Устанавливаем его. Номинал 4,3 пФ.

Edit Instance Parameters

Library name: muRataLibWeb
 Cell name: GRM18 Swap Component...
 View name: symbol
 Instance name: C1

Select Parameter
 PartNumber=GRM1885C2A4R3CA01
 Type="General Purpose"
 (Size="1608[mm]/0603[inch])
 TempCharacteristics="C0G(-55to125[deg])"
 RatedVoltage="100[V]"
 Value="4.3[pF]"
 Tolerance="+/-0.25[pF]"
 (Dimensions="1.6x0.8[mm]")
 FreqRange="100[MHz]-8.5[GHz]"
 LandWidth=0.7 mm
 LandLength=0.65 mm
 LandSpace=0.7 mm
 LandLayer="cond:drawing"

Parameter Entry Mode
 224:GRM1885C2A4R3CA01, General Purpose, C0G(-55to125[deg]), 100[V], 4.3[pF], +/-0.25[pF], 100[MHz]-8.5[GHz]

☒ Display parameter on schematic

Add Cut Paste Component Options... Reset


PartNumber:Component Part Number

OK Apply Cancel Help

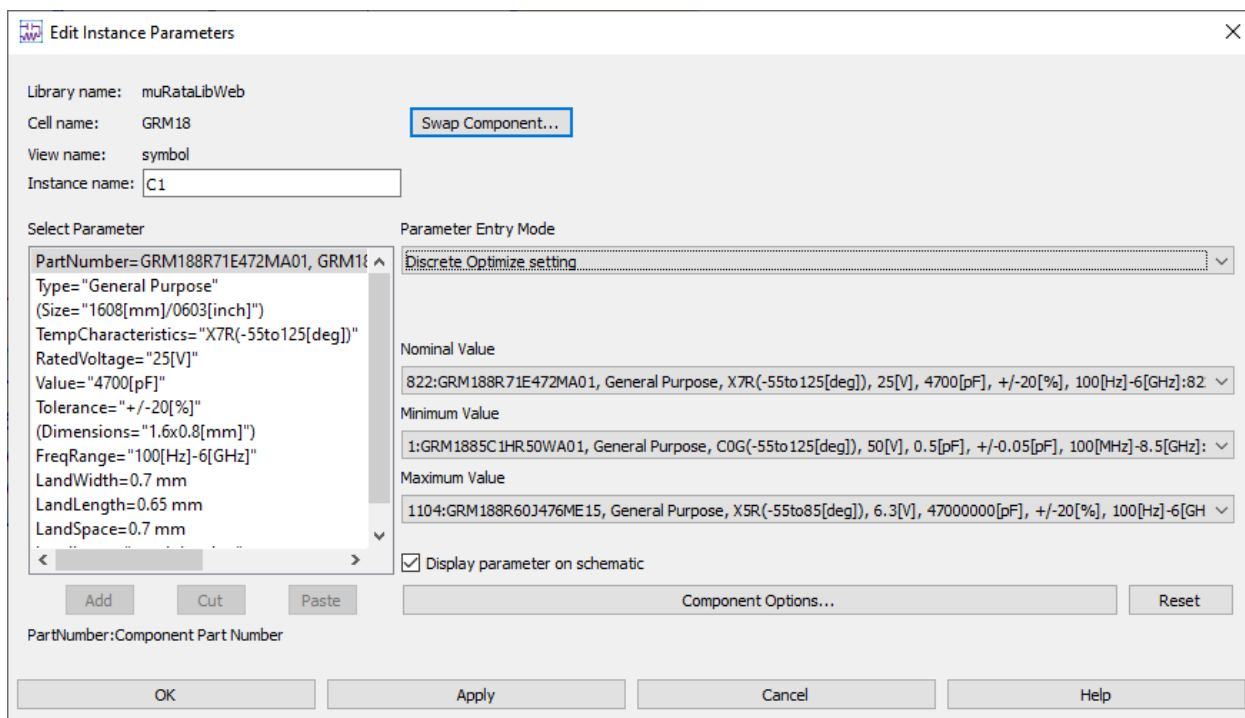
Также есть другой способ, через дискретную оптимизацию.

Для этого, нужно добавить блок Optim, цели Goal и установить PartNumber в режим дискретной оптимизации.

Lab1 Контроллер оптимизации и цели устанавливаются по-обычному.

| | | |
|---|--|--|
| <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 10px;">  OPTIM </div> <p>Optim Optim 1 Optim Type=Discrete DesiredError=0.0 StatusLevel=4 FinalAnalysis="None" NormalizeGoals=yes SetBestValues=yes SaveSols=yes SaveGoals=yes SaveOptimVars=no UpdateDataset=yes SaveNominal=no SaveAllIterations=no UseAllOptVars=yes UseAllGoals=yes SaveCurrentEF=no</p> <p>EnableCockpit=yes SaveAllTrials=no</p> | <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 10px;"> GOAL </div> <p>Goal Optim Goal1 Expr="VSWR1" SimInstanceName="SP1" Weight=1.0 IndepVar[1]="freq" LimitType[1]="LessThan" LimitMax[1]=1.1 Indep1Min[1]=3.5 GHz Indep1Max[1]=4.5 GHz</p> | <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 10px;"> GOAL </div> <p>Goal Optim Goal2 Expr="VSWR2" SimInstanceName="SP1" Weight=1.0 IndepVar[1]="freq" LimitType[1]="LessThan" LimitMax[1]=1.1 Indep1Min[1]=3.5 GHz Indep1Max[1]=4.5 GHz</p> |
| | <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> GOAL </div> <p>Goal Optim Goal3 Expr="dB(S21)" SimInstanceName="SP1" Weight=1.0 IndepVar[1]="freq" LimitType[1]="GreaterThan" LimitMax[1]= Indep1Min[1]=3.5 GHz Indep1Max[1]=4.5 GHz</p> | |

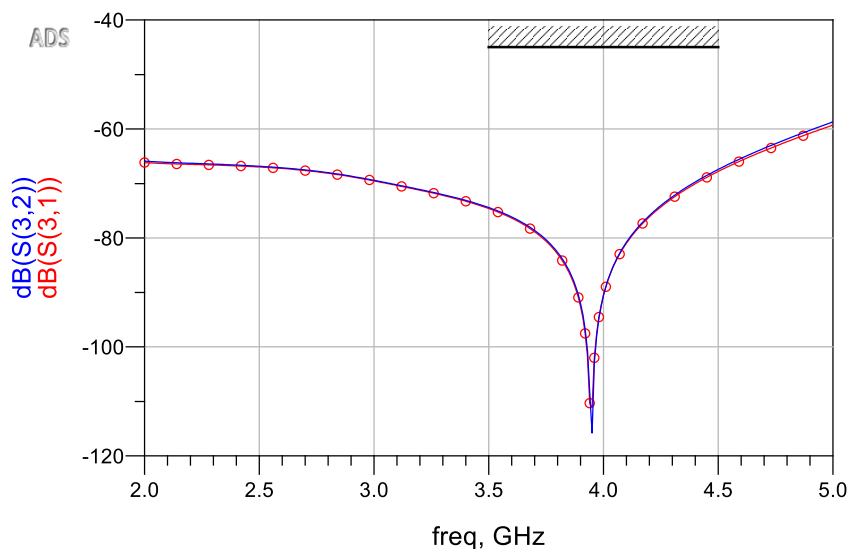
Для того, чтобы разрешить PartNumber к дискретной оптимизации, нужно выставить значение в режим Discrete Optimize setting и задать границы.



При запуске оптимизатора нужно учесть, что не все алгоритмы оптимизации поддерживают дискретные номиналы.

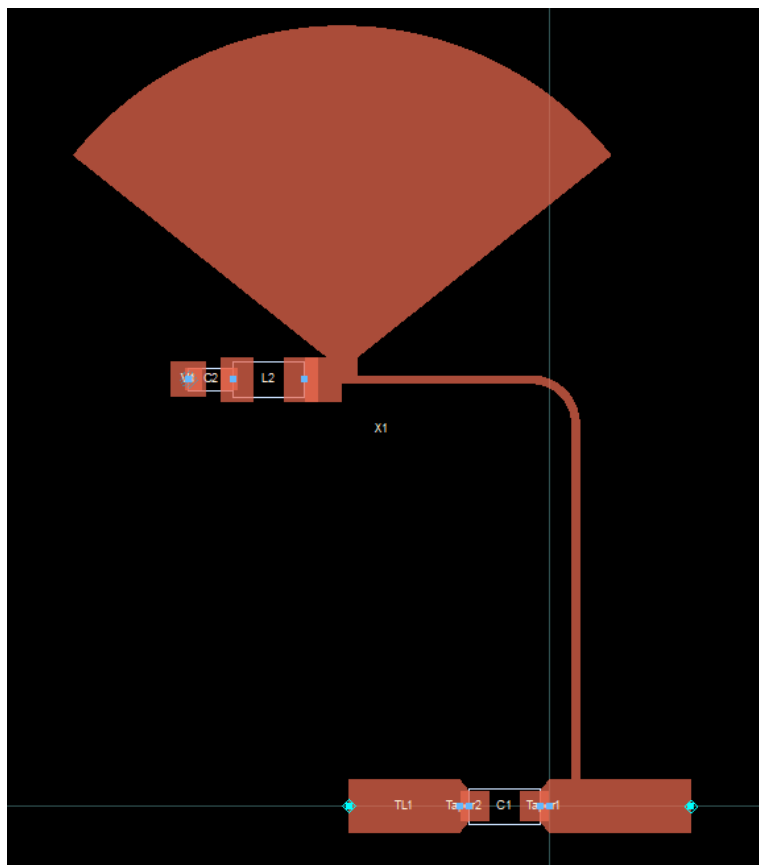
После оптимизации нужно убрать настройку Discrete Optimize setting и выбрать в списке найденный номинал.

По развязке к порту 3 цепь оказалась отличной.



Корректировка топологии и косимуляция emCosim


Сгенерим топологию, чтобы проверить ее вид и корректность.

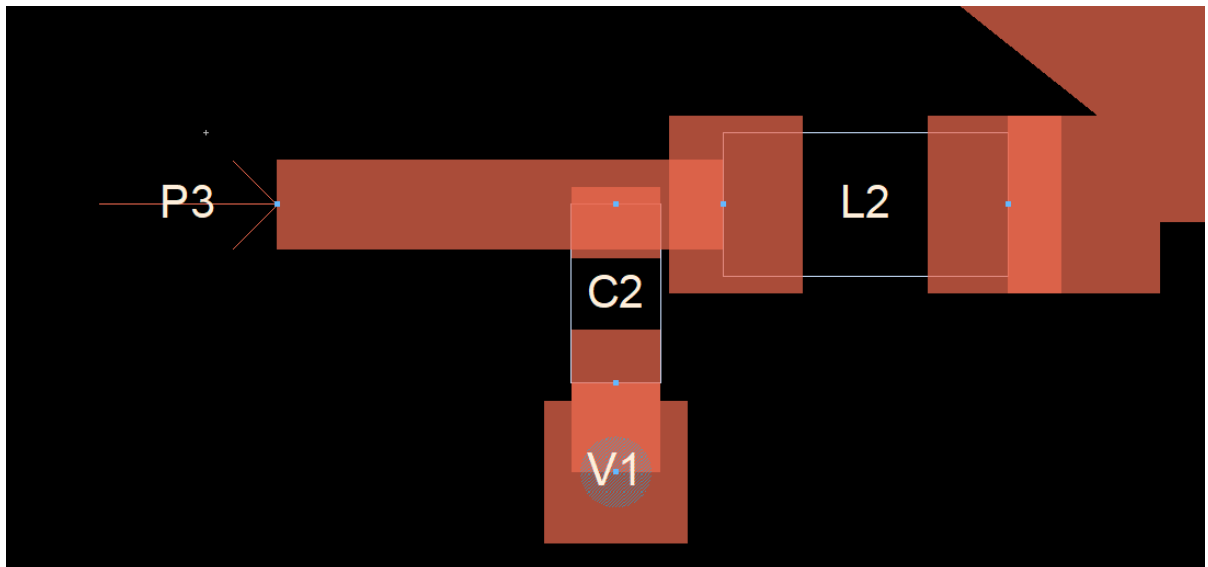


В части ВЧ-прохода топология выглядит корректно, а вот в части выхода DC – нет. Надо привести к нормальному виду. Также надо будет провести финальную косимуляцию с помощью инструмента emCosim.


Создадим двухуровневую схему, где дискретные и микрополосковые компоненты будут во внутренней схеме FeedLineComp_EMInner, а терминаторы, контроллер симуляции, запросы KCBH и блок muRataLibWeb_Include на верхнем.


Во внутренней ячейке FeedLineComp_EMInner отредактируем топологию. Нужно:

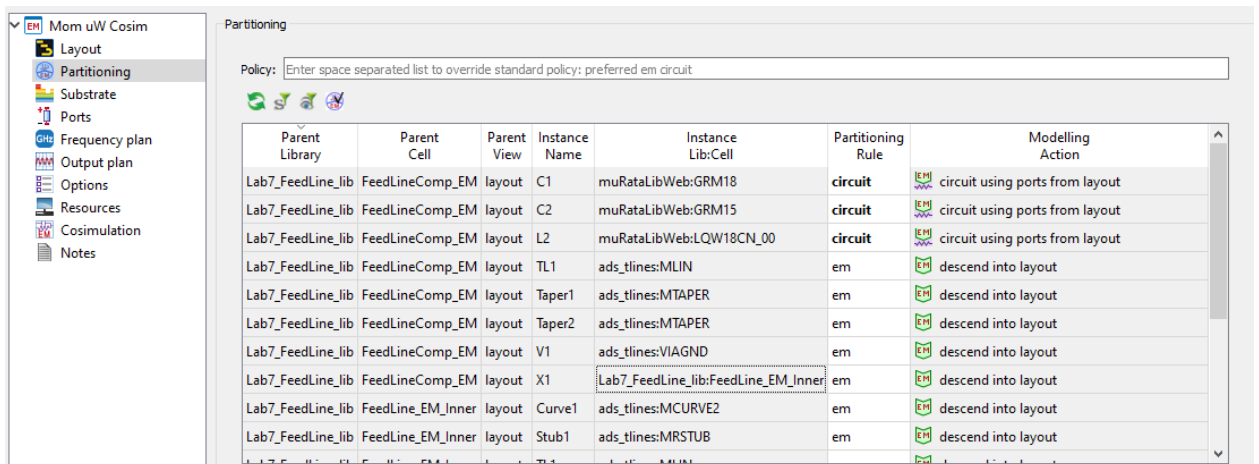
- конденсатор C2 повернуть на 90° и отодвинуть от индуктивности L2;
- земляное отверстие отвести от C2, т.к. как правило от падов до отверстий должен быть некоторый зазор;
- добавить пару участков типа Path (Insert – Path , P) шириной 0,5 мм, чтобы эта часть цепи выглядела прилично;
- переместить пин P3 в нужное место.




Далее настроим косимуляцию emCosim.


 **Mom uW** - метод моделирования Momentum Microwave, режим EM Cosimulation.


 **Partitioning** - всем дискретным компонентам установлен режим Partitioning Rule – circuit, а подсхеме FeedLine_EM_Inner и полосковым компонентам – режим em.




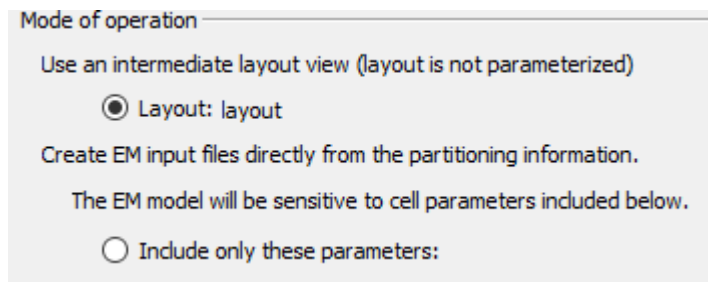
| Parent Library | Parent Cell | Parent View | Instance Name | Instance Lib:Cell | Partitioning Rule | Modelling Action |
|-------------------|-------------------|-------------|---------------|-------------------------------------|-------------------|---------------------------------|
| Lab7_FeedLine_lib | FeedLineComp_EM | layout | C1 | muRataLibWeb:GRM18 | circuit | circuit using ports from layout |
| Lab7_FeedLine_lib | FeedLineComp_EM | layout | C2 | muRataLibWeb:GRM15 | circuit | circuit using ports from layout |
| Lab7_FeedLine_lib | FeedLineComp_EM | layout | L2 | muRataLibWeb:LQW18CN_00 | circuit | circuit using ports from layout |
| Lab7_FeedLine_lib | FeedLineComp_EM | layout | TL1 | ads_tlines:MLIN | em | descend into layout |
| Lab7_FeedLine_lib | FeedLineComp_EM | layout | Taper1 | ads_tlines:MTAPER | em | descend into layout |
| Lab7_FeedLine_lib | FeedLineComp_EM | layout | Taper2 | ads_tlines:MTAPER | em | descend into layout |
| Lab7_FeedLine_lib | FeedLineComp_EM | layout | V1 | ads_tlines:VIAGND | em | descend into layout |
| Lab7_FeedLine_lib | FeedLineComp_EM | layout | X1 | Lab7_FeedLine_lib:FeedLine_EM_Inner | em | descend into layout |
| Lab7_FeedLine_lib | FeedLine_EM_Inner | layout | Curve1 | ads_tlines:MCURVE2 | em | descend into layout |
| Lab7_FeedLine_lib | FeedLine_EM_Inner | layout | Stub1 | ads_tlines:MRSTUB | em | descend into layout |


 **Substrate** - убедиться, что привязана правильная подложка

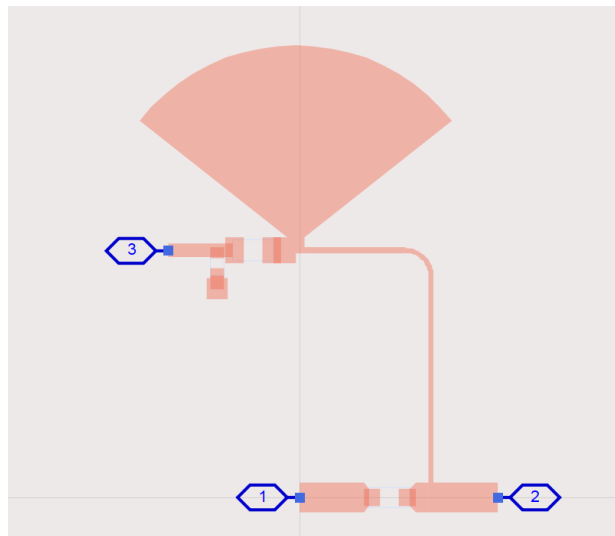
 **Frequency plan** - частотный план адаптивный от 0 до 7 ГГц, плюс точка 4 ГГц

 **Options** - Mesh с точностью 60 ячеек/длина волны (т.к. линия TLFeed тонкая) и включено автоматическое создание краевой сетки

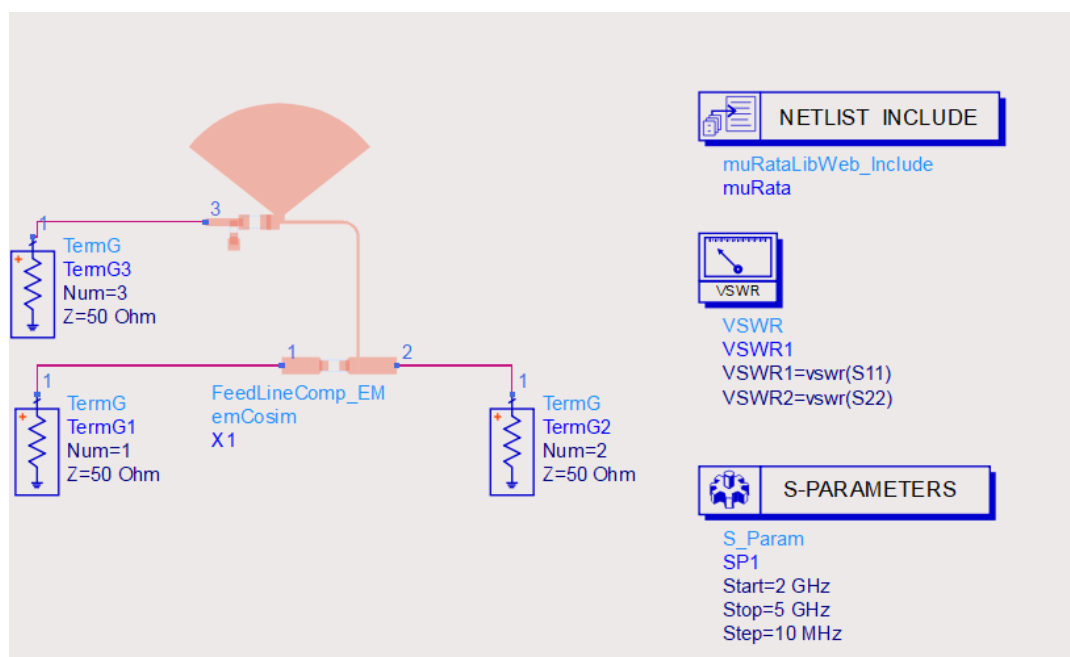
 **Cosimulation** - у ячейки FeedLineComp_EM_Inner нет параметров, поэтому стоит режим проброса параметров Layout: layout.



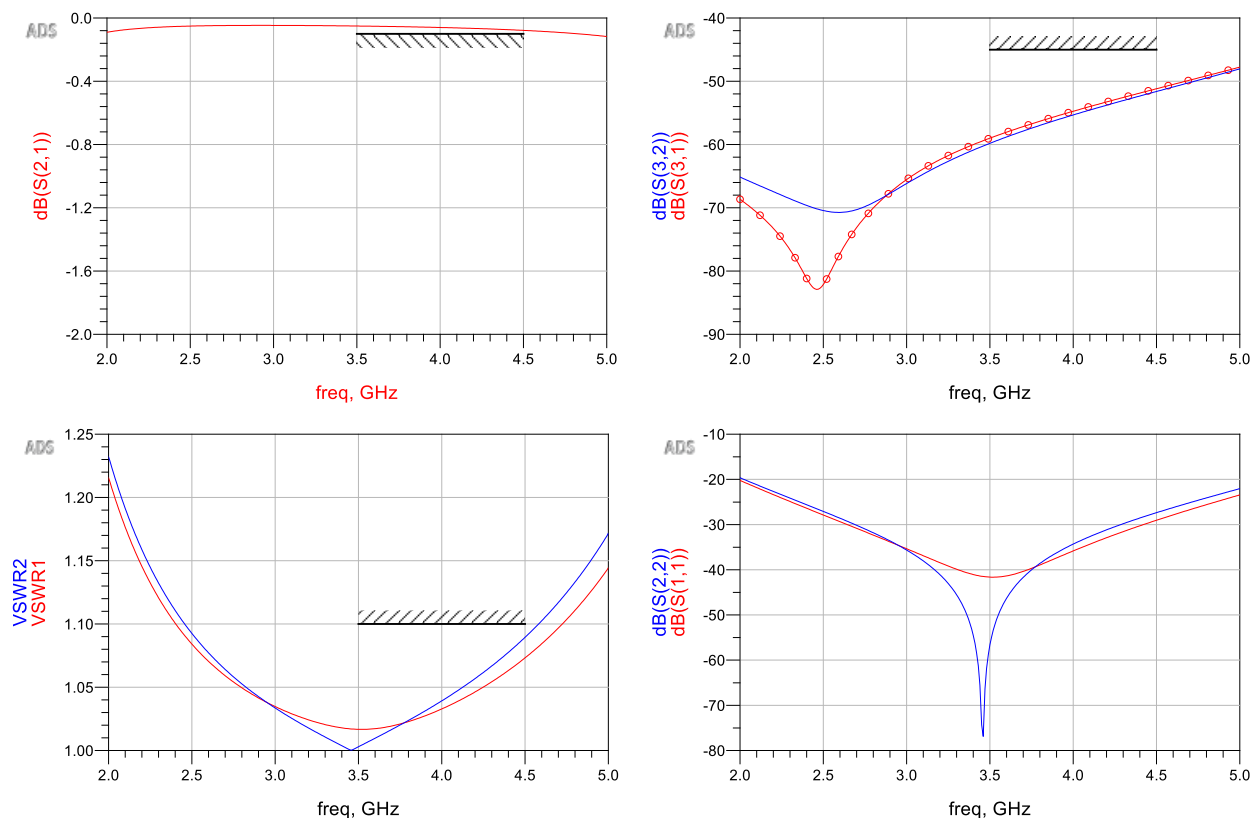
По команде Tools – Open Symbol Editor  сгенерирован символ, аналогичный топологии с учетом дискретных компонентов.



После нажимаем на кнопку Generate Views Go. Переходим в ячейку верхнего уровня FeedLineComp_EM_Top.

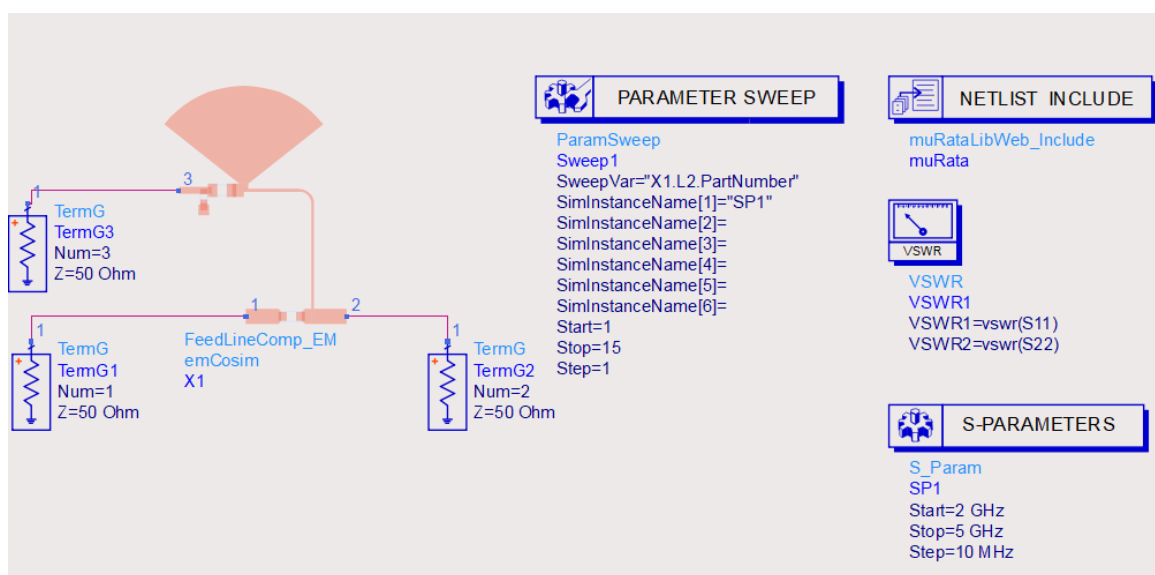


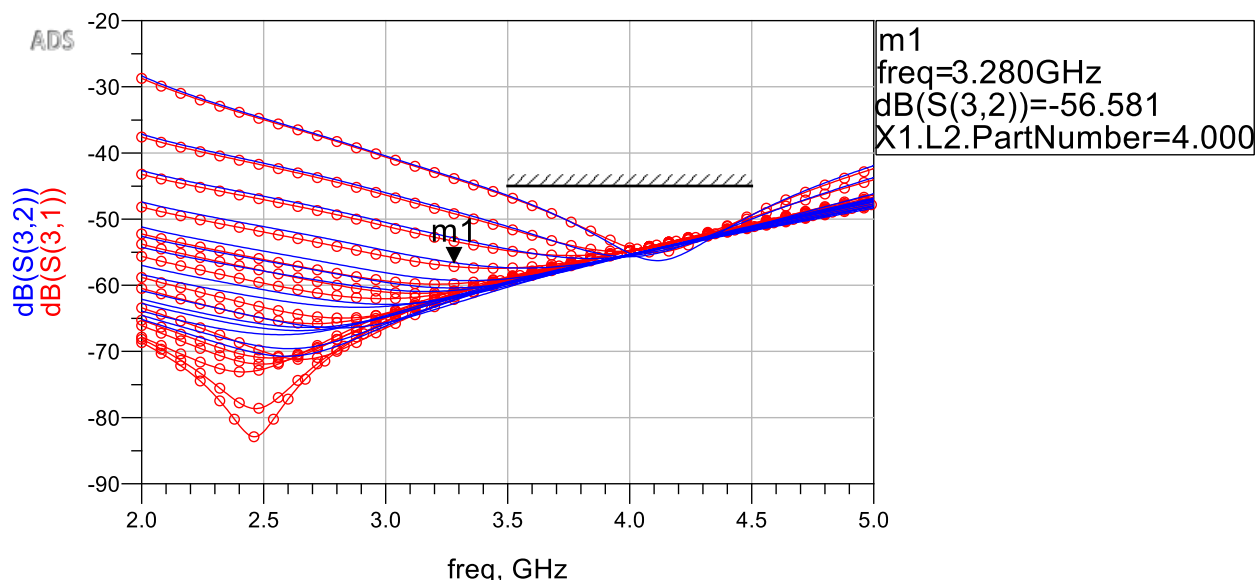
Запускаем расчет.



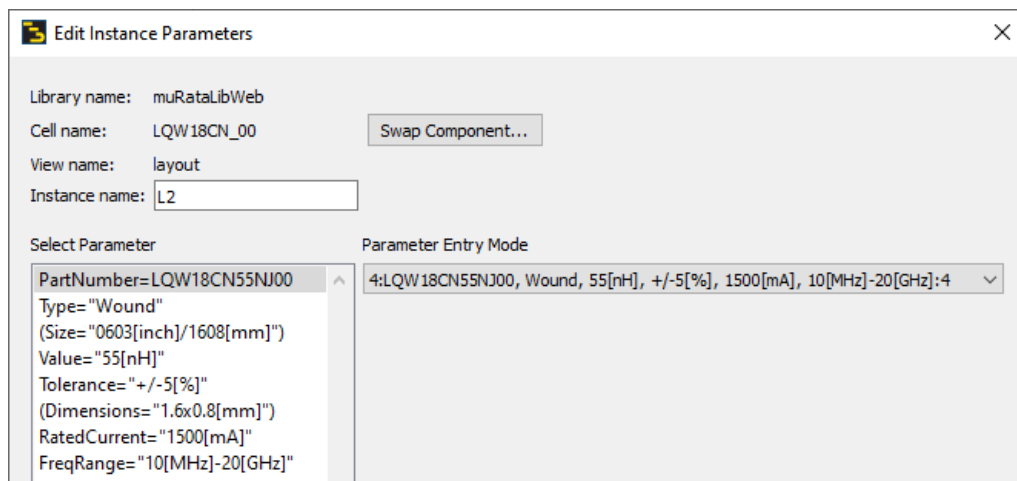
Графики выглядят прилично. Попробуем только сгладить провал на развязке и улучшить его в рабочей полосе. Это можно сделать изменением номинала L2. Т.к. при изменении этого номинала топология не меняется, то данный расчет будет идти быстро.

У индуктивности L2 может быть привязана одна из 15 моделей. Сделаем свип по ее PartNumber-у. Чтобы обратиться к этому параметру, нужно использовать иерархическое выражение "X1.L2.PartNumber".

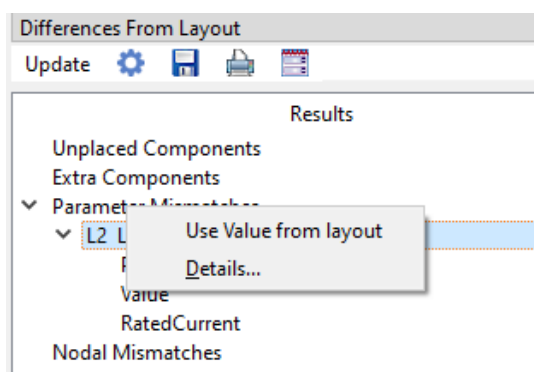




Остановимся на модели номер 4. Далее нужно зайти во внутреннюю топологию и выставить у индуктивности L2 соответствующий PartNumber.

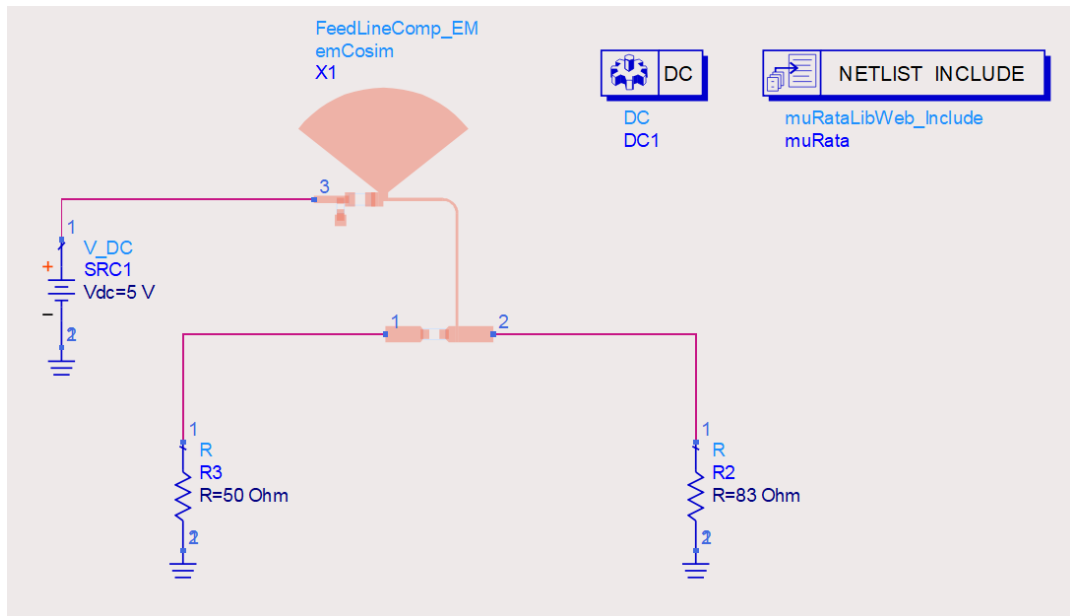


Окончательно нужно перенести измененные параметры в схематик (они по умолчанию автоматически не синхронизируются между схематиком и топологией). Для этого, нужно войти в схематик внутренней ячейки и запустить панель Differences From Layout. Далее нажать на кнопку Update, чтобы найти отличия. После по ПКМ внести изменения в схему.

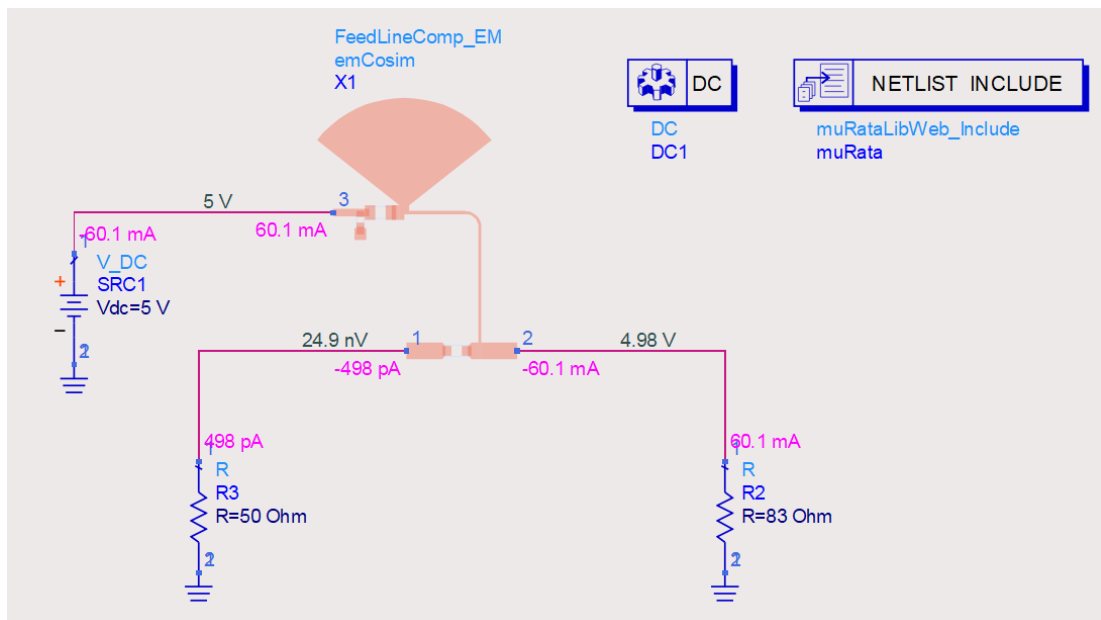


Моделирование по постоянному току

Также нужно проверить, как данная цепь правильно пропускает постоянный ток (схема FeedLine_EM_DC_Top). Пусть мы питаем маломощный усилитель напряжением питания 5 В током 60 мА. Это значит, что сопротивление по питанию у усилителя будет 83 Ом (будет имитироваться сопротивлением R2).



После расчета выведем аннотацию по постоянному току на схему (Simulate – DC Annotation – Annotate Voltage и Annotate Pin Current).

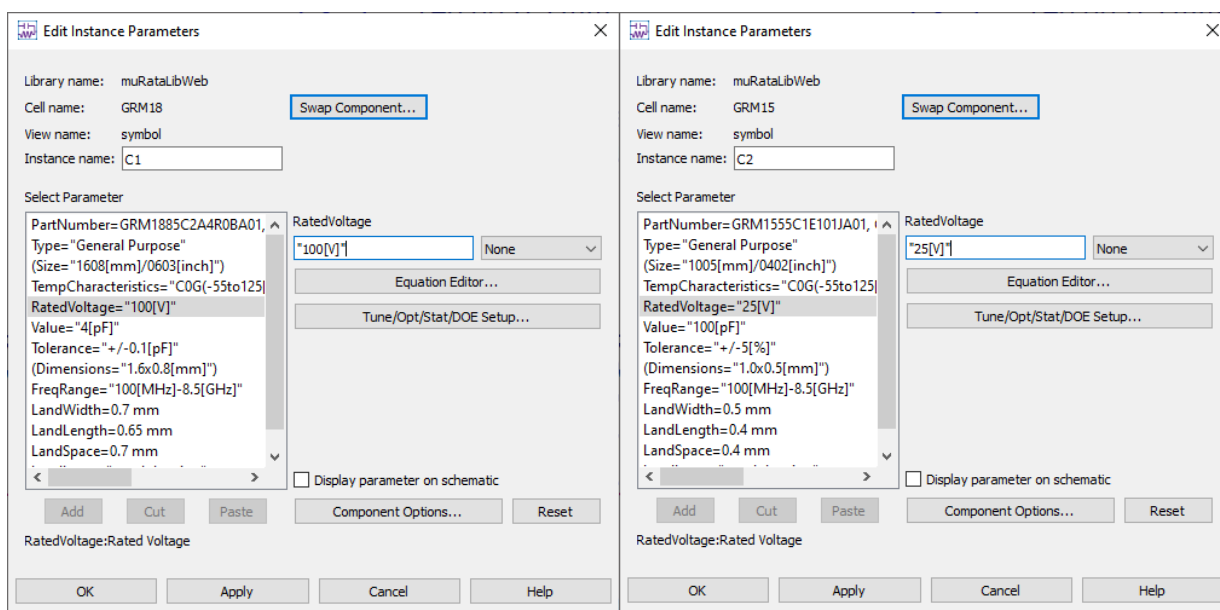


Видно, что до потребителя доходят необходимые напряжения и ток. При этом на ВЧ-вход (1) постоянный ток не идет. Данную проверку надо проводить, т.к. индуктивности имеют последовательное активное

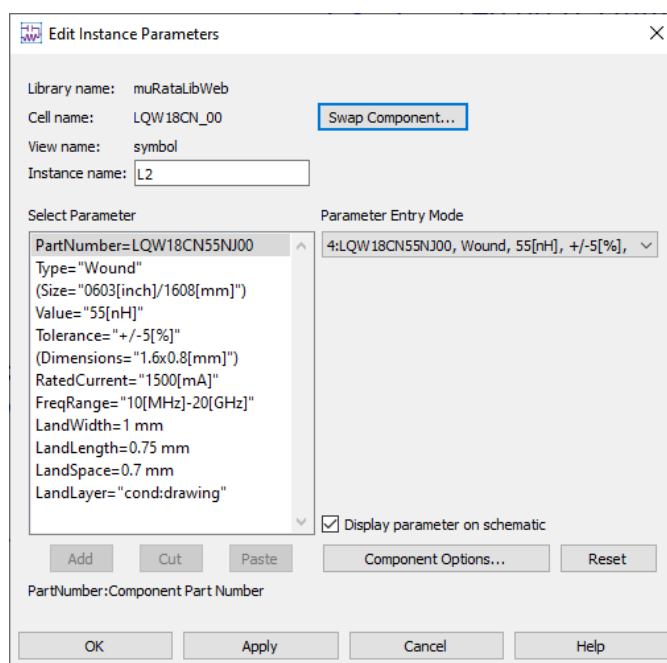
сопротивление. У выбранного L2 оно порядка 0,045 Ом, т.е. практически ни на что не влияет.

Также нужно убедиться, что индуктивность пропускает необходимый ток, а конденсаторы выдерживают приложенное напряжение с запасом. Как правило, берут двукратный запас.

У конденсаторов предельное допустимое напряжение записано в параметр RatedVoltage. У C1 он равен 100 В, у C2 – 25 В. Это заведомо больше приложенных 5 В.



У индуктивности L2 предельный ток приведен в параметре RatedCurrent, он равен 1500 мА. Это тоже с запасом к требуемым 60 мА.



Задание на выполнение

В соответствии с вариантом рассчитать и спроектировать цепь подачи питания, с учетом заданной частоты (F_c) ВЧ-сигнала и ВЧ-подложки. Провести настройку и исследование на схемном и топологическом уровнях с использованием реальных моделей дискретных компонентов.

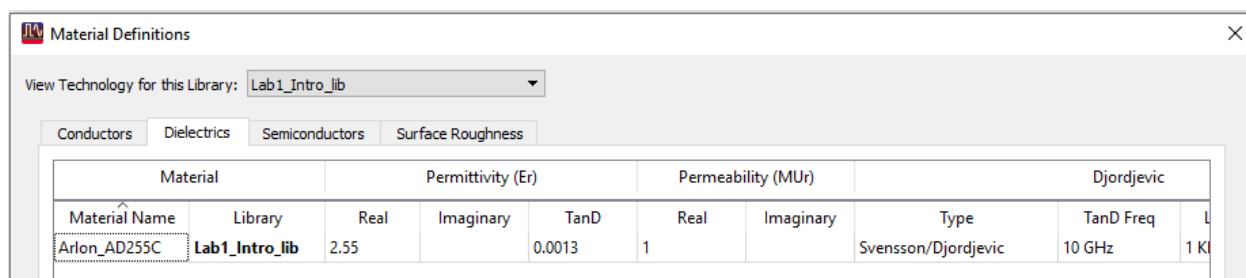
Варианты заданий приведены в таблице 1.

При выполнении ориентироваться на методику выполнения.

Таблица 1. Варианты заданий

| № Варианта | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---------------------------------|--|---------|---------|---------|--------|---------|
| Центральная частота F_c , ГГц | | 2,2 | 3,0 | 3,8 | 4,6 | 5,4 |
| Параметры подложки | Именование материала | FR-4 | FR-4 | RO4360 | RO4360 | RO4350B |
| | Относительная диэлектрическая проницаемость ϵ_r , ед. | 4,5 | 4,5 | 6,15 | 6,15 | 3,66 |
| | Тангенс угла диэлектрических потерь $\tan \delta$, ед. | 0,01 | 0,01 | 0,0038 | 0,0038 | 0,004 |
| | Толщина диэлектрика h , мм | 0,71 | 0,51 | 0,61 | 0,406 | 0,508 |
| | Толщина металлизации t , мкм | 17 | 35 | 35 | 17 | 17 |
| Параметры потребления | Напряжение питания, В | 5 | 8 | 6 | 5 | 5 |
| | Ток питания, мА | 70 | 60 | 100 | 66 | 64 |
| № Варианта | | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| Центральная частота F_c , ГГц | | 6,2 | 7,0 | 7,8 | 8,6 | 9,4 |
| Параметры подложки | Именование материала | RO4350B | RO4003C | RO4003C | RO3003 | RO3003 |
| | Относительная диэлектрическая проницаемость ϵ_r , ед. | 3,66 | 3,55 | 3,55 | 3,0 | 3,0 |
| | Тангенс угла диэлектрических потерь $\tan \delta$, ед. | 0,004 | 0,0026 | 0,0026 | 0,0013 | 0,0013 |
| | Толщина диэлектрика h , мм | 0,338 | 0,305 | 0,203 | 0,25 | 0,13 |
| | Толщина металлизации t , мкм | 17 | 17 | 35 | 35 | 17 |
| Параметры потребления | Напряжение питания, В | 8 | 5 | 7 | 5 | 7,5 |
| | Ток питания, мА | 80 | 30 | 68 | 90 | 60 |

Если материала в базе материалов ADS нет, его надо будет самостоятельно определить по кнопке Add Dielectric.



Каждый крупный этап рекомендовано делать в отдельных ячейках (схемах), т.к. при выполнении работы возможно придется возвращаться к предыдущим этапам.

Этапы выполнения:

1. Цепь подачи питания на идеальных линиях передачи (ячейка FeedLine_Ideal).

1.1. Составить схему для моделирования в режиме S-параметров цепи подачи питания на идеальных линиях передачи.

- Компоненты брать из палитры TLines-Ideal.

- Диапазон частот моделирования брать от 0 Гц до удвоенной частоты F_c .

1.2. Промоделировать в режиме S-параметров.

- Показать, что цепь подачи питания выполняет поставленную на него задачу.

- Результаты контролировать только на центральной частоте F_c .

- Построить графики амплитудных соотношений.

2. Цепь подачи питания в микрополосковом исполнении на схемном уровне (ячейка FeedLine_MLIN).

2.1. Создать схему цепи подачи питания в микрополосковом исполнении на основании результатов, полученных в п.1.

- Для расчета геометрических размеров микрополосков использовать инструмент LineCalc.

- Компоненты брать из палитры TLines-Microstrip.

- Параметры подложки брать из таблицы 1.

- В качестве широкополосного шлейфа брать либо секторальный шлейф MRSTUB, либо шлейф типа бабочка MBSTUB.

2.2. Провести моделирование в режиме S-параметров.

- Диапазон частот моделирования брать от 0 Гц до удвоенной частоты F_c .

- Результаты контролировать в диапазоне частот $F_c \pm 20\%$.

- Считать, что цепь подачи питания выполняет свою задачу, если

- а) по коэффициенту передачи $\text{dB}(S_{21}) > -0,1$ дБ;

- б) по развязкам $\text{dB}(S_{31})$ и $\text{dB}(S_{32}) < -30$ дБ;

- в) по K_{CBH1} и $K_{CBH2} < 1,1$.

2.3. Если цепь подачи питания не проходит по требованиям, с помощью инструментов Tune или Optimization настроить его.

2.4. Соптимизировать пространственную конфигурацию цепи подачи питания за счет наклона последовательного шлейфа.

3. Цепь подачи питания в микрополосковом исполнении на топологическом уровне (ячейка верхнего уровня FeedLine_Top и подсхема FeedLine_EM_Inner).

3.1. Создать параметризованную топологию цепи подачи питания в микрополосковом исполнении с использованием результатов п.2.

- Создать определение подложки tech.subst в соответствии с методикой. Параметры брать из таблицы 1.

- Для параметризации топологии создать двухуровневую схему в соответствии с методикой.

- На уровень внутренней ячейки вынести все параметры, использованные в топологии. Численные значения параметров задавать в соответствии с результатами п.2.

3.2. Провести ЕМ-моделирование топологии.

- Метод моделирования брать Momentum Microwave.

- Результаты хранить с использованием emModel.
- Если расчет идет долго, то верхнюю границу диапазона частот моделирования можно сократить $F_c+40\%$.
- Сравнить результаты с результатами п.2.
- Результаты контролировать в диапазоне частот $F_c\pm 20\%$.
- Считать, что цепь подачи питания выполняет свою задачу, если выполняются требования
 - а) по коэффициенту передачи $\text{dB}(S_{21}) > -0,1$ дБ;
 - б) по развязкам $\text{dB}(S_{31})$ и $\text{dB}(S_{32}) < -30$ дБ;
 - в) по K_{CBH1} и $K_{CBH2} < 1,1$.

3.3. Если цепь подачи питания не проходит по требованиям, с помощью инструментов Tune или Optimization настроить его.

4. Добавление дискретных компонентов из библиотеки Murata (ячейка верхнего уровня FeedLineComp_EM).

4.1. Исходя из ширин 50 Ом и ожидаемыми номиналами дискретных компонентов определиться с сериями индуктивностей и ёмкостей.

4.2. Составить комбинированную схемную модель для подбора номиналов дискретных моделей.

4.3. Подобрать номиналы дискретных моделей. Считать, что цепь подачи питания выполняет свою задачу, если выполняются требования

- а) по коэффициенту передачи $\text{dB}(S_{21}) > -0,1$ дБ;
- б) по развязкам $\text{dB}(S_{31})$ и $\text{dB}(S_{32}) < -30$ дБ;
- в) по K_{CBH1} и $K_{CBH2} < 1,1$.

5. Корректировка топологии и косимуляция emCosim (внутренняя ячейка FeedLineComp_EMInner, внешняя FeedLineComp_EMTop)

5.1. Скорректировать топологию внутренней ячейки FeedLineComp_EMInner с точки зрения реализуемости топологии.

5.2. Настроить внутреннюю ячейку FeedLineComp_EMInner для косимуляции.

5.3. Настроить внешнюю ячейку FeedLineComp_EMTop для космической.

5.4. Промоделировать и сравнить результаты с п.4. При необходимости поднастроить за счет изменения дискретных моделей.

6. Моделирование по постоянному току.

6.1. Собрать модель верхнего уровня FeedLine_EM_DC_Top для моделирования прохода постоянного тока.

6.2. Параметры потребления активного устройства брать из табл.1.

6.3. Рассчитать эквивалентное сопротивление активного устройства по постоянному току.

6.4. Провести моделирование в режиме DC.

6.5. Вывести аннотацию токов и напряжений на схему. По результатам определить, выполняет ли цепь подачи питания свою роль по постоянному току. Допустимое отклонение напряжения питания не более 5% от номинала.

6.6. Проверить, что выбранные дискретные компоненты имеют запас по номиналу:

- индуктивности, запас по проходящему току не менее, чем в два раза до предельного;

- конденсаторы, запас по приложенному напряжению не менее, чем в два раза до предельного.

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 ADS лучше всего делать встроенным инструментом File – Archive Workspace из основного окна ADS. При архивации проекта можно выбрать, какие составляющие проекта добавлять в архив. Если какие-то ячейки или результаты расчета не нужны, то их можно исключить из архивирования.

Созданный архив будет иметь расширение *.7zads и является фактическим 7z-архивом.

По окончании выполнения лабораторной работы и подготовки отчета, отчет и архив проекта надо выложить в ОРИОКС в домашнее задание в дисциплину, привязав к контрольному мероприятию ЗЛР (Защита лабораторных работ). Именование отчета и архива проекта должно давать возможность точно понять, к какой теме лабораторной работы они относятся (Например, AFU_Lab_FeedLine вместо непонятного Lab7 или Workspace7).

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) С использованием навыков, полученных в лабораторной работе, выполнить соответствующий этап курсового проекта.

Контрольные вопросы

1. Поясните назначение компонентов в проектируемой цепи питания и смещения?
2. К какому значению должен стремиться коэффициент S_{21} в проектируемой схеме? Нумерация портов в соответствии со схемой моделирования.
3. Поясните, исходя из каких соображений проектируется секториальный шлейф? Можно ли его заменить на шлейф-бабочку?
4. Поясните, из каких соображений подбирается блокировочный конденсатор?
5. Поясните, из каких соображений подбирается фильтрующая индуктивность?
6. Каким образом с помощью резистора можно симитировать потребление по постоянному току?
7. Приведите типовой вид коэффициента S_{11} в проектируемой схеме.
8. Зачем при переходе к высоким частотам отказываются от простой LC-схемы подачи питания и смещения?
9. Какие свойства на рабочей частоте и по постоянному току должны быть у линии первого параллельного шлейфа?
10. Можно ли совмещать цепь подачи питания и смещения с согласующими цепями? Как в этом случае будет измениться порядок проектирования?

Литература

1. Банков, С. Е. Электродинамика для пользователей САПР СВЧ : учебник / С. Е. Банков, А. А. Курушин. — Москва : СОЛОН-Пресс, 2017. — 316 с. — ISBN 978-5-91359-236-1. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/107661> (дата обращения: 02.02.2021). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

Перечень ресурсов сети «Интернет»

2. Сборник примеров работы в ADS «ADS Example Book: Focused on RF and Microwave Design», доступен после свободной регистрации <https://www.keysight.com/main/editorial.jsp?cc=RU&lc=rus&ckey=2704333&id=2704333&cmpid=zzfindeesof-ads-rfmw-examples>

3. База знаний Образовательного центра Keysight EEsof EDA Knowledge Center, доступен после свободной регистрации, <http://edadocs.software.keysight.com/display/support/Knowledge+Center>

4. Тематический раздел «Rf & Microwave Design» форума electronix.ru, доступен после свободной регистрации, <https://electronix.ru/forum/index.php?showforum=63>

5. Интернет-энциклопедия разработчиков СВЧ-аппаратуры «Microwaves101» <https://www.microwaves101.com>

6. Библиотека дискретных компонентов от Murata для Keysight ADS <https://www.murata.com/en-global/tool/data/librarydata/library-keysight2>

Каналы Youtube с видеоуроками по Keysight Advanced Design System

7. Канал youtube образовательного центра Keysight EEsof EDA <https://www.youtube.com/user/KeysightEESOF>

8. Канал youtube Anurag Bhargava образовательного центра <https://www.youtube.com/user/BhargavaAnurag>

9. Канал youtube Keysight EEsof EDA Field <https://www.youtube.com/c/EEsofAETips>

Разработчик:

Ст. преподаватель Института МПСУ

Приходько Д.В.