

Keysight EEsof EDA

Разработка СВЧ-фильтра на дискретных элементах и микрополоскового СВЧ-фильтра

Руководство
с демонстрационными
примерами

Теория

Микрополосковые фильтры играют важную роль во входных РЧ-трактах, заключающуюся в подавлении сигналов, выходящих за пределы полосы. Они широко применяются в вариантах с сосредоточенными и распределенными параметрами как в коммерческих изделиях, так и в изделиях военного назначения. Фильтр является реактивной схемой, пропускающей частоты желаемой полосы и при этом почти полностью задерживающей частоты всех других полос. Частота, отделяющая полосу пропускания от полосы заграждения называется частотой среза и обозначается f_c . Ослабление фильтра выражается в децибелах или неперлах. Вообще говоря, фильтр может иметь любое количество полос пропускания, разделенных полосами заграждения. Большинство фильтров относятся к четырем наиболее распространенным типам, а именно: фильтры низких частот (ФНЧ), высоких частот (ФВЧ), полосовые и режекторные.

У идеального фильтра должны отсутствовать вносимые потери в полосе пропускания, ослабление в полосе заграждения должно быть бесконечным, а ФЧХ в полосе пропускания должна быть линейной. Идеальный фильтр нереализуем, поскольку характеристика идеального ФНЧ или ФВЧ в частотной области имеет форму прямоугольного импульса. Искусство разработки фильтров требует идти на компромиссы в отношении среза и завала (крутизны) характеристик. Существует три основных метода синтеза фильтров. Это метод параметров образа, метод вносимых потерь и числовой синтез. Метод параметров образа – старый и очень приближенный, тогда как числовой метод синтеза новее, но при этом громоздкий. Что же касается метода вносимых потерь для разработки фильтров, то он является оптимальным и более популярным методом для высокочастотных задач. Ниже приведена процедура разработки методом вносимых потерь.

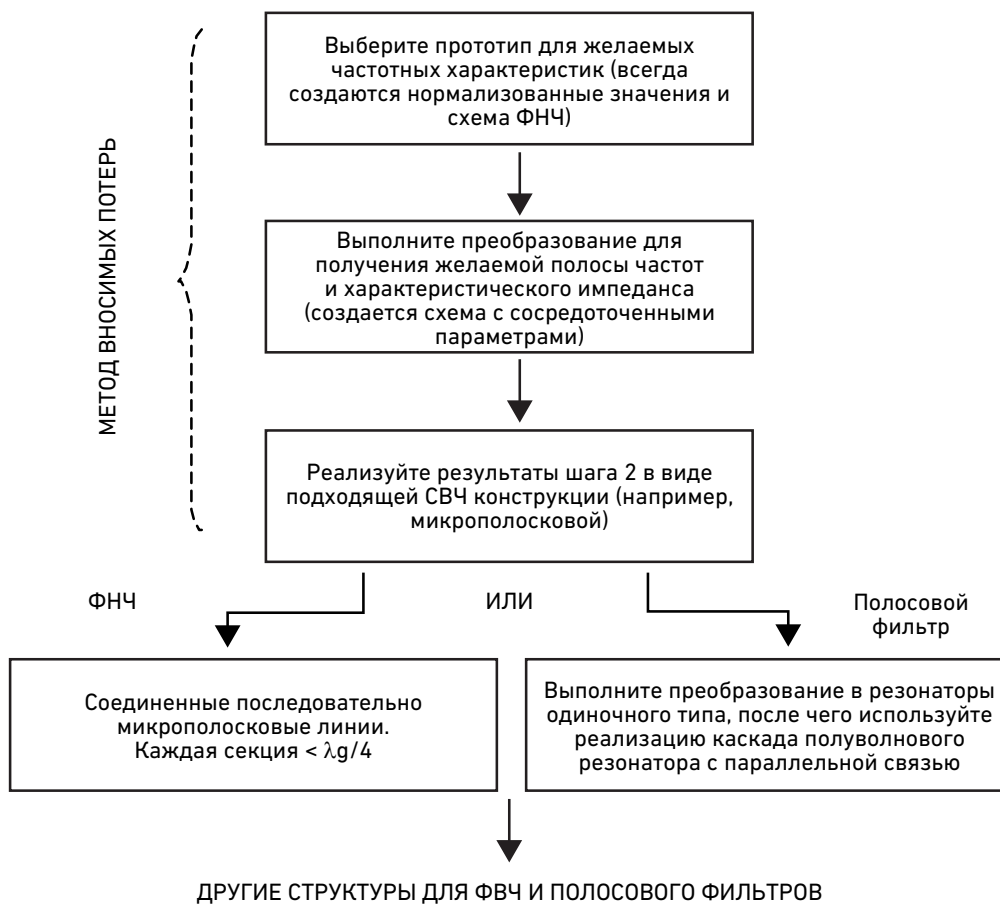


Рис. 131.

Так как характеристики идеального фильтра получить невозможно, цель разработки фильтра – приблизиться к идеальным требованиям с приемлемым допуском. Существует четыре типа аппроксимаций, а именно: аппроксимация Баттерворта (или максимально плоская аппроксимация), Чебышева, Бесселя и эллиптическая. При выборе прототипа фильтра максимально плоская аппроксимация, или аппроксимация Баттерворта, обеспечивает самую плоскую характеристику в полосе пропускания для данного порядка фильтра. При использовании метода Чебышева достигается более крутой срез, а характеристика в полосе пропускания будет иметь колебания с амплитудой $1+k^2$. Аппроксимации Бесселя основаны на функции Бесселя, которая обеспечивает более крутой срез, а эллиптические аппроксимации приводят к колебаниям характеристики в полосах пропускания и заграждения. Можно выбирать различные аппроксимации в зависимости от задачи и стоимости. С позиций характеристики и перечня элементов оптимальным фильтром является фильтр Чебышева. С использованием приведенных выше аппроксимаций фильтр можно разработать как с сосредоточенными, так и с распределенными параметрами.

Разработка СВЧ фильтров

Первым шагом в разработке СВЧ фильтров является выбор подходящей аппроксимации модели прототипа исходя из технических параметров.

Рассчитайте порядок фильтра из требуемой крутизны характеристики на основе заданных технических характеристик. Порядок можно рассчитать следующим образом:

Аппроксимация Баттерворта:

$$L_A(\omega') = 10 \log_{10} \{1 + \varepsilon (\omega' / \omega_c)^{2N}\}$$

где $\varepsilon = \{\text{Antilog}_{10} L_A / 10\} - 1$ и $L_A = 3$ дБ для аппроксимации Баттерворта

Аппроксимация Чебышева:

$$L_A(\omega') = 10 \log_{10} \left\{ 1 + \varepsilon \cos^2 \left[n \cos^{-1} \left(\frac{\omega'}{\omega_1} \right) \right] \right\} \quad \text{при} \quad \omega' \leq \omega_1$$

$$L_A(\omega') = 10 \log_{10} \left\{ 1 + \varepsilon \cosh^2 \left[n \cosh^{-1} \left(\frac{\omega'}{\omega_1} \right) \right] \right\} \quad \text{при} \quad \omega' \geq \omega_1$$

где ω_c – круговая частота среза

ω_1 – круговая частота ослабления

$L_A(\omega')$ – ослабление при круговой частоте ω'

N – порядок фильтра

$\varepsilon = \{\text{Antilog}_{10} L_{Ar} / 10\} - 1$ и L_{Ar} = колебания в полосе пропускания

Следующий шаг при разработке фильтра заключается в расчете параметров прототипа фильтра в зависимости от типа аппроксимации. Параметры прототипа для аппроксимаций Чебышева и Баттерворта могут быть получены с помощью приведенных выражений.

Аппроксимация Баттерворта:

$$g_0 = 1,$$

$$g_k = 2 \sin \left\{ \frac{(2k-1)\pi}{2n} \right\}, \text{ где } k = 1, 2, \dots, n \text{ и}$$

$$g_{n+1} = 1$$

где n – порядок фильтра

Аппроксимация Чебышева:

Значения элементов могут быть рассчитаны следующим образом:

$$\beta = \ln \left(\coth \frac{L_{Ar}}{17.37} \right) L_{Ar} - \text{колебания в полосе пропускания}$$

$$\gamma = \sinh \left(\frac{\beta}{2n} \right)$$

$$a_k = \sin \left[\frac{(2^k - 1)\pi}{2n} \right], \text{ } k=1, 2, 3, \dots, n$$

$$b_k = \gamma^2 + \sin^2 \left(\frac{k\pi}{n} \right), \text{ } k=1, 2, 3, \dots, n$$

$$g_1 = \frac{2a_1}{\gamma}$$

$$g_k = \frac{4a_{k-1}a_k}{b_{k-1}g_{k-1}}, \text{ } k=2, 3, \dots, n$$

$$g_{n+1} = 1 \text{ при нечетном } n$$

$$= \coth^2 \left(\frac{\beta}{4} \right) \text{ при четном } n$$

После расчета параметров прототипа необходимо преобразовать прототип фильтра так, чтобы частота и импеданс соответствовали техническим характеристикам. Преобразования могут быть выполнены с помощью следующих выражений.

Для НЧ фильтра:

После масштабирования импеданса и частоты:

$$C'_k = C_k / R_0 \omega_c$$

$$L'_k = R_0 L_k / \omega_c, \text{ где } R_0 = 50 \text{ Ом}$$

Для схемы с распределенными параметрами электрическая длина следующая:

Длина емкостного участка: $Z_l/R_0 C_k'$,
 Длина индуктивного участка: $L_k R_0/Z_h$

где Z_l – значение низкого импеданса, Z_h – значение высокого импеданса

Для полосового фильтра:

Масштабирование импеданса и частоты:

$$L'_1 = L_1 Z_0 / \omega_0 \Delta$$

$$C'_1 = \Delta / L_1 Z_0 \omega_0$$

$$L'_2 = \Delta Z_0 / \omega_0 C_2$$

$$C'_2 = C_2 / Z_0 \Delta \omega_0$$

$$L'_3 = L_3 Z_0 / \omega_0 \Delta$$

$$C'_3 = \Delta / L_3 Z_0 \omega_0$$

где Δ – относительная ширина полосы $\Delta = (\omega_2 - \omega_1) / \omega_0$

Симуляция НЧ фильтров с сосредоточенными и распределенными параметрами в ADS

Номинальные характеристики

Частота среза (f_c)	: 2 ГГц
Ослабление при $f = 4$ ГГц	: 30 дБ ($LA(\omega)$)
Тип аппроксимации	: Баттерворта
Порядок фильтра	: $LA(\omega) = 10 \log_{10} \{1 + \varepsilon (\omega / \omega_c)^{2N}\}$

где, $\varepsilon = \{\text{Antilog}_{10} LA/10\}^{-1}$

При подстановке значений $LA(\omega)$, ω и ω_c рассчитанное значение N будет равно 4.

Параметры прототипа НЧ фильтра

Параметры прототипа фильтра рассчитываются с помощью следующих формул

$$g_0 = 1,$$

$$g_k = 2 \sin \{(2k-1)\pi/2N\}, \text{ где } k = 1, 2, \dots, N$$

$$\text{и } g_{N+1} = 1$$

Параметры прототипа для заданных технических характеристик фильтра:

$$g_1 = 0,7654 = C_1, g_2 = 1,8478 = L_2, g_3 = 1,8478 = C_3$$

$$\text{и } g_4 = 0,7654 = L_4$$

Модель фильтра с сосредоточенными параметрами

Значения сосредоточенных параметров НЧ фильтра после масштабирования частоты и импеданса:

$$C_k' = C_k / R_0 \omega_c$$

$$L_k' = R_0 L_k / \omega_c, \text{ где } R_0 = 50 \text{ Ом}$$

В результате получаются следующие значения сосредоточенных параметров: $C_1 = 1,218 \text{ пФ}$, $L_2 = 7,35 \text{ нГн}$, $C_3 = 2,94 \text{ пФ}$ и $L_4 = 3,046 \text{ нГн}$

Модель фильтра с распределенными параметрами

Для схемы с распределенными параметрами электрическая длина составляет:

$$\text{Длина емкостного участка } (\beta L_c) : C_k Z_l / R_0$$

$$\text{Длина индуктивного участка } (\beta L_i) : L_k R_0 / Z_h$$

где,

Z_l – значение низкого импеданса

Z_h – значение высокого импеданса

R_0 – импеданс источника и нагрузки

ω_c – желаемая частота среза

Если мы примем $Z_l = 10 \text{ Ом}$ и $Z_h = 100 \text{ Ом}$, то $\beta L_{c_1} = 0,153$,
 $\beta L_{i_2} = 0,9239$,

$$\beta L_{c_3} = 0,3695 \text{ и } \beta L_{i_4} = 0,3827$$

Поскольку $\beta = 2\pi/\lambda$, физические длины составят

$$L_{c_1} = 1,68 \text{ мм}$$

$$L_{i_2} = 10,145 \text{ мм}$$

$$L_{c_3} = 4,057 \text{ мм и}$$

$$L_{i_4} = 4,202 \text{ мм}$$

Порядок действий при схемотехнической симуляции НЧ фильтра с сосредоточенными параметрами

1. Откройте окно схемы Schematic ADS.
2. Из библиотеки компонентов с сосредоточенными параметрами выберите подходящие компоненты, необходимые для схемы фильтра с сосредоточенными параметрами. Нажмите на необходимые компоненты и вставьте их в окно схемы ADS, как показано на рисунке.

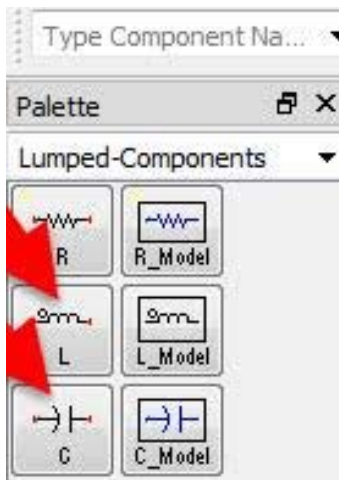



Рис. 132.

3. Создайте модель НЧ фильтра с сосредоточенными параметрами в окне схемы с использованием подходящих компонентов с сосредоточенными параметрами и соедините элементы схемы с помощью проводников . Введите рассчитанные ранее значения компонентов.
4. Подключите нагрузку к обоим портам НЧ фильтра, используя нагрузки, выбранные из библиотеки Simulation-S_Param (Симуляция – S-параметры).
5. Вставьте контроллер симуляции S-параметров из библиотеки Simulation-S_Param и задайте для него следующие параметры:
Start (Начальная частота) = 0.1 GHz
Stop (Конечная частота) = 5 GHz
Number of Points (Количество точек) = 101 (или введите значение Step Size (Размер шага) = 49 MHz)

В результате будет создана модель фильтра с сосредоточенными параметрами, как показано на рисунке ниже.

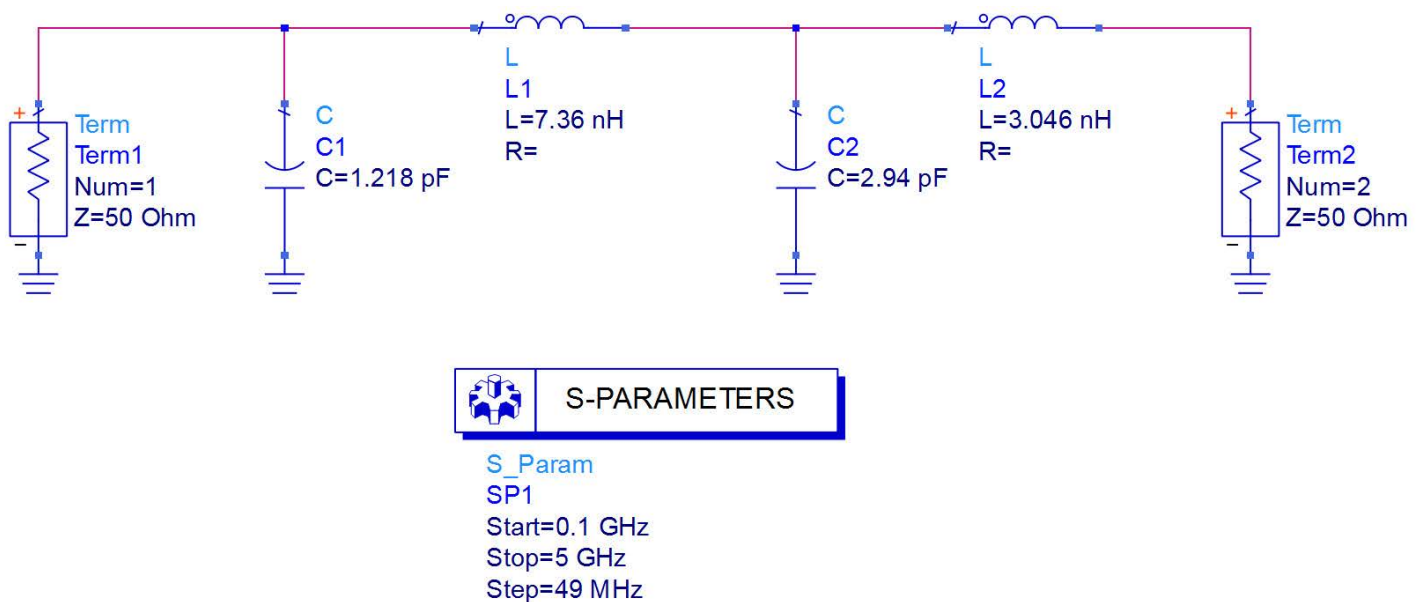


Рис. 133.

6. Выполните симуляцию схемы, нажав клавишу **F7** или иконку симуляции с изображением шестеренки.
7. По завершении симуляции, ADS автоматически откроет окно дисплея данных, в котором будут отображены результаты. Если данное окно не открылось, нажмите **Window > New Data Display** (Окно > Новый дисплей данных). В окне дисплея данных выберите график в прямоугольной системе координат. При этом автоматически откроется окно вставки атрибутов. Выберите параметры, графики которых требуется построить (в нашем случае графики $S(1,1)$ и $S(2,1)$ в дБ), и нажмите **Add>>** (Добавить>>).
8. Нажмите на график $S(2,1)$ и установите на него маркер в области 2 ГГц, чтобы просмотреть график с отображением данных, как показано ниже.

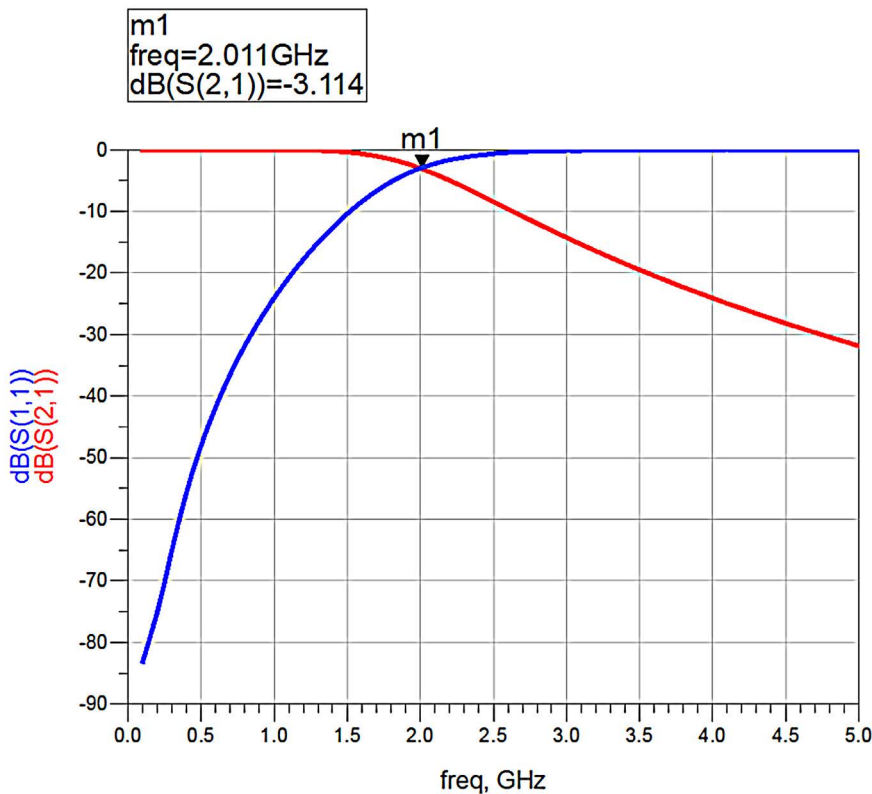


Рис. 134.

Результаты и данные наблюдения

В результате схмотехнической симуляции было замечено, что модель НЧ фильтра с сосредоточенными параметрами обладает частотой среза 2 ГГц и крутизной среза, соответствующими техническим характеристикам.

Порядок действий при топологической симуляции НЧ фильтра с распределенными параметрами

Рассчитайте физические параметры НЧ фильтра с распределенными параметрами по приведенной выше процедуре разработки фильтра. Рассчитайте ширину линий передачи с импедансами Z_l и Z_h для конструкции НЧ фильтра со ступенчатым импедансом. В этом случае $Z_l = 10$ Ом и $Z_h = 100$ Ом, а ширина соответствующих линий составляет 24,7 мм и 0,66 мм при диэлектрической проницаемости 4,6 и толщине 1,6 мм.

Рассчитайте длину и ширину линии 50 Ом с помощью окна калькулятора линий ADS (Tools->Line Calc->Start Line Calc (Инструменты->Калькулятор линий->Запустить калькулятор линий)), как показано на рисунке ниже.

Линия соединения 50 Ом на входе и выходе:

Ширина: 2,9 мм

Длина: 4,5 мм

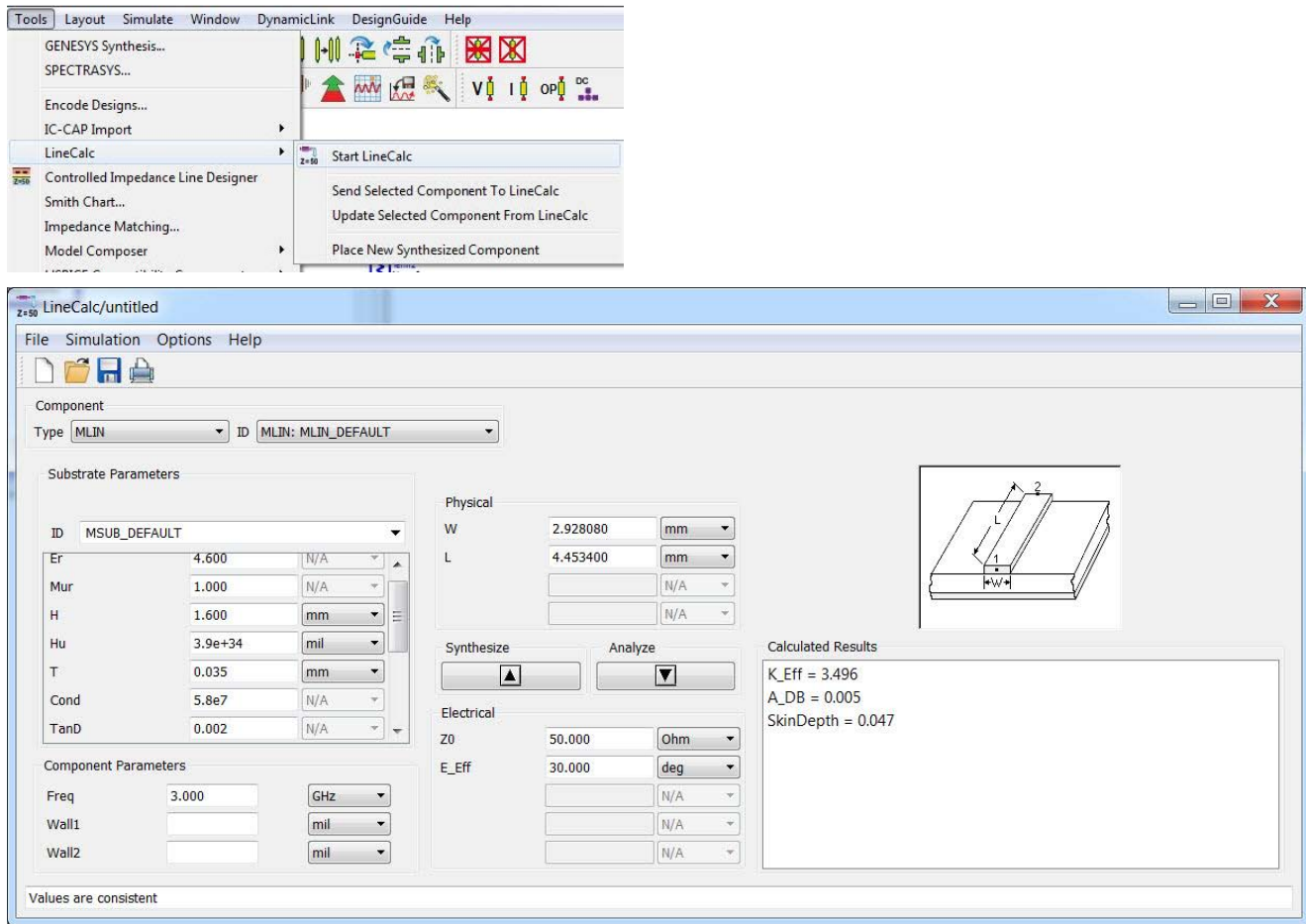


Рис. 135.

Создайте модель НЧ фильтра в окне топологии ADS. Модель можно создать, воспользовавшись доступными библиотечными компонентами либо нарисовав прямоугольники.

Для создания модели с применением библиотечных компонентов выберите библиотеку **TLines – Microstrip** (Линии передачи – Микрополосковые). Выберите из библиотеки подходящую микрополосковую линию и вставьте ее в окно топологии, как показано на рисунке:

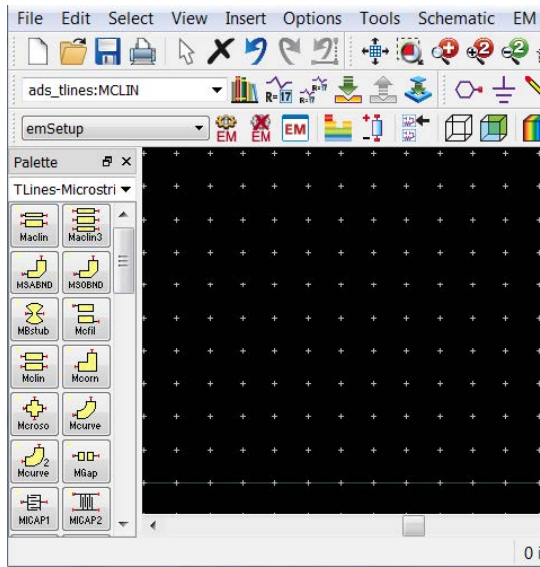


Рис. 136.

Завершите создание модели, соединив линии передачи так, чтобы сформировался НЧ фильтр со ступенчатым импедансом на основе выполненных ранее расчетов ширины и длины, как показано на рисунке ниже.

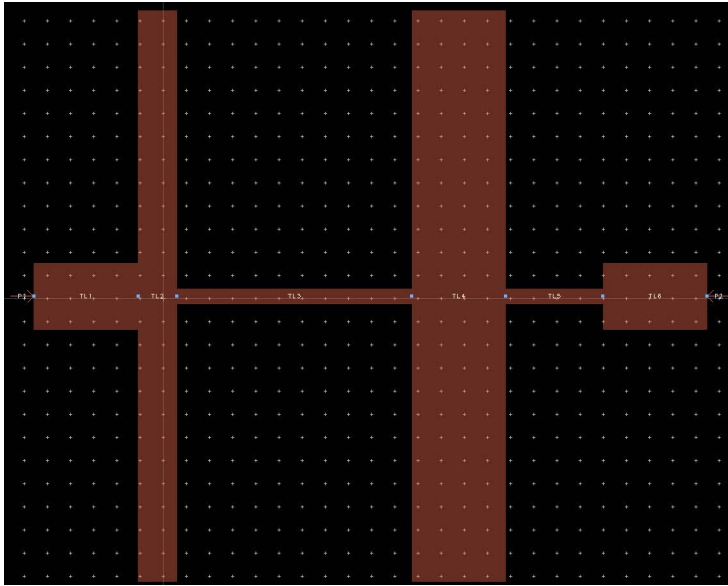


Рис. 137.

Подключите выходы (Pin) на входе и выходе, задайте структуру слоев подложки и настройте ЭМ симуляцию в соответствии с приведенным ранее описанием в разделе по ЭМ симуляции. Мы должны использовать следующие свойства структуры слоев:

- Er (Диэлектрическая проницаемость) = 4.6
- Height (Высота) = 4.6 mm
- Loss Tangent (Тангенс угла потерь) = 0.0023
- Metal Thickness (Толщина металла) = 0.035 mm
- Metal Conductivity (Проводимость металла) = Cu (5.8E7 S/m)

В окне настройки электромагнитной симуляции перейдите на вкладку **Options > Mesh** (Опции > Сетка) и включите опцию Edge Mesh (Краевая сетка).

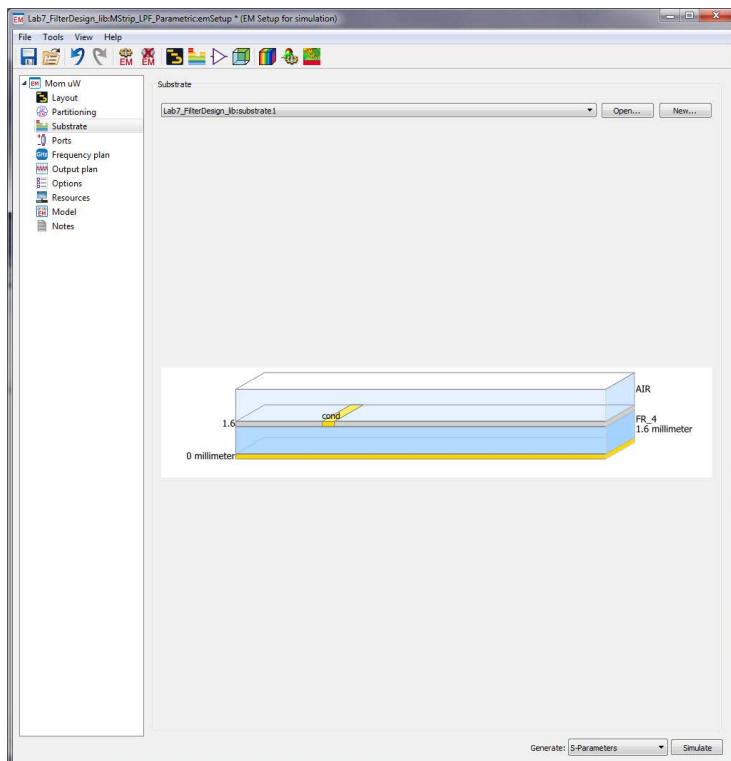


Рис. 138.

Нажмите кнопку Simulate (Симулировать) для просмотра характеристик S11 и S21.

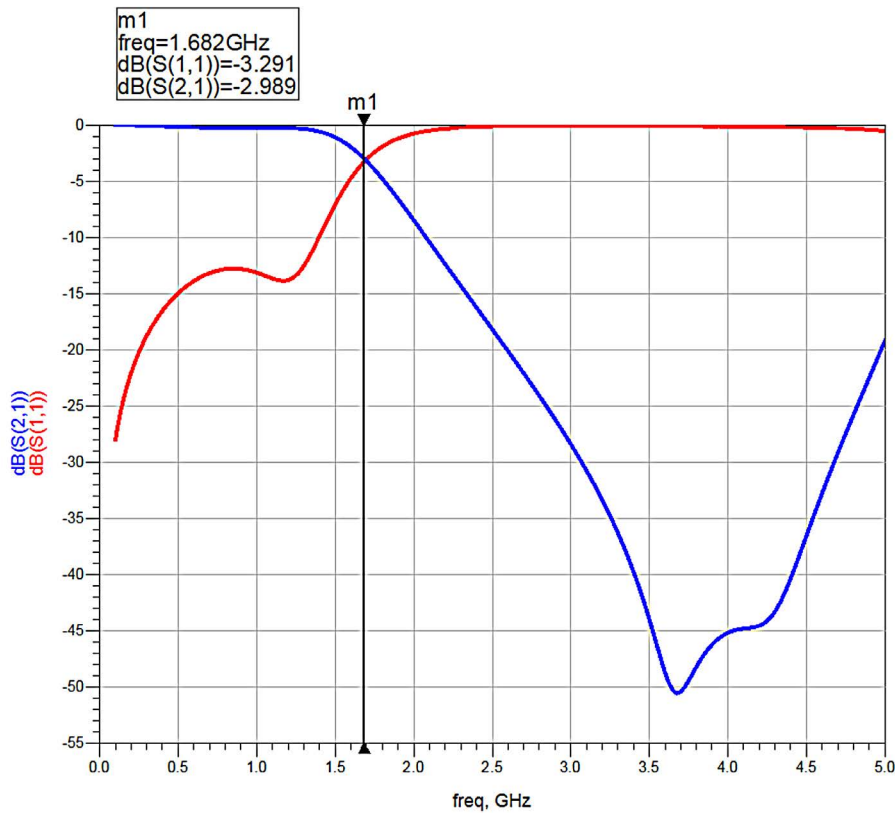


Рис. 139.

Можно заметить, что частота среза по уровню 3 дБ смещена к значению 1,68 ГГц вместо того, чтобы быть равной 2 ГГц, поскольку наши теоретические расчеты не позволяют точно проанализировать влияние открытого конца и резкого изменения импеданса в линиях передачи, поэтому длины линий необходимо оптимизировать для получения желаемой частоты среза 2 ГГц.

Эта оптимизация может быть проведена с помощью симулятора Momentum в ADS или путем параметрического свипирования длин емкостных и индуктивных линий.

Параметрическая электромагнитная симуляция в ADS

Для того, чтобы приступить к параметрической топологической симуляции, нам необходимо задать переменные параметры, которые должны быть связаны с компонентами топологии. Нажмите **EM > Component > Parameters** (Электромагнитная симуляция > Компонент > Параметры) в соответствии с рисунком ниже.

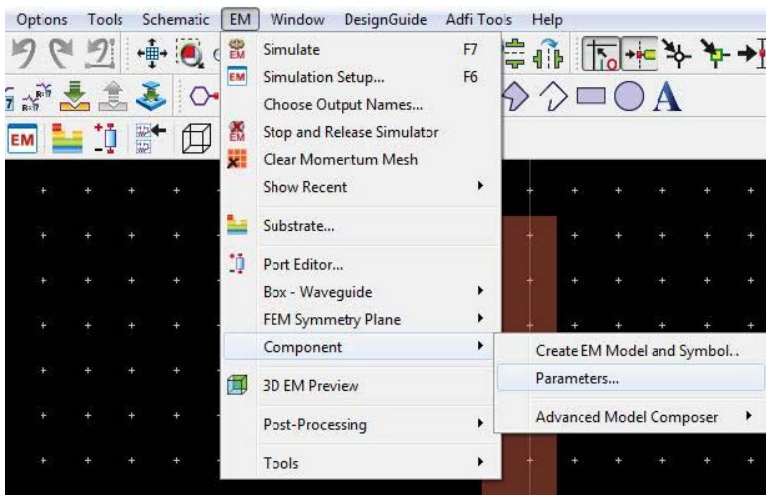


Рис. 140.

В открывшемся окне параметров задайте 4 переменных для емкостных и индуктивных линий и введите их номинальные значения с соответствующими единицами измерения. Задайте **Type (Тип) = Subnetwork (Подсхема)**, так как эти параметры будут относиться к компонентам библиотеки микрополосковых элементов, у которой есть параметрический шаблон. Если мы хотим использовать параметризацию для компонентов на основе полигонов или прямоугольников, мы можем выбрать метод Nominal/Perturbed (Номинальные значения/Отклонения), при котором требуется дополнительно уделить внимание способу параметризации компонентов.

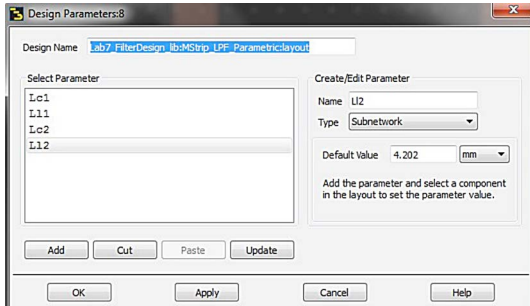


Рис. 141.

Когда параметры будут добавлены в список, дважды нажмите на соответствующие компоненты и введите имена соответствующих переменных. Обратите внимание, что здесь не требуется задавать единицы, поскольку мы их уже задали в списке переменных параметров. Пример для одного из компонентов показан на рисунке ниже:

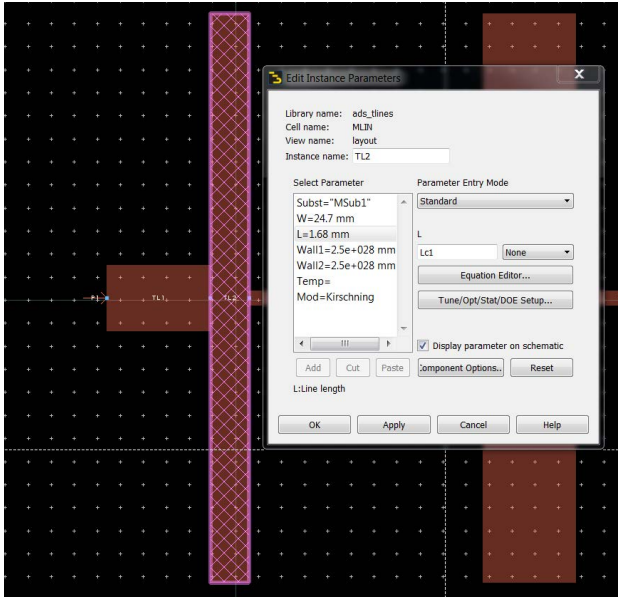


Рис. 142.

После задания всех значений параметров для желаемых компонентов топологии мы можем создать ЭМ модель и символ, которые можно затем использовать для параметрической совместной ЭМ симуляции в схеме. Для создания параметрической модели и символа для топологии, нажмите на опцию **EM > Component > Create EM Model and Symbol** (Электромагнитная симуляция > Создать электромагнитную модель и символ).

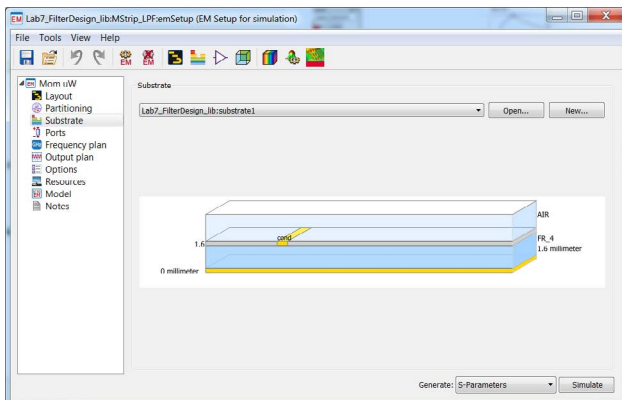


Рис. 143.

По завершении просмотрите содержание окна ADS, в котором под названием топологической ячейки отображается название ЭМ модели и символа, как показано ниже:

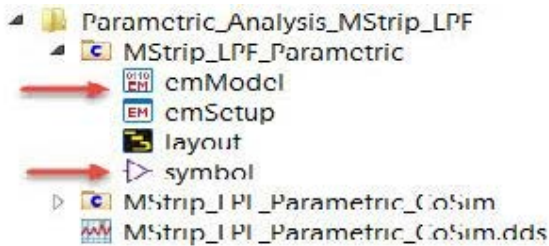


Рис. 144.

Откройте новую схмотехническую ячейку и, перетащив компонент emModel (ЭМ модель), вставьте его как подсхему. Вы увидите, что заданные параметры добавляются к компоненту emModel, для которого может быть затем выполнено свипирование с помощью обычного компонента Parameter Sweep (Свипирование параметра) в окне схемы ADS, как показано ниже. В данном случае мы задали переменные L1-L4 и связали их с компонентом emModel. Для начала мы выполним свипирование длины компонента L2 (1-я индуктивная линия) от 6,145 до 12,145 с шагом 1.

На этом этапе мы можем решить настроить оптимизацию, а затем оптимизировать переменные топологического компонента подобно любой другой оптимизации схемы. Однако заметьте, что электромагнитная оптимизация займет больше времени в сравнении с оптимизацией на основе схемы, но создаст более точную характеристику, поскольку электромагнитная симуляция будет выполняться для каждой комбинации.

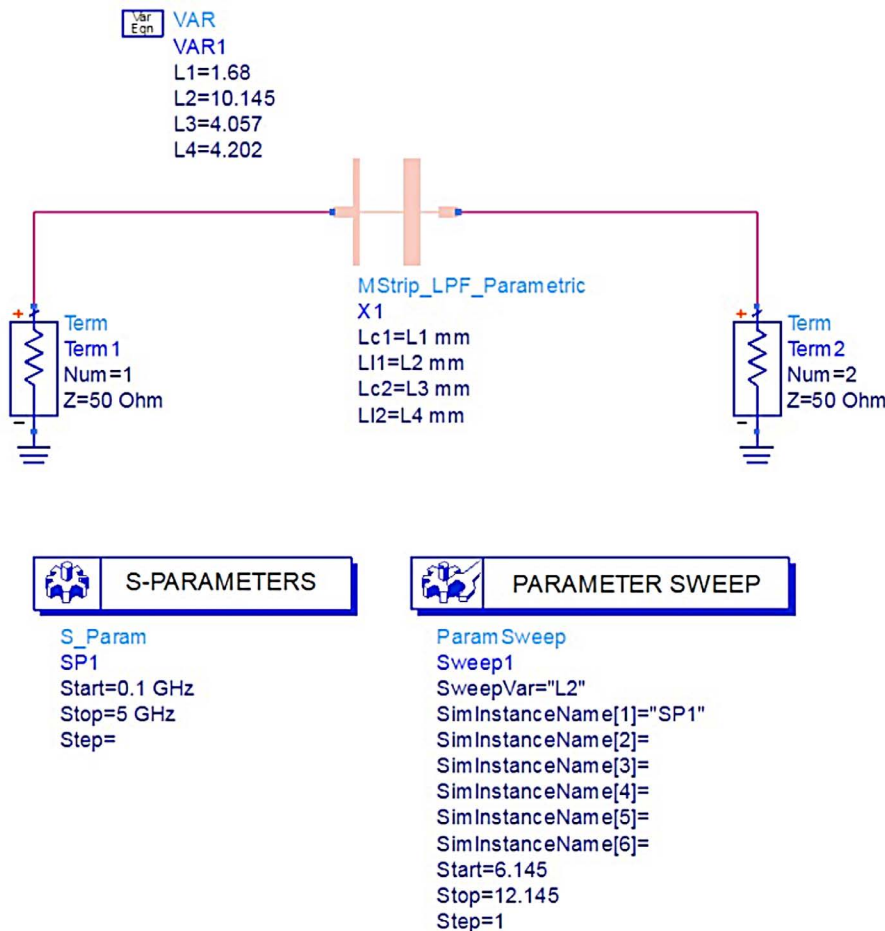


Рис. 145.

Нажмите на иконку **Simulate** (Симулировать) и постройте график в окне дисплея данных, чтобы увидеть, как меняется характеристика фильтра с изменением длины 1-й индуктивной линии.

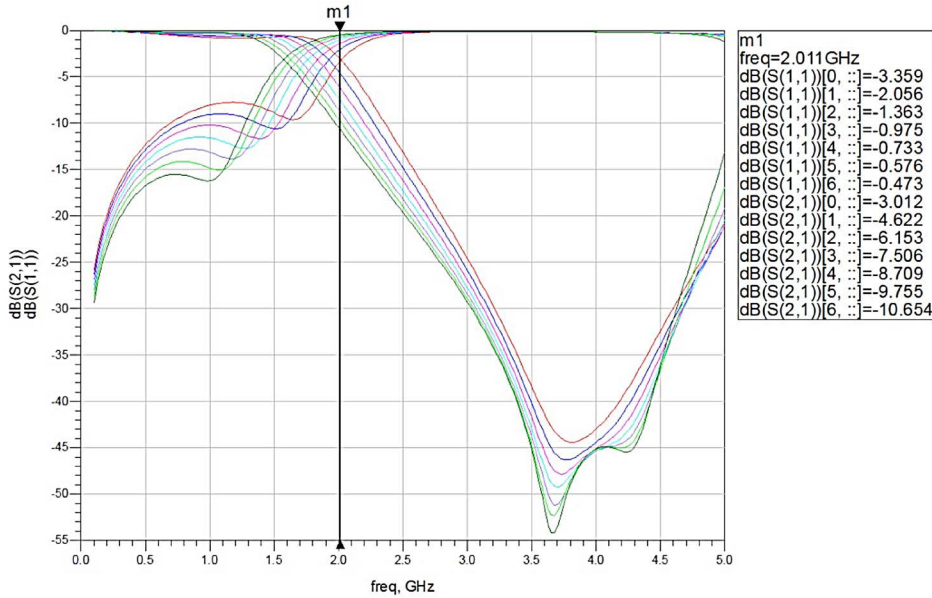


Рис. 146.

На дисплее данных мы можем видеть, что при 1-ом значении свипирования $L2$ частота среза по уровню 3 дБ составляет 2 ГГц, т. е. похоже, что правильное значение $L2=6,145$ мм.

Отключите свипирование параметра, измените значение $L2 = 6.145$ мм и вновь выполните симуляцию, чтобы посмотреть характеристику фильтра. Если от схемы ожидаются лучшие обратные потери, можно выполнить ее электромагнитную оптимизацию.

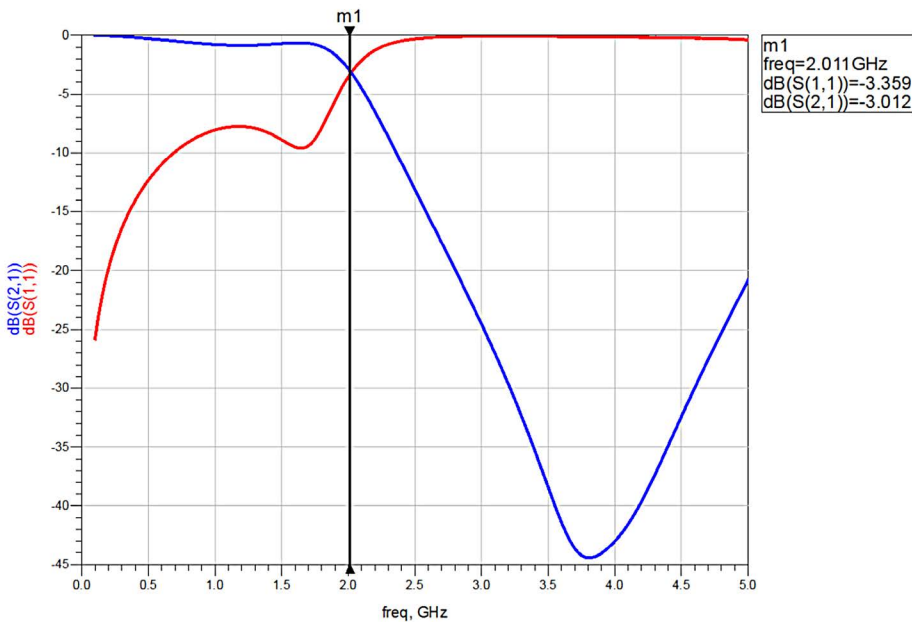


Рис. 147.

Результаты и данные наблюдения

В результате топологической симуляции было определено, что после параметрического электромагнитного анализа частота среза по уровню 3 дБ НЧ фильтра составляет 2 ГГц.

Симуляция полосового фильтра с сосредоточенными и распределенными параметрами в ADS

Номинальные характеристики

Верхняя частота среза (f_{c1})	: 1,9 ГГц
Нижняя частота среза (f_{c2})	: 2,1 ГГц
Колебания в полосе пропускания	: 0,5 дБ
Порядок фильтра	: 3
Тип аппроксимации	: Чебышева

Параметры прототипа фильтра

Параметры прототипа фильтра для аппроксимации Чебышева рассчитываются с помощью приведенных выше формул.

Для заданных технических характеристик фильтра параметры прототипа составляют:
 $g_1 = 1,5963$, $g_2 = 1,0967$ и $g_3 = 1,5963$

Модель фильтра с сосредоточенными параметрами

Значения сосредоточенных параметров полосового фильтра после масштабирования частоты и импеданса:

$$L'_1 = L_1 Z_0 / \omega_0 \Delta$$

$$C'_1 = \Delta / L_1 Z_0 \omega_0$$

$$L'_2 = \Delta Z_0 / \omega_0 C_2$$

$$C'_2 = C_2 / Z_0 \Delta \omega_0$$

$$L'_3 = L_3 Z_0 / \omega_0 \Delta$$

$$C'_3 = \Delta / L_3 Z_0 \omega_0 \quad \text{где } Z_0 = 50 \text{ Ом}$$

$$\Delta = (\omega_2 - \omega_1) / \omega_0$$

В результате получаются следующие значения сосредоточенных параметров:

$$L'_1 = 63 \text{ нГн}$$

$$C'_1 = 0,1004 \text{ пФ}$$

$$L'_2 = 0,365 \text{ нГн}$$

$$C'_2 = 17,34 \text{ пФ}$$

$$L'_3 = 63 \text{ нГн}$$

$$C'_3 = 0,1004 \text{ пФ}$$

Схема полосового фильтра на элементах с сосредоточенными параметрами приведена на следующем рисунке.

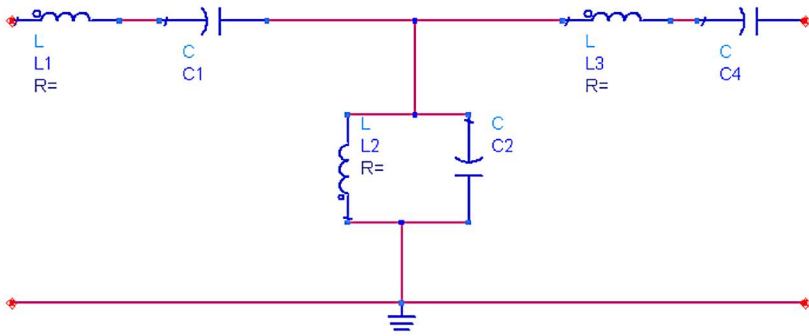


Рис. 148.

Модель фильтра с распределенными параметрами

Рассчитайте значение j исходя из параметров прототипа следующим образом:

$$\left[Z_0 j_1 = \sqrt{\frac{\pi \Delta}{2 g_1}} \right]$$

$$Z_0 j_n = \frac{\pi \Delta}{2 \sqrt{g_n - 1} g_n} \quad \text{для } n=2, 3, \dots, N,$$

$$Z_0 j_{N+1} = \sqrt{\frac{\pi \Delta}{2 g_N g_{N+1}}}$$

где $\Delta = (\omega_2 - \omega_1) / \omega_0$

Z_0 = характеристический импеданс = 50 Ом

Значения импедансов четных и нечетных мод могут быть рассчитаны следующим образом:

$$z_{0e} = z_0 [1 + jz_0 + (jz_0)^2]$$

$$z_{0o} = z_0 [1 + jz_0 + (jz_0)^2]$$

Порядок действий при схематехнической симуляции полосового фильтра с сосредоточенными параметрами

Откройте окно схемы ADS и соберите полосовой фильтр с сосредоточенными параметрами, как показано ниже. Задайте следующие настройки симуляции S-параметров: от 1 ГГц до 3 ГГц с шагом 5 МГц (401 точка).

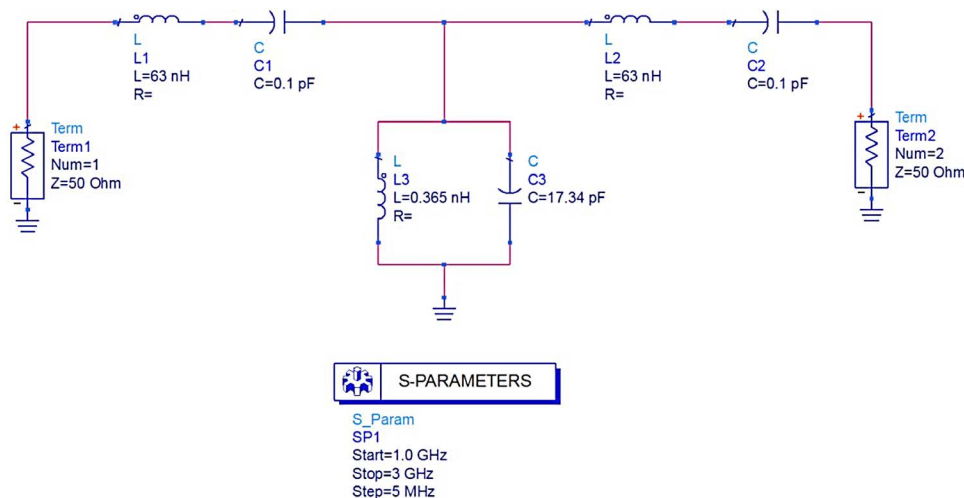


Рис. 149.

Нажмите на иконку **Simulate** (Симулировать) для просмотра показанного ниже графика:

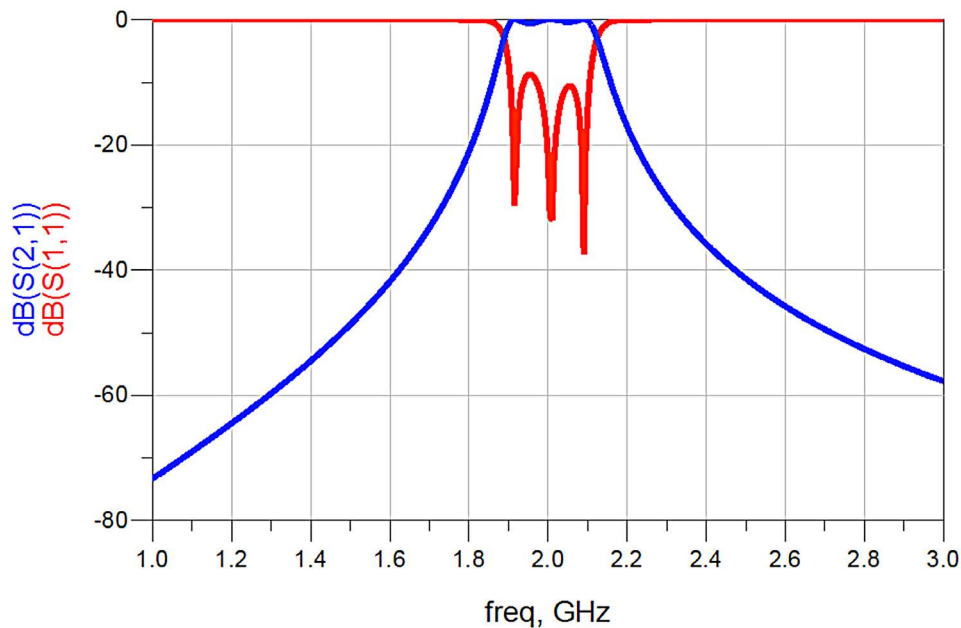


Рис. 150.

Результаты и данные наблюдения

В результате схемотехнической симуляции было определено, что модель полосового фильтра с сосредоточенными параметрами имеет нижнюю частоту среза 1,9 ГГц, верхнюю частоту среза 2,1 ГГц и крутизну среза, соответствующие техническим характеристикам.

Порядок действий при топологической симуляции полосового фильтра с распределенными параметрами

Рассчитайте значения импедансов полосового фильтра для нечетных и четных мод (Z_{0o} и Z_{0e}) по приведенной выше процедуре разработки фильтра. Синтезируйте геометрические параметры (длину и ширину) связанных линий для толщины подложки 1,6 мм и диэлектрической проницаемости 4,6.

Геометрические параметры связанных линий для данных значений Z_{0o} и Z_{0e} следующие:

Толщина подложки: 1,6 мм
 Диэлектрическая проницаемость: 4,6
 Частота: 2 ГГц
 Электрическая длина: 90 градусов

Участок 1: $Z_{0o} = 36,23$, $Z_{0e} = 66,65$
 Ширина = 2,545
 Длина = 20,52
 Зазор = 0,409

Участок 2: $Z_{0o} = 56,68$, $Z_{0e} = 44,73$
 Ширина = 2,853
 Длина = 20,197
 Зазор = 1,730

Участок 3: $Z_{00} = 56,68$, $Z_{0e} = 44,73$
 Ширина = 2,853
 Длина = 20,197
 Зазор = 1,730

Участок 4: $Z_{00} = 36,23$, $Z_{0e} = 66,65$
 Ширина = 2,545
 Длина = 20,52
 Зазор = 0,409

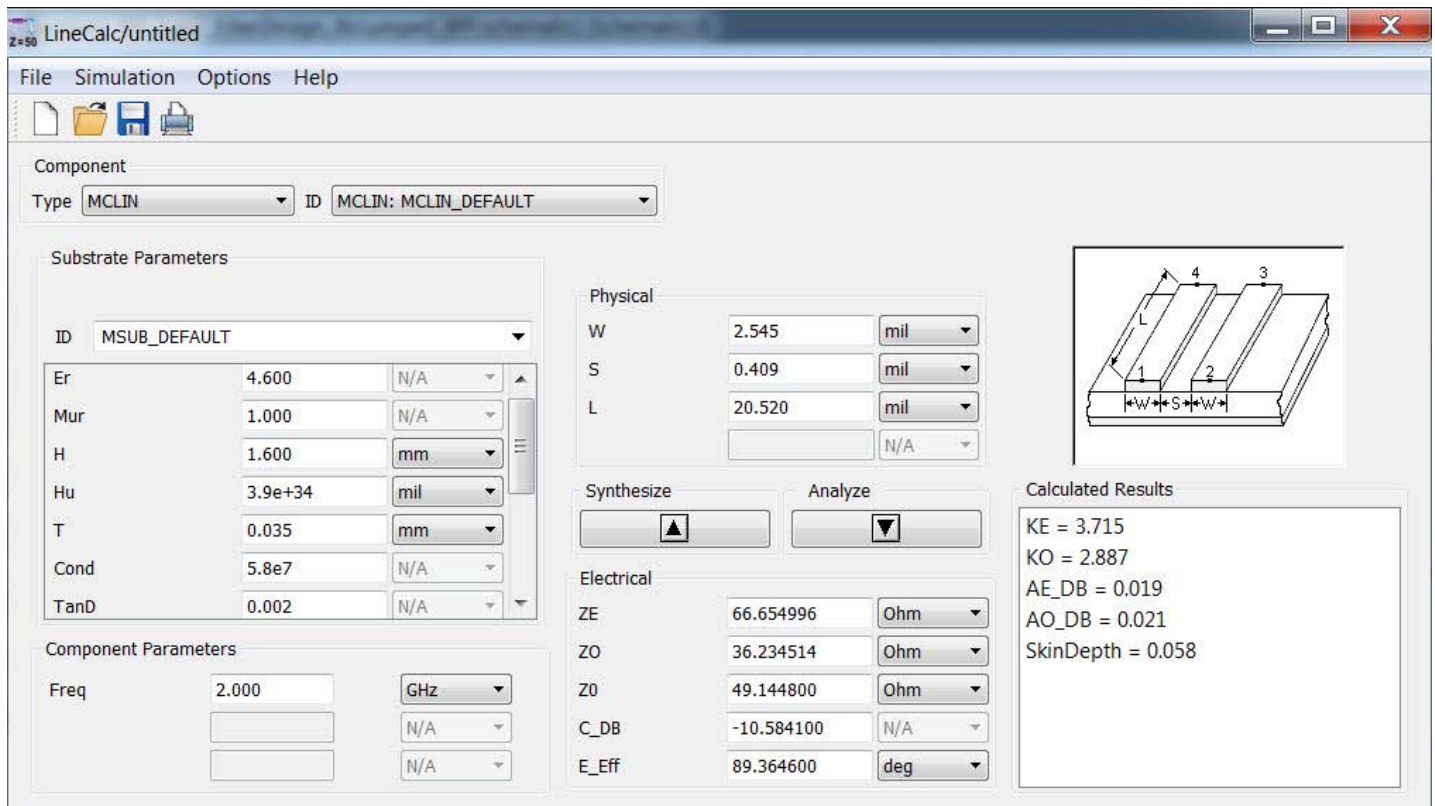


Рис. 151.

Рассчитайте длину и ширину линии 50 Ом с помощью окна **linecalc** (Калькулятор линий) ADS, как это делалось ранее.

- Линия 50 Ом:
- Ширина: 2,9 мм
- Длина: 5 мм

Создайте модель полосового фильтра в окне топологии ADS. Модель можно создать, воспользовавшись доступными библиотечными компонентами либо нарисовав прямоугольники.

Для создания модели с применением библиотечных компонентов выберите компонент MCFIL из библиотеки TLines – Microstrip (Линии передачи – Микрополосковые). Выберите из библиотеки подходящий тип микрополосковой линии и вставьте ее в окно топологии, как показано на рис. 152.

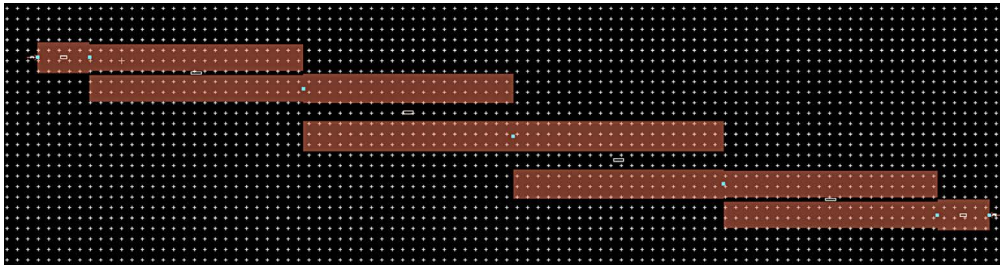


Рис. 152.

Настройте электромагнитную симуляцию по указанной ранее процедуре для диэлектрика FR4 толщиной 1,6 мм и выполните симуляцию Momentum от 1 ГГц до 3 ГГц. Не забудьте включить опцию Edge Mesh (Краевая сетка) на вкладке **Options > Mesh** (Опции > Сетка) окна **EM Setup** (Настройка электромагнитной симуляции).

По завершении симуляции постройте характеристики S11 и S21 полосового фильтра, как показано ниже:

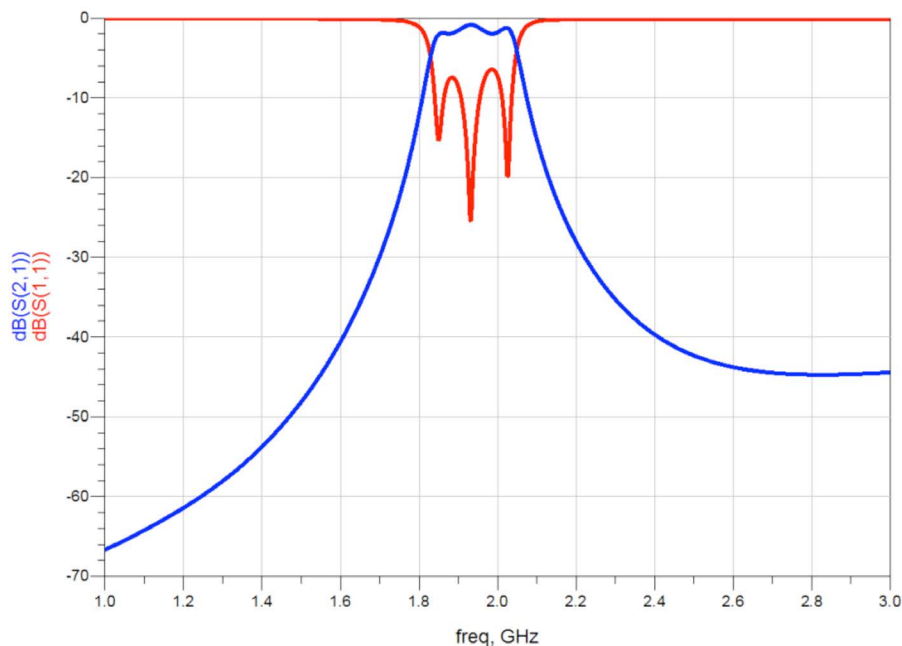


Рис. 153.

Результаты и данные наблюдения

Результаты для фильтра на элементах с сосредоточенными параметрами хорошие, но необходима симуляция этой схемы и, возможно, ее повторная оптимизация с применением библиотек компонентов поставщиков, и нам требуется выполнить симуляцию с анализом выхода годных, чтобы учесть разброс характеристик, который может быть вызван допусками сосредоточенных компонентов.

Что касается фильтра с распределенными параметрами, для получения лучших характеристик полосового фильтра, если это потребуется из-за того, что электромагнитная симуляция указывает на небольшое ухудшение рабочих характеристик полосового фильтра, мы можем дополнительно оптимизировать его конструкцию, воспользовавшись схмотехническим симулятором или электромагнитным симулятором Momentum.

Поздравляем! Вы завершили раздел «Разработка СВЧ-фильтра на дискретных элементах и микрополоскового СВЧ-фильтра». Дополнительные примеры вы найдете здесь:

www.Keysight.com/find/eesof-ads-rfmw-examples

Download your next insight

Программное обеспечение компании Keysight является воплощением профессионального опыта и знаний ее сотрудников. Мы готовы обеспечить вас инструментами, которые помогут сократить сроки сбора первичных данных и принятия решения на всех этапах – от предварительного моделирования изделия до отгрузки готового продукта заказчику.

- Системы автоматизированного проектирования (САПР) радиоэлектронных устройств
- Прикладные программы
- Среды программирования
- Программные утилиты



Более подробная информация:

www.keysight.com/find/software

Бесплатная пробная лицензия на 30 дней:

www.keysight.com/find/free_trials

Российское отделение Keysight Technologies

115054, Москва, Космодамианская наб., 52, стр. 3

Тел.: +7 (495) 7973954,
8 800 500 9286 (Звонок по России
бесплатный)

Факс: +7 (495) 7973902

e-mail: tmo_russia@keysight.com

www.keysight.ru

Сервисный Центр Keysight Technologies в России

115054, Москва, Космодамианская наб., 52, стр. 3

Тел.: +7 (495) 7973930

Факс: +7 (495) 7973901

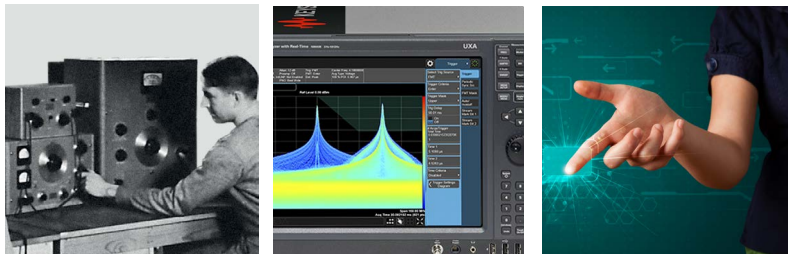
e-mail: tmo_russia@keysight.com

(BP-06-08-16)

Развитие

Уникальное сочетание передового контрольно-измерительного оборудования, программных решений и опыта наших сотрудников способствует рождению революционных технологий.

Мы разрабатываем измерительные технологии с 1939 года.



От Hewlett-Packard и Agilent к Keysight



myKeysight

myKeysight

www.keysight.com/find/mykeysight

Персонализированное представление наиболее важной для Вас информации



Unlocking Measurement Insights

Информация может быть изменена без уведомления.

© Keysight Technologies, 2016
Published in USA, June 16, 2016
5992-1624RURU

www.keysight.com