


Базовое знакомство с Genesys. Инструмент MFilter


Оглавление


Общая информация	1
Создание и настройка мастера MFilter	2
Схемная оптимизация	7
ЕМ-анализ и оптимизация	11
Литература.....	21


Общая информация

В GENESYS присутствует несколько мастеров синтеза фильтров:

 Passive Filter. Простой базовый инструмент синтеза фильтров на дискретных компонентах (индуктивностях и емкостях). Построен на основании метода фильтра-прототипа.

 Active Filter. Усложнённая версия Passive Filter, предназначенная для синтеза активных фильтров на операционных усилителях.

 S/Filter. Наиболее полная версия синтезатора фильтров, позволяющая провести весь список этапов, от выбора аппроксимирующей функции и задания дополнительных нулей и полюсов, до ручного преобразования компонентов.

 Microwave Filter. Специализированный на полосковое представление мастер синтеза ВЧ-фильтров. Автоматически генерирует топологию и создает оптимизацию для подбора размеров компонентов.

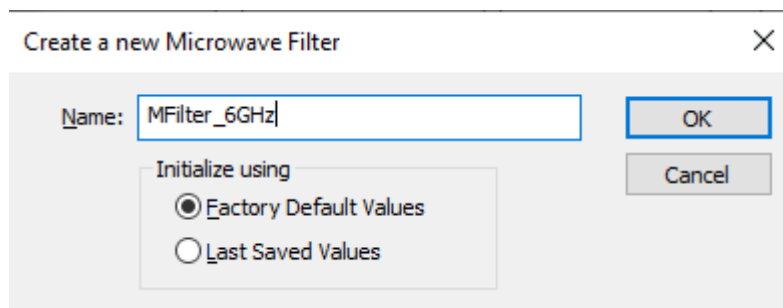
Для быстрого проектирования микрополосковых фильтров наиболее удобен мастер MFilter.

Спроектируем фильтр с центральной частотой 6 ГГц, с полосой пропускания ± 250 МГц и уровнем 3 дБ, с полосой заграждения ± 800 МГц и уровнем 30 дБ. В качестве подложки выберем RO4003 толщиной 0,508 мм с толщиной металлизации 17 мкм.

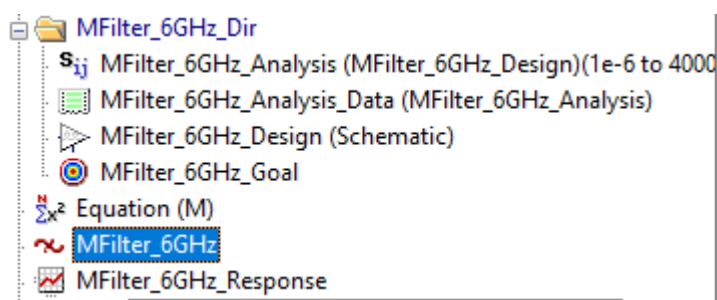
Создание и настройка мастера MFilter

Как и все синтезаторы, MFilter создается через Add – Syntheses – Microwave Filter в дереве проекта.

Назовем MFilter_6GHz.

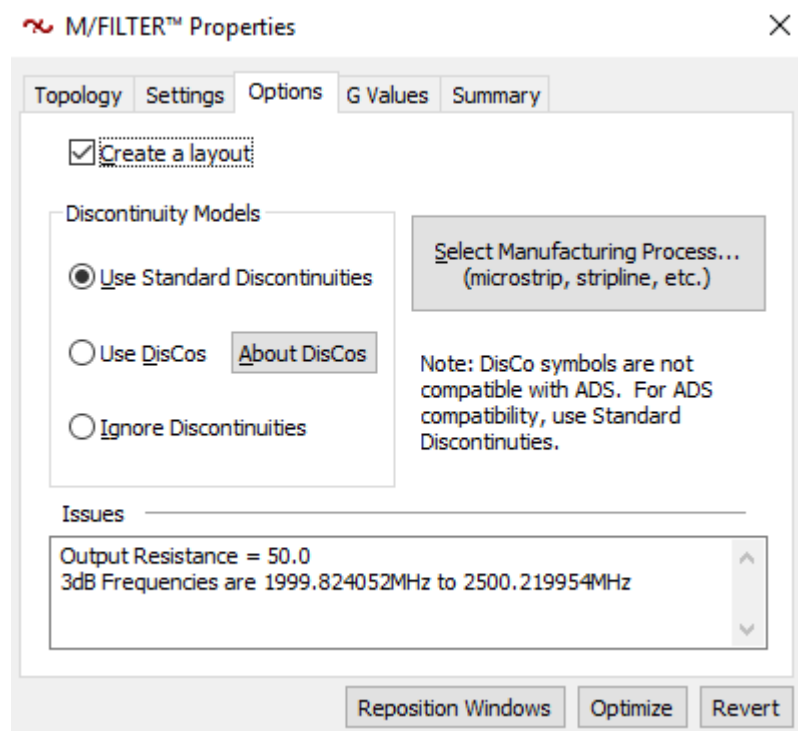


Сразу откроется основное окно мастера MFilter. Также создастся папка MFilter_6GHz_Dir, в которой будет располагаться схематик MFilter_6GHz_Design, линейный анализатор MFilter_6GHz_Analysis, датасет с результатами MFilter_6GHz_Analysis_Data и оптимизатор MFilter_6GHz_Goal. Снаружи этой папки хранится сам мастер MFilter_6GHz и прямоугольный график MFilter_6GHz_Response с S21 и S11.

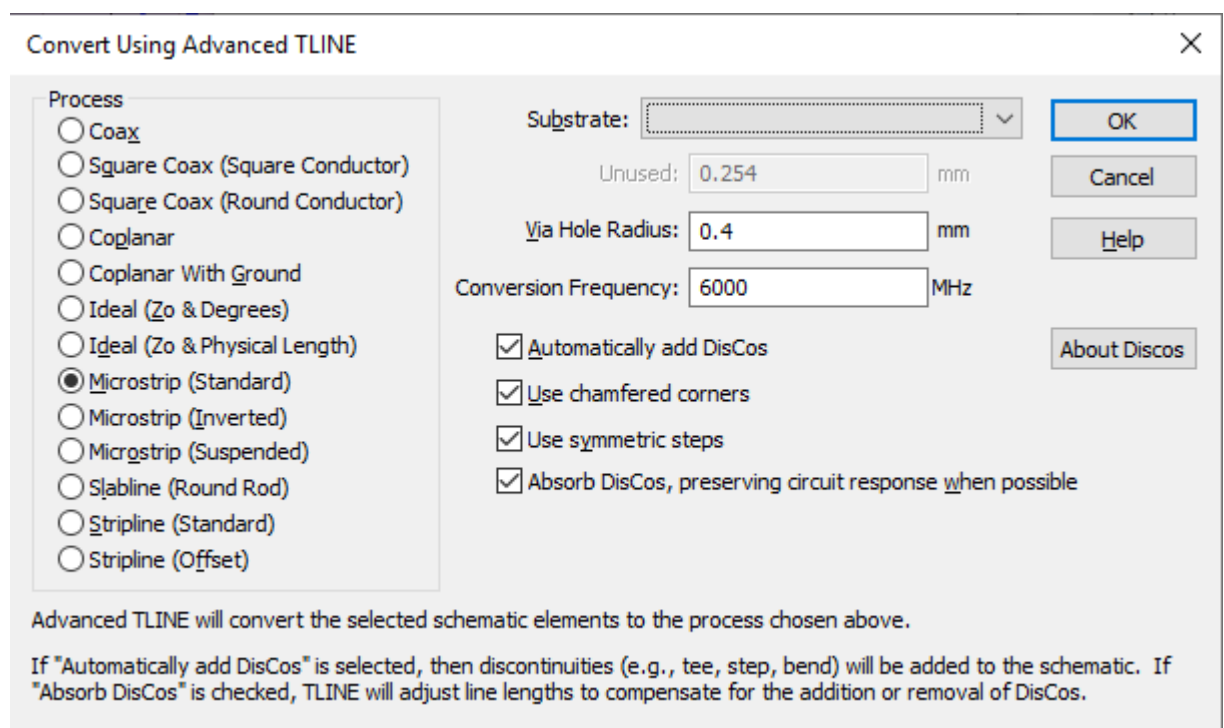


В окне мастера MFilter_6GHz нужно выбрать первоначальные настройки проектируемого фильтра.

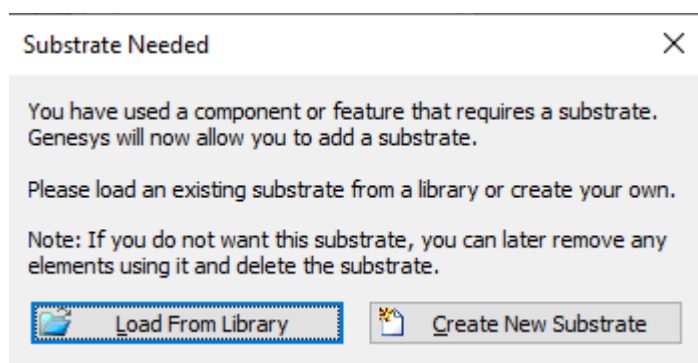
На вкладке Options выберем, что фильтр мы моделируем на микрополосковых структурах. Для этого включим галку Create a layout, для совместимости с ADS в списке Discontinuity Models выберем использование стандартных моделей неоднородностей (Use Standard Discontinuities).



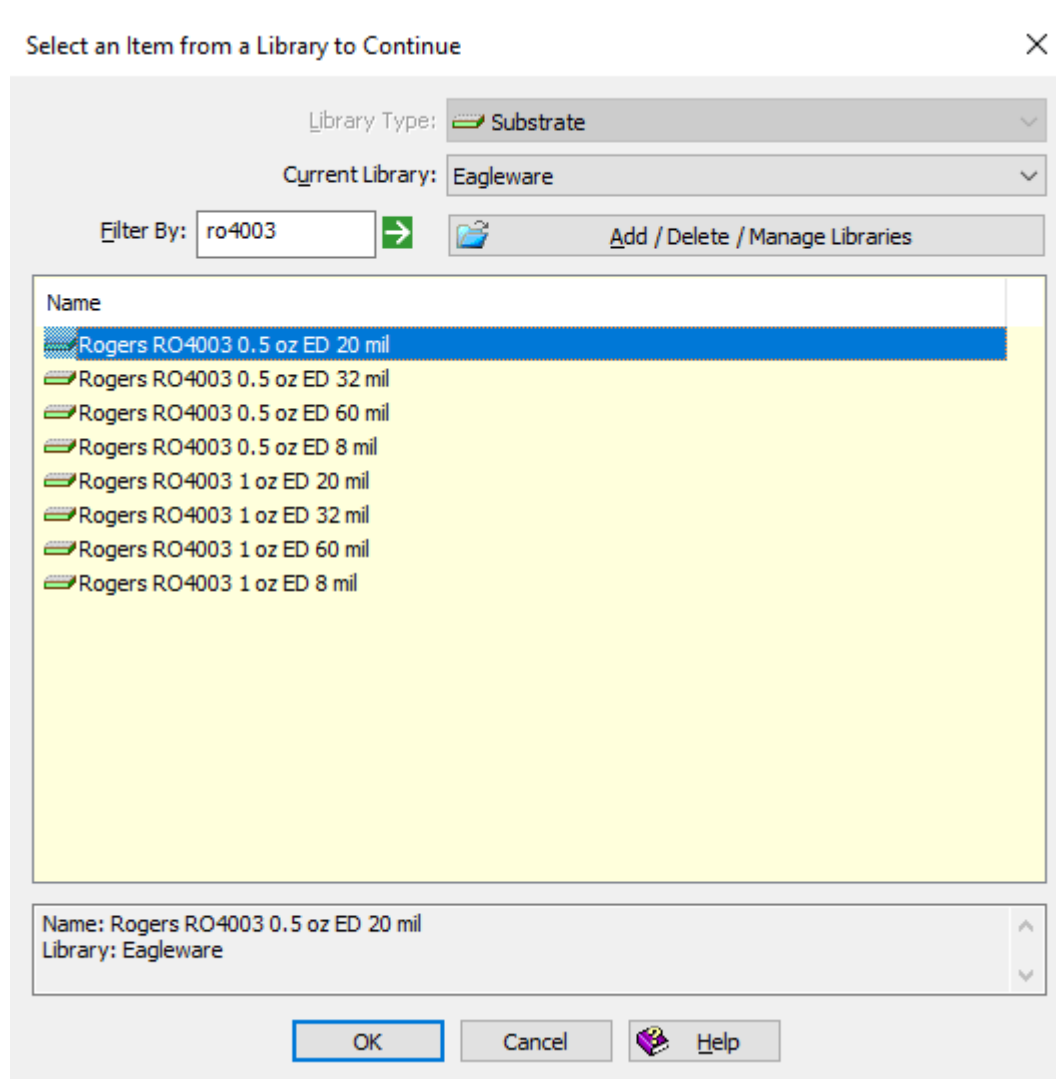
По кнопке Select Manufacturer Process выберем тип линии передачи Process = Microstrip (Standard), установим частоту конвертирования 6000 МГц и размер отверстия по умолчанию 0,4 мм.



Т.к. в проекте еще нет подгруженных подложек (чтобы выбрать из списка Substrate), то после нажатия на ОК откроется окно выбора подгрузки из библиотеки или создания подложки. Выберем Load From Library.

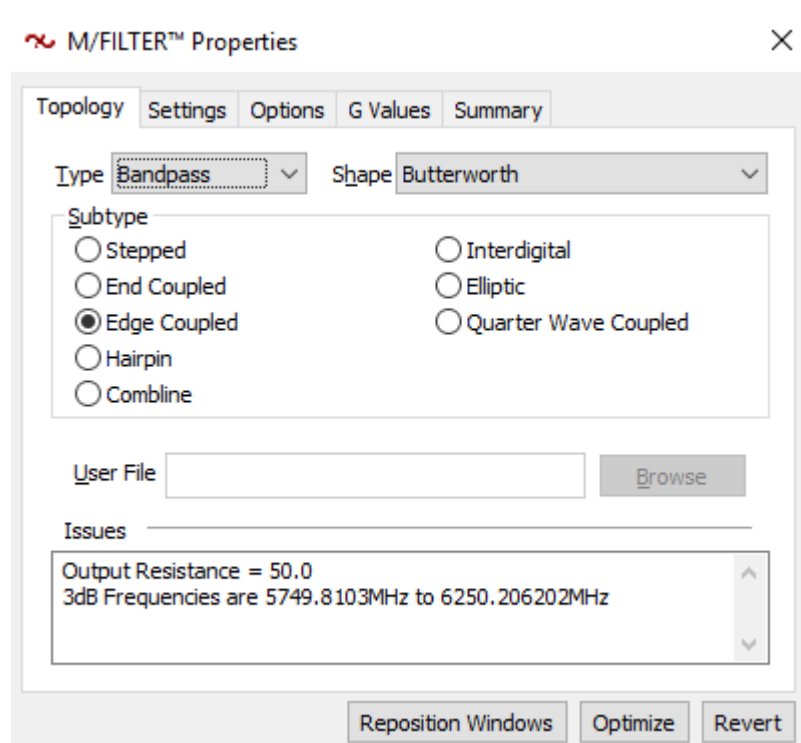


При установке по умолчанию доступна только одна библиотека материалов Eagleware. В ней найдем подложку «Rogers RO4003 0.5 oz ED 20 mil». Это есть искомая подложка.



На вкладке Topology выбирается тип фильтра (ФНЧ, ФВЧ, ППФ или ПЗФ), вид аппроксимирующей функции (Батерворта, Чебышева и пр.) и базовая топология (поле Subtype). Для текущего фильтра остановимся на

ППФ, с аппроксимацией Батерворта, топологией на связанных линиях (Edge Coupled).



Далее на вкладке Settings настроим желаемые электрические параметры и внесем некоторые ограничения.

Установим нижнюю и верхнюю частоты среза Low и High Freq Cutoff как 5750 МГц и 6250 МГц. Уровень среза Attenuation at Cutoff установим как 2,7 дБ. Типовую ширину резонатора Desired Resonator Z (60 Ом), коэффициент сдвига Slide Factor (0) и способ соединения с первым резонатором (Tapped=True) оставим по умолчанию. Эти параметры по умолчанию подобраны неплохо, с ними надо работать только если первая прикидочная топология не получается (слишком большие или маленькие ширины и зазоры, не проходит по ТЗ на АЧХ и пр.).

Осталось выбрать порядок фильтра Order. По кнопке Estimate Order в новом окне вводятся желаемые точки на АЧХ фильтра, и для выбранной аппроксимации рассчитывается минимальный допустимый порядок. Дополнительно к параметрам частоты среза введем желаемые ослабления на границе полосы запираания. Расчет выдает, что необходимый порядок 3,7, округляем до 4.

Estimate Order

Enter passband and attenuation requirements below. The filter order will be estimated based on the requirements entered and displayed in the Output window below.

Type: Bandpass OK

Shape: Butterworth all pole Help Cancel

Variable	Value
Cutoff Attenuation (dB)	2.7
Lower Cutoff Freq (MHz)	5750
Upper Cutoff Freq (MHz)	6250

	Frequency	Attenuation
1	5200	35
2	6800	35
3		
4		

Output

Required Order = 3.696458
 3dB Lower Frequency = 5745.516108
 3dB Upper Frequency = 6254.877599

Вводим рассчитанный порядок в поле Order.

M/FILTER™ Properties

Topology Settings Options G Values Summary

Input Resistance	50
Attenuation at Cutoff (dB)	2.7
Order	4
Low Freq Cutoff (MHz)	5750
High Freq Cutoff (MHz)	6250
Desired resonator Z	60
Slide factor	0
Tapped	<input checked="" type="checkbox"/>

☒ Auto Adjust Frequency Range Estimate Order...

Issues

Output Resistance = 50.0
 3dB Frequencies are 5745.516108MHz to 6254.877599MHz

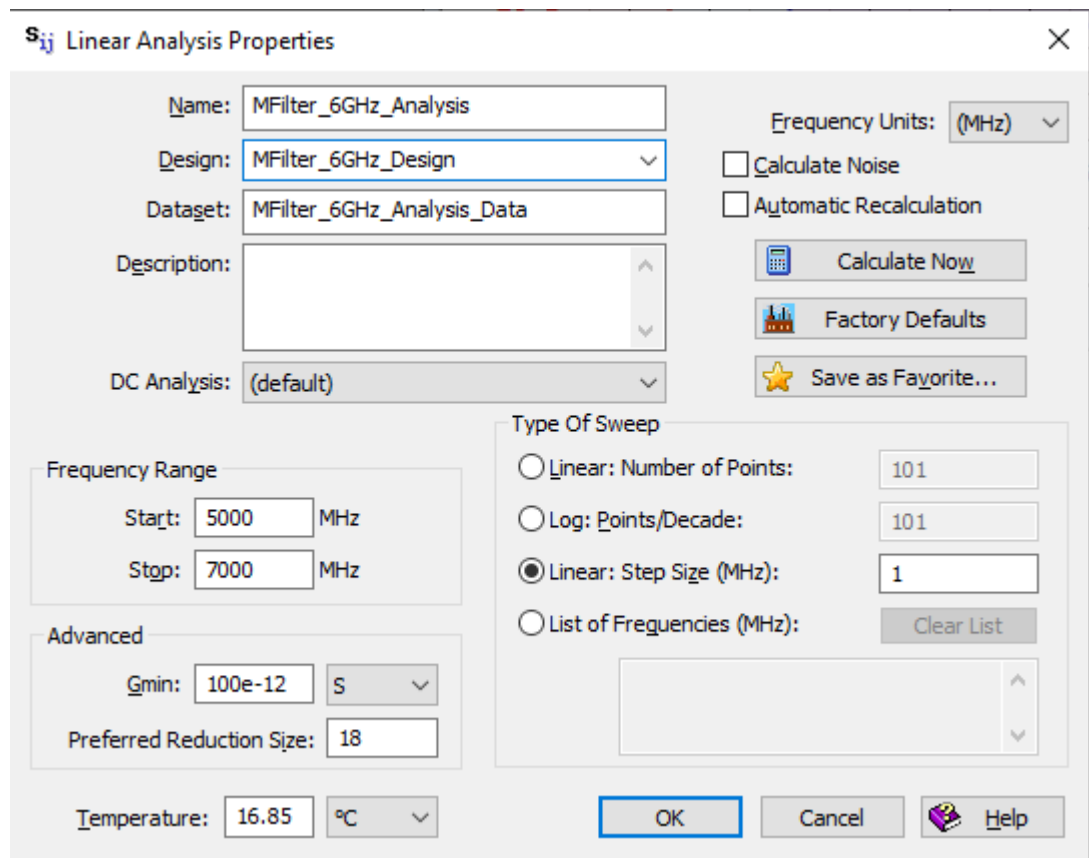
Reposition Windows Optimize Revert

Далее в принципе можно нажимать на кнопку Optimize, и тогда запустится оптимизация по заданным параметрам. Однако мастер создает

цели на оптимизацию несколько странно и избыточно, их надо немного подправить.

Схемная оптимизация

Закрываем мастер MFilter и открываем настройки анализатора MFilter_6GHz_Analysis. В нем изменяем диапазон частот на от 5000 МГц до 7000 МГц с шагом 1 МГц. Нам это нужно, чтобы в расчет попадали границы полосы запираания 5200 МГц и 6800 МГц. Также отключаем расчет шума (Calculate Noise), он в текущей симуляции не нужен.



Затем переходим к настройкам оптимизации MFilter_6GHz_Goal.

На вкладке Goals подправим цели:

- S11 в полосе пропускания пусть будет не более -14 дБ (КСВН = 1,5).

Исходное требование на -30 дБ очень сильное и не будет выполнено точно.

- S21 в полосе пропускания установим не менее -2,7 дБ. Исходное -1 дБ сложновато для такой комбинации подложки, выбранной топологии и частот, а нас устроит и 3 дБ.

- установим желаемые границы полосы запираания для S21 вместо автоматически сгенерированных из аппроксимации. Нижняя от 5000 МГц до 5200 МГц, верхняя от 6800 МГц до 7000 МГц.

Optimization Properties

General Goals Variables Method

Default Dataset or Equations: MFilter_6GHz_Analysis_Data

Use	Measurement	Op	Target	Target Units	Weight	Min	Max	Units
<input checked="" type="checkbox"/>	S11	<	-14	dB	1	5750	6250	(MHz)
<input checked="" type="checkbox"/>	S21	>	-2.7	dB	1	5750	6250	(MHz)
<input checked="" type="checkbox"/>	S21	<	-30	dB	1	5000	5200	(MHz)
<input checked="" type="checkbox"/>	S21	<	-30	dB	1	6800	7000	(MHz)
<input checked="" type="checkbox"/>		<		None				None

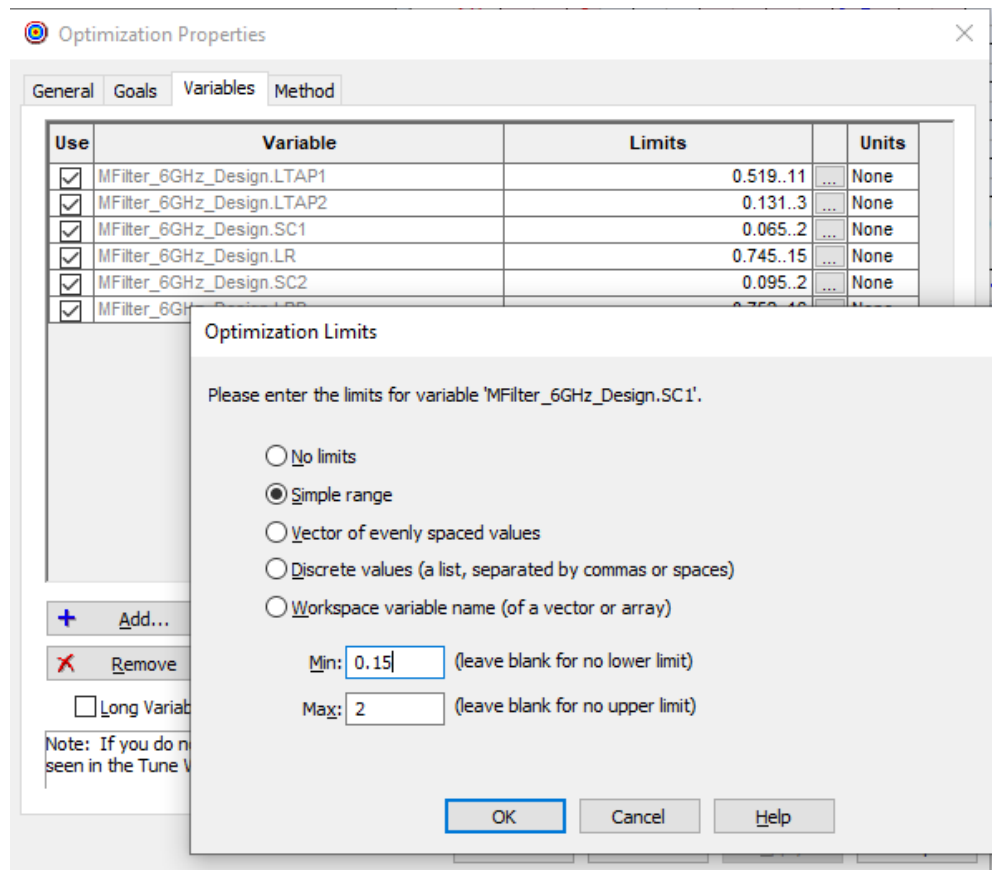
Stopping Condition

Current Error is: 43.8626

Stop if the Total Error is less than: 0

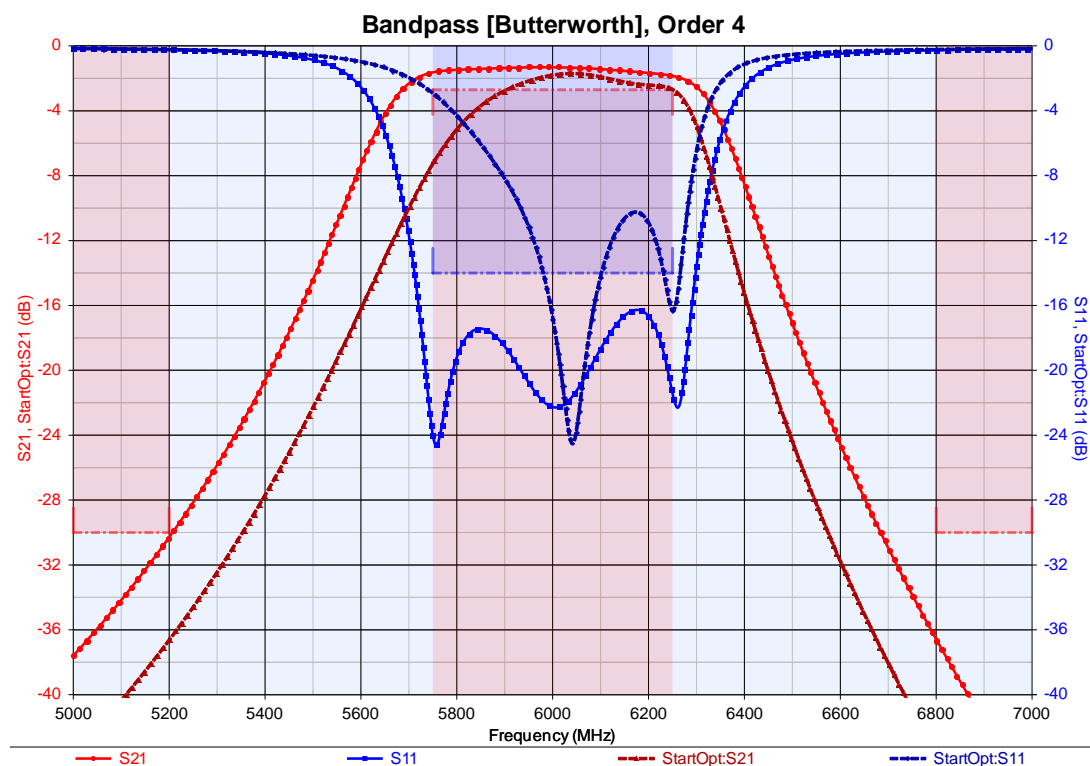
Note: Units and Current Error cannot be calculated without corresponding dataset(s) and goal variable(s). Please see Help for more info.

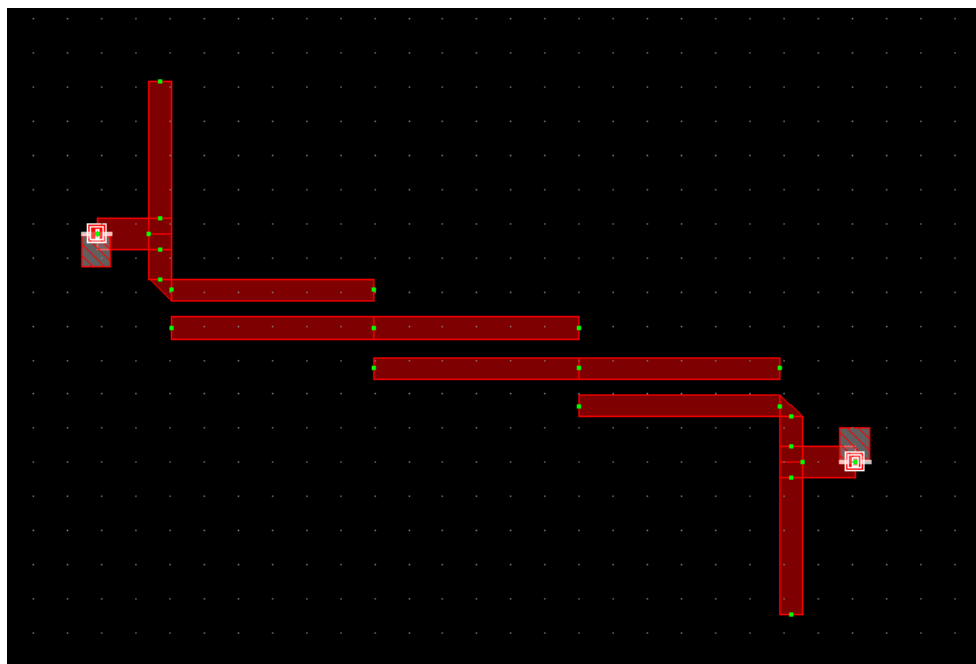
Также стоит проверить, какие ограничения наложены на сгенерированные переменные (вкладка Variables). Видно, что нижняя граница переменных зазоров SC1 и SC2 маловаты, меньше допустимых технологически значений. Как какая переменная используется можно узнать, открыв топологический вид схемы MFilter_6GHz_Design. Увеличим эту границу до 0,15, тип диапазона оставим Simple. Остальные диапазоны переменных выглядят нормально. Однако, если при оптимизации не получается выполнить ТЗ, то возможно придётся править и диапазоны переменных.




Далее надо один раз запустить расчет MFilter_6GHz_Analysis (ПКМ - Run), чтобы на графике обновились диапазоны по частоте. Далее можно запускать оптимизатор MFilter_6GHz_Goal (ПКМ - Run).

Схемная оптимизация пройдет довольно быстро.



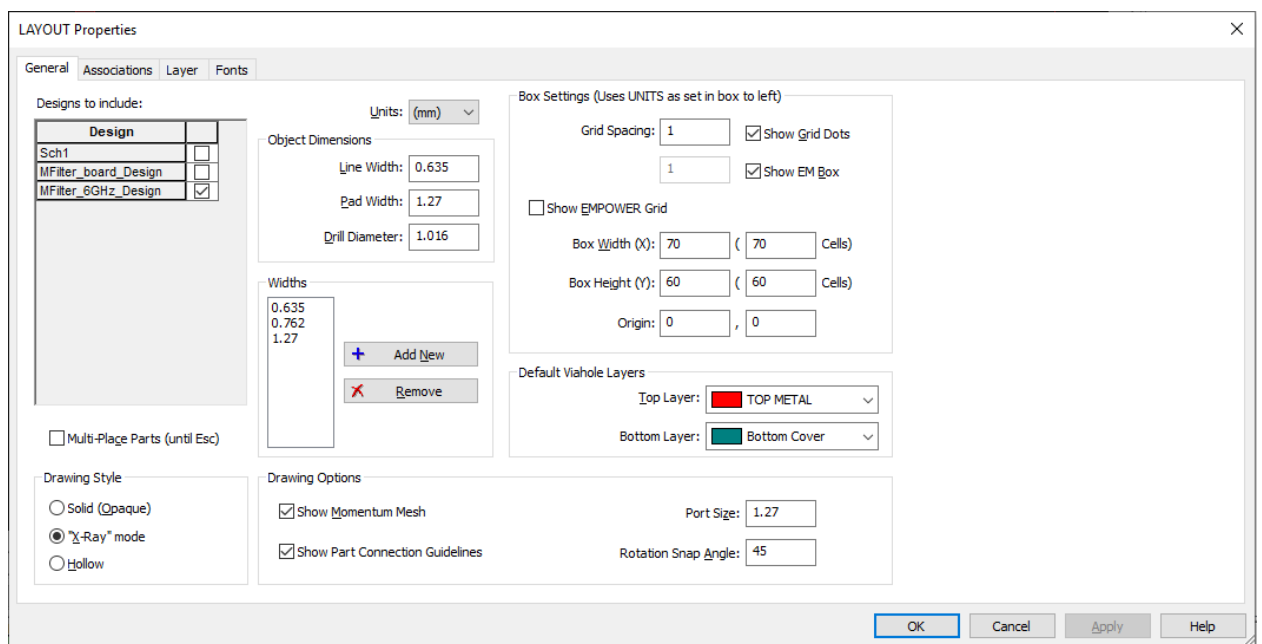
[illegible]

После окончания оптимизации надо в панели Tune Window по кнопке  Accept the Tuned Settings (F2) принять изменения, чтобы в результатах остались только финальные найденные значения переменных и удалились исходные.

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

ЕМ-анализ и оптимизация

Подготовим топологию к электромагнитному анализу. В топологическом представлении по команде Layout – Layout Properties (или ДЛКМ в пустом месте в топологии) перейдем к настройкам топологии. На вкладке General установим единицы mm, и шаг сетки в 1 мм.



На вкладке Layer включим галку Show All и настроим стек для ЕМ-моделирования:

- у слоя Top Cover надо выставить тип Type = Open (свободное пространство);
- слою Air Above надо оставить электрические параметры воздуха ($\epsilon_r = 1$, $\tan\delta/\sigma = 0$, $\mu_r = 0$) и установить достаточно большую толщину, чтобы слой Top Cover не влиял на расчеты. Установим толщину Height = 250 мм. Также

этот слой должен быть включен (галка Use установлена, далее будем обозначать такое как Use = true);

- слой TOP METAL должен быть включен (Use = true), параметры разбиения и модели пусть будут глобальными (Use Layer Mesh = false, Use Layer TL = false, Edge Mesh = Default, Strip Model = Default, Thick Metal = Thin). Также, чтобы не задавать материал металла и его толщину, сошлемся на уже существующее в проекте определение подложки (Type = Sub: Rogers RO4003 0.5 oz ED 20 mil);

- слой SUBSTRATE должен быть включен (Use = true), чтобы не задавать параметры диэлектрика, опять сошлемся на определение подложки (Type = Sub: Rogers RO4003 0.5 oz ED 20 mil). Тип моделирования отверстий (Via Model = 2D) в текущей топологии значения не имеет, т.к. отверстий нет;

- слой BOT METAL должен быть выключен (Use = false), тогда никакие другие параметры задавать нельзя (они погашены);

- слой Air Below выключен (Use = false), оставить электрические параметры воздуха ($\epsilon_r = 1$, $\tan\delta/\sigma = 0$, $\mu_r = 0$) и установить нулевую или достаточно малую (в примерах используют 1мм или 0) толщину (Height = 0).

- Слой Bottom Cover надо выставить тип Type = Lossless, так мы задаём сплошную землю снизу как крышку.

Остальные слои (маска и шелкография) можно не трогать, они не участвуют в расчете (Use=false).

LAYOUT Properties

GeneralAssociationsLayerFonts

Show Columns:

☐ Metal☐ Substrate☒ General☒ Layer Number and Color

☒ Show All☐ EM☐ EMPOWER☐ Momentum

Name	#	Color	Layer Type	Hide	On Bottom (Mirrored)	Plot	Etch Factor	Use	Use Layer Mesh	Mesh Density	Precedence	Use Layer TL	TL Mesh	Edge Mesh	Edge Mesh	Via Model
Top Cover			Cover													
Air Above			Air					<input checked="" type="checkbox"/>								
TOP MASK	1		Mask	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>										
TOP SILK	2		Silk	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>										
TOP METAL	3		Metal	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	0	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	30	0	<input type="checkbox"/>	1	Default	0	
SUBSTRATE	4		Substrate	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>								2D(planar)
BOT METAL	5		Metal	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	30	0	<input checked="" type="checkbox"/>	1	Default	0	
BOT SILK	6		Silk	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>										
BOT MASK	7		Mask	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>										
Air Below			Air					<input type="checkbox"/>								
Bottom Cover			Cover													

+

Insert

⬆Up

Show All

Use All

✖Delete

⬇Down

Hide All

Use None

Frequency Units: (MHz)

Length Units: (mm)

umber and Color

Momentum Slot-Type:

Strip

Strip Model	Physical Slot Layer	1/2 Height	Type	Metal Thickness	Rho	Height	Er	Tand/ Sigma	Ur	Rough	Surface Imp. Value or File	Current Direction	Thick Metal	Element Z-Ports
			Open											
			Air			250	1	0	1					
Sheet	<input type="checkbox"/>		Sub: Rogers RO4003	0.018	1					1.905e-3		Normal	Thin	Down
		<input type="checkbox"/>	Sub: Rogers RO4003			0.508	3.38	0.0027	1					
Sheet	<input checked="" type="checkbox"/>		Sub: Rogers RO4003	0.018	1					1.905e-3		Normal	Thin	Down
			Air			0	1	0	1					
			Lossless											

MHz)

mm)

Load From Layer File...

Save to Layer File...

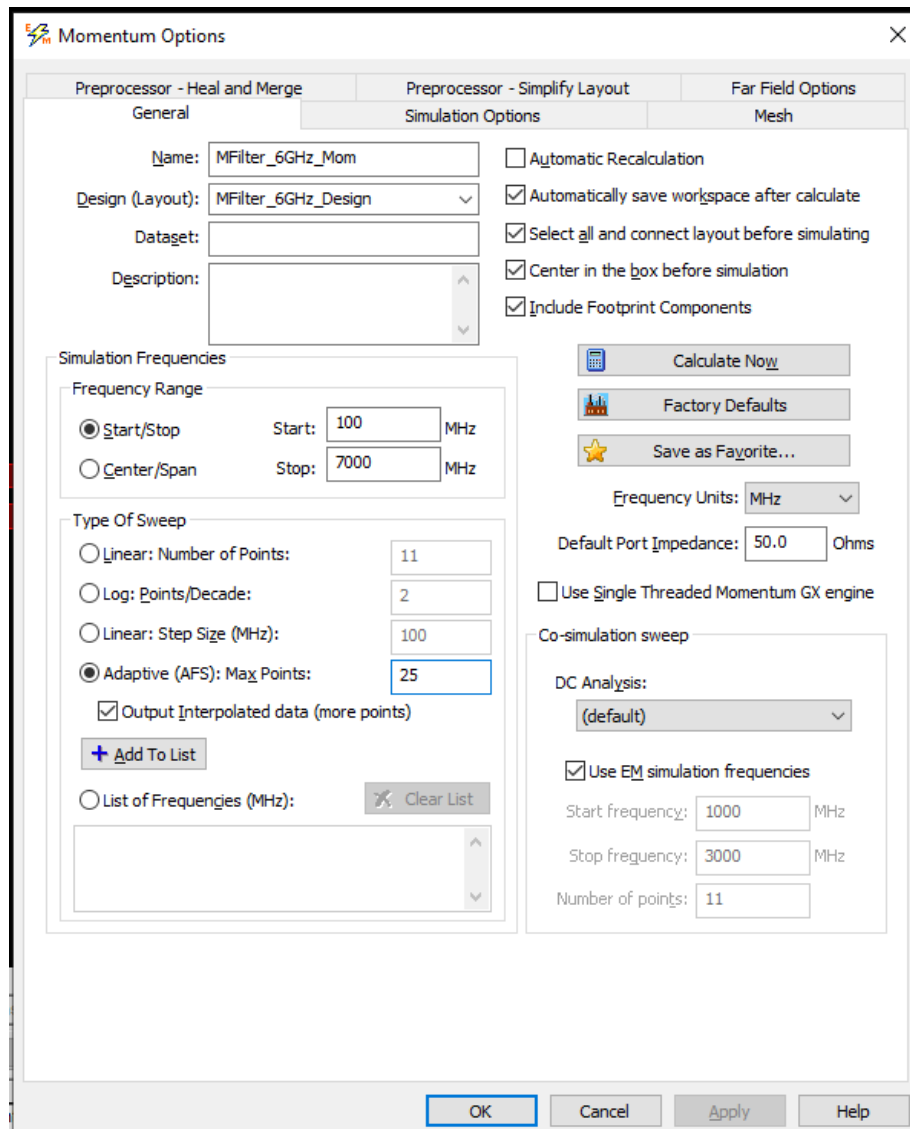
OK

Cancel

Apply

Help

В папке со схемой создадим ЕМ-анализ (Add – Analysis – Momentum Analysis). Назовем его MFilter_6GHz_Mom. Установим ему диапазон частот от 100 МГц до 7000 МГц с адаптивным подбором шага на макс 25 точек. Также включим автоматическое пересобираание топологии при изменении размеров компонентов (Select all and connect layout before simulation).



На вкладке Simulation Options должен быть выставлен симулятор Microwave и остальные настройки согласно рисунку.

The image shows a screenshot of the 'Momentum Options' dialog box, specifically the 'Simulation Options' tab. The dialog has a title bar with the Ansys logo and the text 'Momentum Options'. It features three tabs: 'Preprocessor - Heal and Merge', 'Preprocessor - Simplify Layout', and 'Far Field Options'. The 'Simulation Options' tab is active, showing several configuration sections. The 'Simulation Mode' section has two radio buttons: 'RE (faster, no radiation effects)' and 'Microwave (recalculates substrate for every frequency)', with the latter selected. The 'Calculate' section has three radio buttons: 'Substrate', 'Mesh and substrate', and 'All: substrate, mesh, and S-Parameters', with the last one selected. The 'Threads (4 available)' section has two radio buttons: 'Automatic' (selected) and 'Limit Number of Threads:', which is followed by a text box containing '0 <Automatic>'. Below this is a 'Process Priority:' dropdown menu set to 'Normal'. The 'Thick Metal' section has three radio buttons: 'None (thin metal)' (selected), 'Expand Up', and 'Expand Down'. The 'Via Model' section has four radio buttons: 'Lumped', '1D (wire)', '2D (planar, no horizontal currents)' (selected), and '3D (spatial, include horizontal currents)'. The 'Solve Matrix' section has four radio buttons: 'Auto-select' (selected), 'Direct dense', 'Iterative dense', and 'Direct compressed'. The 'Strip Model' section has three radio buttons: 'Sheet (default)' (selected), '2D', and '3D (thick conductors)'. At the bottom of the dialog, there are four checkboxes: 'Use Box' (unchecked), 'Include TL calculation' (unchecked), and 'Reuse results of last simulation' (checked). The bottom of the dialog features four buttons: 'OK', 'Cancel', 'Apply', and 'Help'.

Momentum Options

Preprocessor - Heal and Merge Preprocessor - Simplify Layout Far Field Options

General Simulation Options Mesh

Simulation Mode

☐ RE (faster, no radiation effects)

☒ Microwave (recalculates substrate for every frequency)

Calculate

☐ Substrate

☐ Mesh and substrate

☒ All: substrate, mesh, and S-Parameters

Threads (4 available)

☒ Automatic

☐ Limit Number of Threads: 0 <Automatic>

Process Priority: Normal

Thick Metal

☒ None (thin metal)

☐ Expand Up

☐ Expand Down

Via Model

☐ Lumped

☐ 1D (wire)

☒ 2D (planar, no horizontal currents)

☐ 3D (spatial, include horizontal currents)

Solve Matrix

☒ Auto-select

☐ Direct dense

☐ Iterative dense

☐ Direct compressed

Strip Model

☒ Sheet (default)

☐ 2D

☐ 3D (thick conductors)

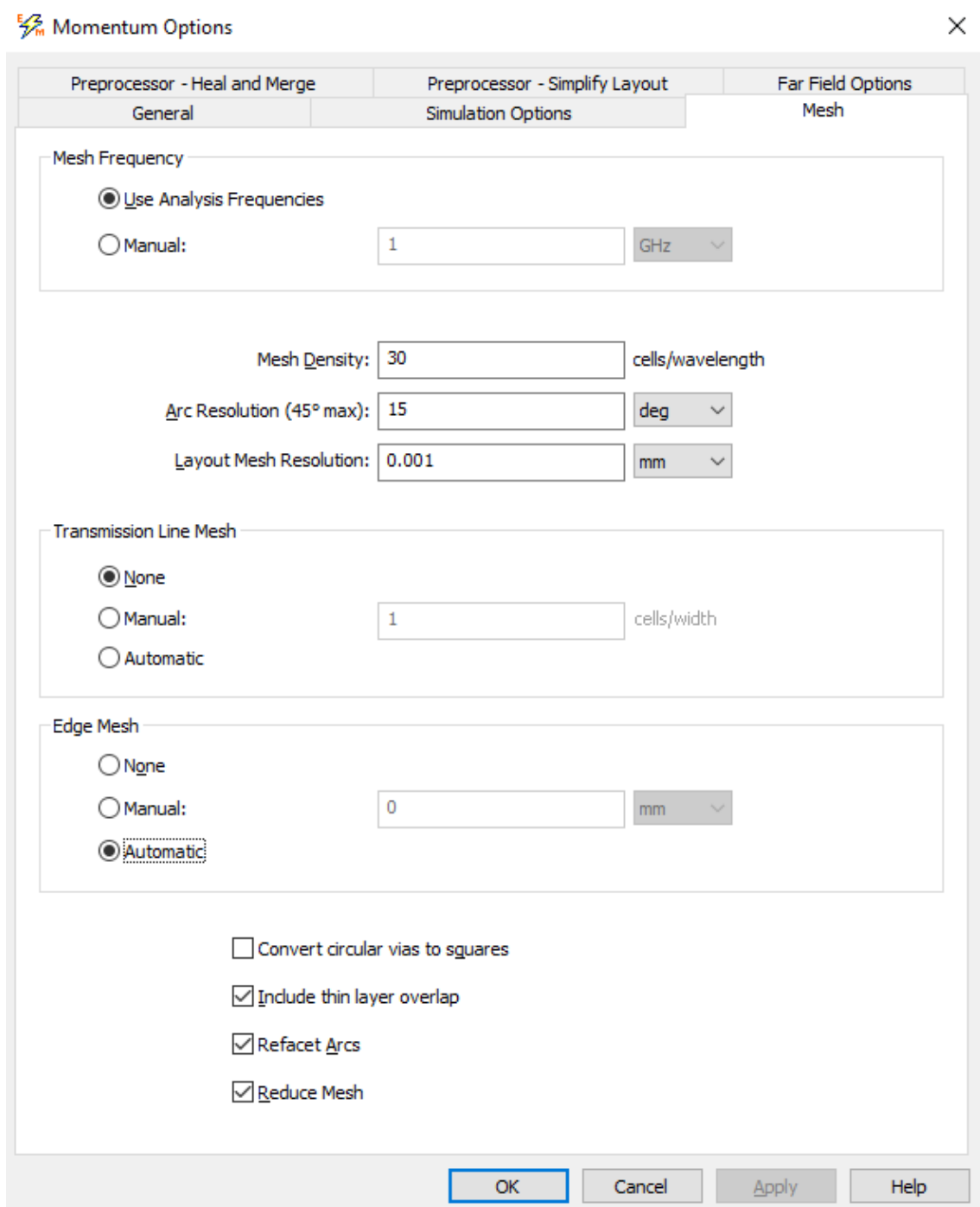
☐ Use Box

☐ Include TL calculation

☒ Reuse results of last simulation

OK Cancel Apply Help

На вкладке Mesh установим генерацию краевых разбиений автоматического размера (Edge Mesh = Automatic).

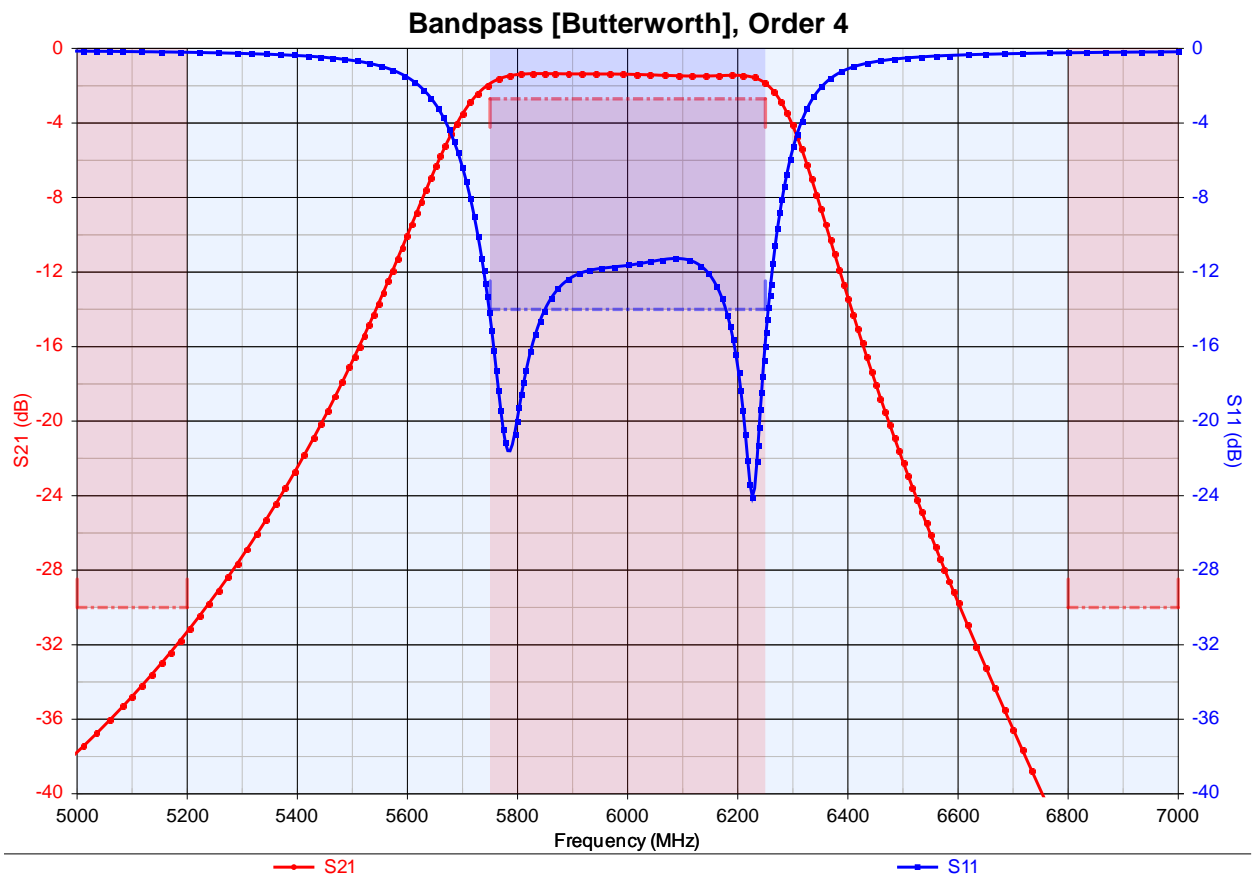


Остальные настройки оставим по умолчанию. Запустим расчет ЕМ-анализа.

Создадим отдельный график для результатов ЕМ-анализа. Чтобы в него загружались еще цели из оптимизатора, надо в оптимизаторе MFilter_6GHz_Goal на вкладке Goals в списке Default Dataset or Equations заменить результат из линейного анализа на результат из ЕМ-моделирования



Видно, что результаты уплыли относительно линейного анализа. S21 еще выполняется, а вот S11 в полосе пропускания поднялся до -11 дБ.



Перенастроим оптимизатор MFilter_6GHz_Goal так, чтобы он работал с ЕМ-анализом.

На вкладке General нужно оставить галку напротив нужного ЕМ_анализа в списке Analyses to calculate.

Optimization Properties

General Goals Variables Method

Name: MFilter_6GHz_Goal

Description:

Optimization Method: Automatic

Cost Function: Least Squares (L2 Norm)

☐ Allow Initial Random Search

☐ Use Adaptive Stepping For Linear Analyses

Minimum Frequency Points: 11

Frequency Points Factor: 2

Calculate Now

Factory Defaults

Analyses to calculate:

Analysis	Path
<input type="checkbox"/> S _{ij} MFilter_board_Analysis	Designs\MFilter_board_Dir
<input type="checkbox"/> E _m MFilter_boardMom	Designs\MFilter_board_Dir
<input type="checkbox"/> S _{ij} MFilter_6GHz_Analysis	MFilter_6GHz_Dir
<input checked="" type="checkbox"/> E _m MFilter_6GHz_Mom	MFilter_6GHz_Dir

OK Cancel Apply Help

На вкладке Goals в списке Default Dataset or Equations заменить результат из линейного анализа на результат из ЕМ-моделирования (если не сделано ранее). Также в зависимости от того, как выглядит текущий результат, то стоит изменить вес отдельных целей. В текущем состоянии видно, что S₂₁ в полосе запираания выполняется легко, а вот S₁₁ и S₂₁ в полосе пропускания или не выполняются, или выполняются с трудом. Увеличим вес этим целям до 50 (поле Weight), чтобы оптимизатор пробовал в первую очередь выполнить их, а затем обращал внимание на полосы запираания.

Optimization Properties

General Goals Variables Method

Default Dataset or Equations: MFilter_6GHz_Mom_MFilter_6GHz_Design_Data

Use	Measurement	Op	Target	Target Units	Weight	Min	Max	Units
<input checked="" type="checkbox"/>	S11	<	-14	dB	50	5750	6250	(MHz)
<input checked="" type="checkbox"/>	S21	>	-2.7	dB	50	5750	6250	(MHz)
<input checked="" type="checkbox"/>	S21	<	-30	dB	1	5000	5200	(MHz)
<input checked="" type="checkbox"/>	S21	<	-30	dB	1	6800	7000	(MHz)
<input checked="" type="checkbox"/>		<		None				None

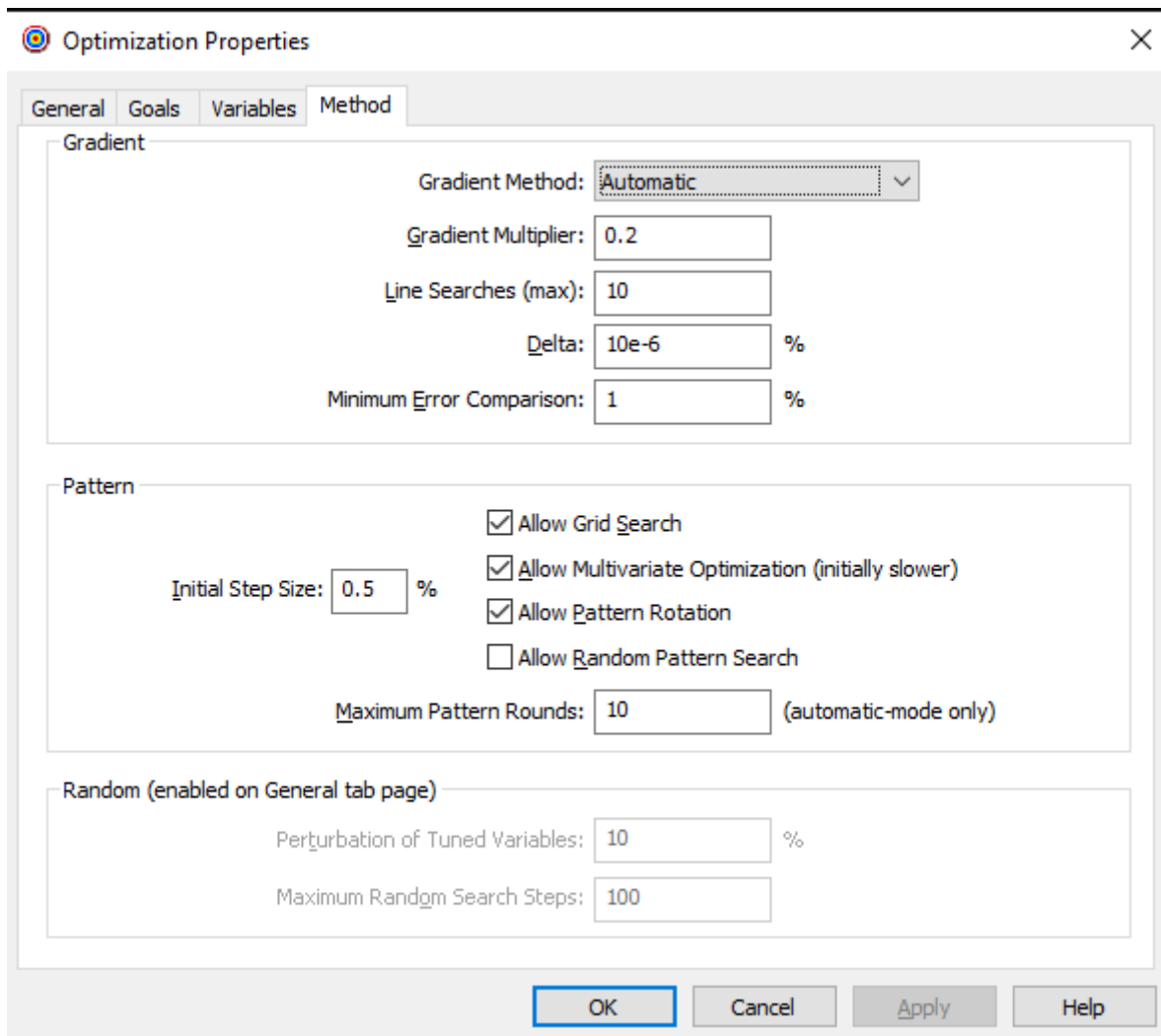
Stopping Condition

Current Error is: 879.291

Stop if the Total Error is less than: 0

Note: Units and Current Error cannot be calculated without corresponding dataset(s) and goal variable(s). Please see Help for more info.

Также на вкладке Method включим поиск по сетке и мультивариативную оптимизацию (Allow Grid Search и Allow Multivariate Optimization). Для оптимизации по ЕМ-анализу, где расчет каждой точки идет довольно долго, это позволяет оптимизатору сначала набирать достаточно предварительных данных перед принятием решения, куда идти дальше. И несмотря, что первоначальный анализ выполняется довольно долго, это позволяет оптимизатору не бродить бездумно по целевой функции, особенно если доступно много переменных для оптимизации.

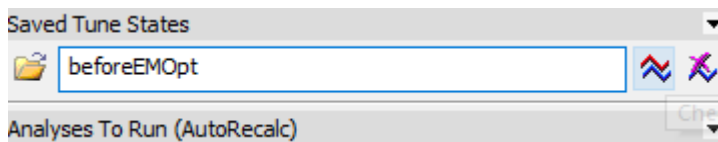


The image shows the 'Optimization Properties' dialog box with the 'Method' tab selected. The 'Gradient' section contains settings for the optimization method, multiplier, line searches, delta, and minimum error comparison. The 'Pattern' section includes checkboxes for grid search, multivariate optimization, pattern rotation, and random pattern search, along with initial step size and maximum pattern rounds. The 'Random' section is enabled and shows perturbation and maximum random search steps.

Section	Parameter	Value	Unit/Note
Gradient	Gradient Method	Automatic	
	Gradient Multiplier	0.2	
	Line Searches (max)	10	
	Delta	10e-6	%
	Minimum Error Comparison	1	%
Pattern	Initial Step Size	0.5	%
	Allow Grid Search	<input checked="" type="checkbox"/>	
	Allow Multivariate Optimization (initially slower)	<input checked="" type="checkbox"/>	
	Allow Pattern Rotation	<input checked="" type="checkbox"/>	
Pattern	Allow Random Pattern Search	<input type="checkbox"/>	
	Maximum Pattern Rounds	10	(automatic-mode only)
Random (enabled on General tab page)	Perturbation of Tuned Variables	10	%
	Maximum Random Search Steps	100	

Buttons: OK, Cancel, Apply, Help

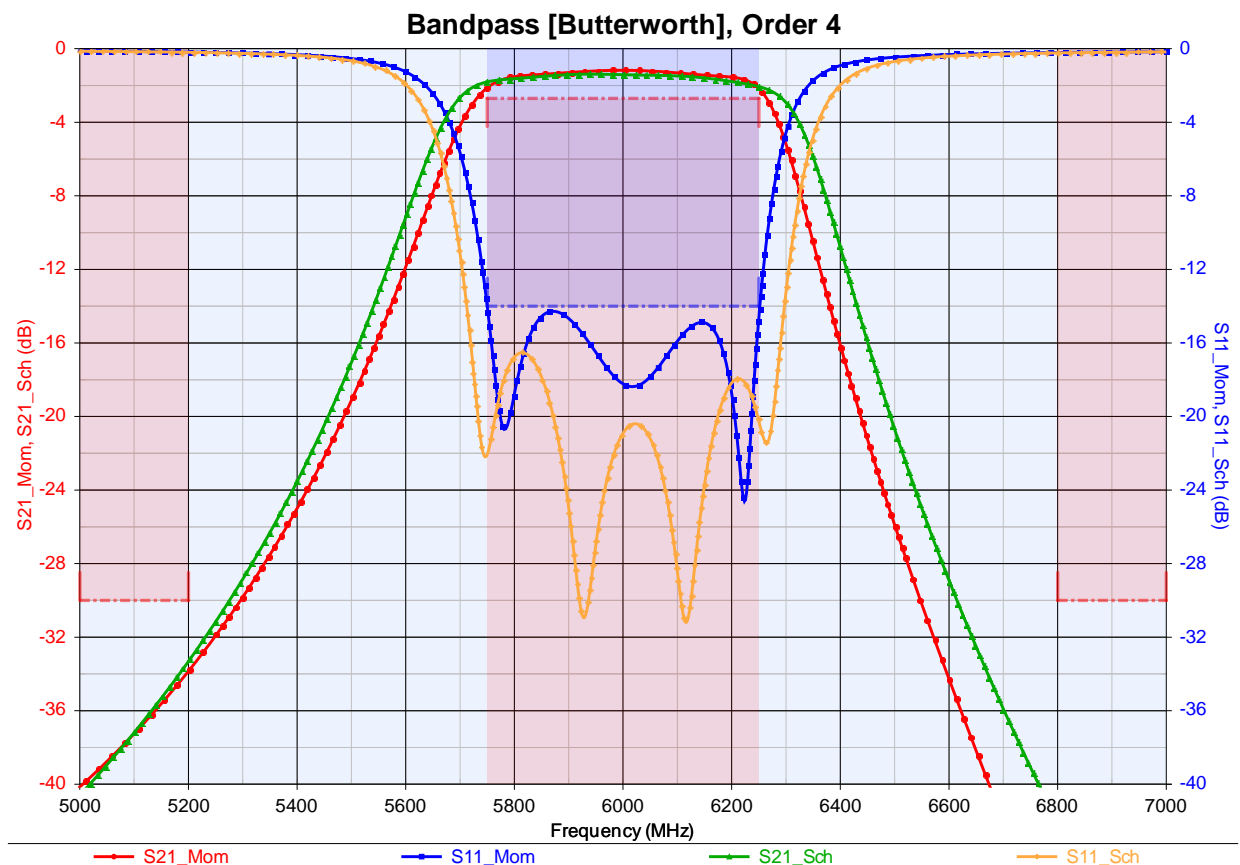
Также перед запуском оптимизации на всякий случай сохраним текущее состояние переменных в панели Saved Tune States.



The image shows the 'Saved Tune States' panel with a list box containing 'beforeEMOpt'. Below it is the 'Analyses To Run (AutoRecalc)' section with a 'Check' button.

Запускаем оптимизатор (ПКМ - Run).

Когда он успешно закончит работать, выведем на один график результаты как со схемного уровня, так и ЕМ (со значениями переменных, оптимизированных для топологии).



В нашем случае получилось, что результаты хоть и различаются, но не так значительно, как могли бы. Нет сдвига по частоте и S21 ведет себя схоже. Т.е. можно ожидать, что изготовленный фильтр будет иметь схожие характеристики и результаты нашего проектирования можно считать достоверными.

Литература

1. Плейлист Genesys Video Library на канале центра знаний Keysight
https://www.youtube.com/watch?v=mi_AMjIRgZM&list=PLtq84kH8xZ9E8S_y5dmCXtJFPo14NsCtt

2. Библиотека знаний eeSof
<https://www.keysight.com/main/facet.jsp?cc=US&lc=eng&jmpid=zzkeytechsupport>, доступно после свободной регистрации

Разработчик:

Ст.преподаватель Института МПСУ

Приходько Д.В.