

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего
образования
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ И
РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ (ТУСУР)

ПОСТРОЕНИЕ И АНАЛИЗ ФИЛЬТРА НИЗКИХ ЧАСТОТ

Методические указания по выполнению лабораторной работы

Томск 2018

Цель работы: Освоить программный пакет Microwave Office. Освоить анализ линейных схем. Научиться строить электрические схемы, ознакомиться с библиотекой элементов, освоить принципы редактирования элементов, научиться задавать частотные диапазоны, создавать различные графики с отображением различных характеристик. Освоить инструмент Tuner, инструмент оптимизации характеристик. Научится открывать, закрывать и сохранять проекты.

1 Задание на лабораторную работу

Спроектировать фильтр низких частот (ФНЧ) со следующими характеристиками:

- Частота среза фильтра $f_{\text{ср}}$;
- Ослабление сигнала в полосе пропускания не более $L_{\text{п}}$;
- Полоса заграждения от $f_{\text{заг}}$ и больше;
- Затухание сигнала в полосе заграждения не менее $L_{\text{з}}$;
- Коэффициент отражения в полосе пропускания не более $K_{\text{отр}}$;
- Задержка сигнала в диапазоне пропускаемых частот не более $t_{\text{зад}}$;
- Коэффициент шума в диапазоне пропускаемых частот не более $K_{\text{ш}}$;
- Волновые сопротивления подводящих линий 50 Ом.

Каждый студент получает номер варианта от преподавателя и выполняет лабораторную работу по данным таблицы 1.

Таблица 1.

Вариант	$f_{\text{ср}}$, МГц	$L_{\text{п}}$, дБ	$f_{\text{заг}}$, МГц	$L_{\text{з}}$, дБ	$K_{\text{отр}}$, дБ
1	500	-3	700	-60	-15
2	700	-2	800	-50	-18
3	800	-4	1000	-70	-17
4	400	-3	500	-50	-16
5	600	-2	800	-60	-15
6	500	-3	700	-40	-15
7	800	-2	1000	-45	-18
8	700	-4	900	-50	-17
9	600	-3	700	-55	-16
10	400	-2	600	-60	-15

2 Порядок выполнения работы

1. Выбор структуры ФНЧ.

Требуется спроектировать фильтр с достаточно невысокой частотой (500 МГц), поэтому можно использовать сосредоточенные элементы, а именно катушки индуктивности и конденсаторы. После анализа литературы выбираем Т-образный фильтр, структура которого показана на рис.1.

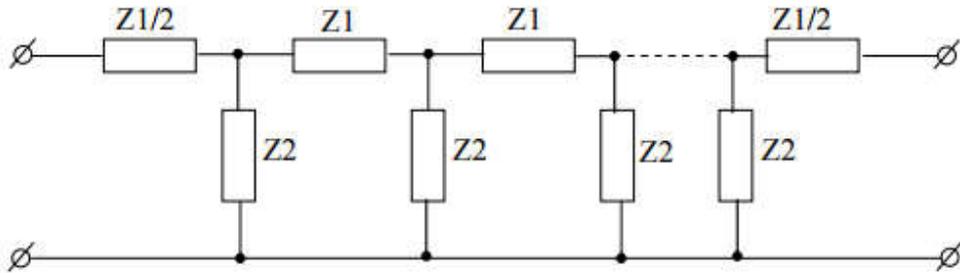


Рисунок 1. – Структура Т-образного фильтра

Т.к. это ФНЧ, то в качестве $Z1$ используется индуктивность L , а в качестве $Z2$ -емкость C .

2. Расчет количества звеньев.

Количество звеньев, необходимых для обеспечения данной крутизны фронтов, рассчитайте по формуле 1.

$$n = \frac{\operatorname{arch}\sqrt{(L_3 - 1)/(L_{\Pi} - 1)}}{\operatorname{arch}(\Pi_3/\Pi_{\Pi})} + 1 \quad (1)$$

где L_3 - уровень затухания,

L_{Π} - ослабление сигнала в полосе пропускания,

Π_3 - полоса заграждения,

Π_{Π} - полоса пропускания.

3. Расчет параметров L и C.

Частота среза фильтра рассчитывается по формуле 2.

$$\omega_{cp} = \frac{2}{\sqrt{LC}} \quad (2)$$

Задаетесь емкостью конденсатора и вычислите индуктивность по формуле 3.

$$L = \frac{4}{C\omega_{cp}^2} = \frac{4}{C(2\pi f)^2} \quad (3)$$

4. Открытие программы Microwave Office.

Запустите AWR.

5. Создание нового проекта.

В меню **File** выберите пункт **New Project** (новый проект) (см. рис.2.).

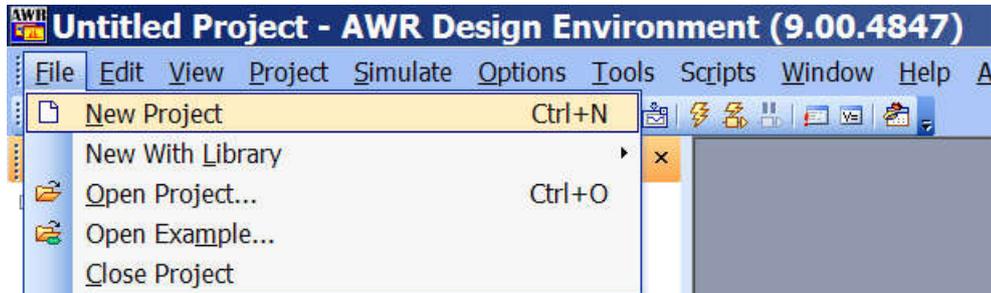


Рисунок 2. – Создание нового проекта

6. Установка единиц измерения.

Из меню **Options** выберите команду **Project Options**, в появившемся окне выберите вкладку **Global Units** и выберите единицы измерения частоты MGz, индуктивности - nH.

7. Создание новой схемы

В меню **Project** выберите пункт **Add Schematic** (добавить схему) и далее в подменю выберите команду **New Schematic** (новая схема) (см. рис.3). В открывшемся диалоге **Create New Schematic** (создайте новую схему) введите название схемы, на пример **LPF** (Low Pass Filter - Фильтр нижних частот). (см. рис.4). Далее нажмите **OK**.

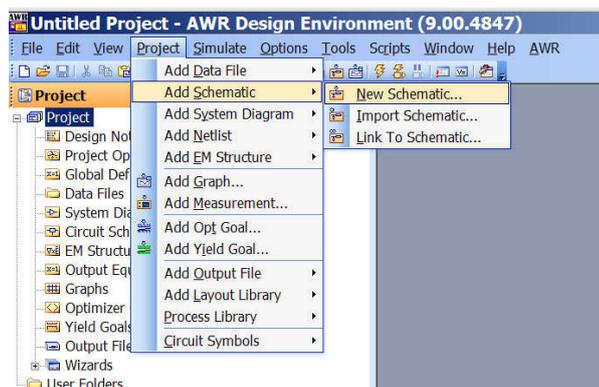


Рисунок 3. – Создание новой схемы

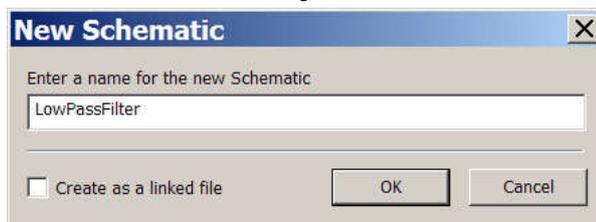


Рисунок 4. – Ввод имени новой схемы

8. Активизация просмотра элементов

Раскройте вкладку **Elem** (элементы) в нижней части окна проектов (рис. 5).

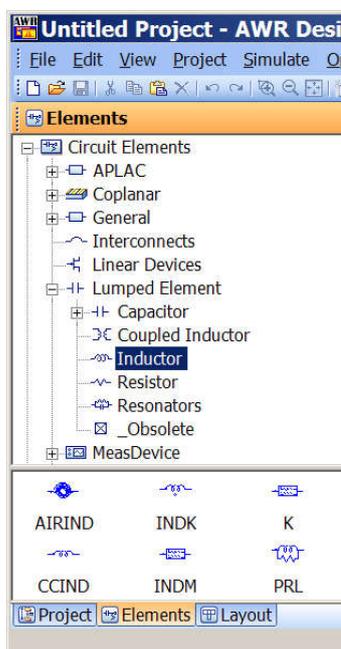


Рисунок 5. – Просмотр элементов

9. Выбор элементов схемы

В иерархическом списке Elements (элементы схем) выберите пункт **Lumped Elements** (элементы с сосредоточенными параметрами). Далее выберите пункт **Inductor**, а далее значок **IND** (индуктивность) и, не отпуская левую кнопку мыши перетащите его в окно схемы с именем **Low Pass Filter** (фильтр нижних частот). В окне схемы элемент можно перемещать при освобожденной левой кнопке. Для фиксации элемента на схеме сделайте щелчок левой кнопкой. Теперь из того же пункта **Lumped Elements** из пункта **Capacitor** добавьте конденсатор. Для этого нужно перетащить элемент **CAP** в рабочее окно схемы проекта, отпустить левую клавишу мыши, после чего нажать на правую кнопку мыши, в результате элемент будет поворачиваться на 90° при каждом нажатии. После того как элемент принял нужную позицию, нажимаем левую кнопку и элемент фиксируется. Соединение конденсатора с индуктивностью

произойдет автоматически, если выводы двух компонентов касаются друг друга. (см. рис. 6).

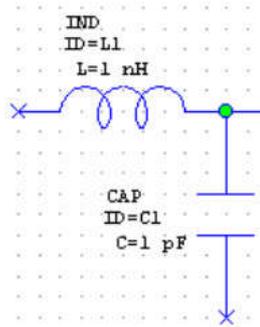


Рисунок 6. – Соединение конденсатора и индуктивности

10. Копирование и вставка элементов схемы

Для удобства работы в MWO предусмотрены копирование и вставка элементов. Для этого выделите два элемента, CAP и IND, рисуя пунктирный прямоугольник вокруг них, удерживая левую клавишу мыши и таща выделение вокруг элементов. Из меню Edit (Правка) выберите Copy (Копировать). Затем из меню Edit (Правка) выберите команду Paste (Вставка), чтобы получить второе изображение (Вы можете так же использовать клавиши Ctrl+C для копирования и Ctrl+V для вставки). Вставьте эти два элемента еще раз, если для вашего варианта число звеньев 2, то это действие выполнять не нужно. Далее следует добавить дополнительную индуктивность, чтобы сделать эту схему симметричной. Этого можно добиться выбрав конденсатор из закладки **Elements** (Элементы) и перетащив его на окно схемы. Установите элементы как показано на рисунке 7. Число звеньев фильтра было определено в пункте 2.

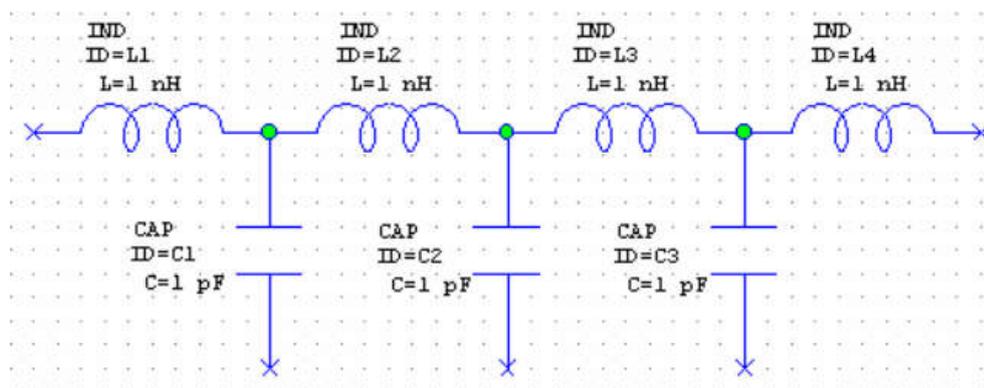


Рисунок 7. – Элементы фильтра

11. Соединения элементов

Для соединения элементов используйте средство трассировки, чтобы соединить выводы конденсаторов. Подведите курсор мыши на зеленый квадратик, означающий узел одного из конденсаторов. Когда курсор превратится в спиральку, произведено соединение с этим выводом. Щелкните левой клавишей мыши и протащите пунктирную линию к другому выводу. Затем следует щелкнуть курсором - знаки «X» превратятся в зеленые круги, и появится проводник, соединяющий эти выводы, как показано на рис. 8.

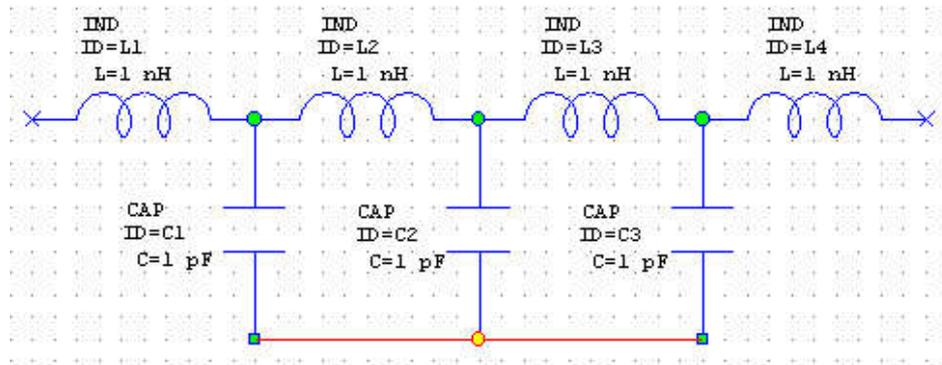


Рисунок 8. – Соединение элементов

12. Редактирование параметров элементов

Величины элементов можно изменять с помощью диалогового окна Свойства, вызываемого двойным щелчком, по изображению элемента.

Измените параметры индуктивности L1, для этого два раза нажмите на этот элемент, появится окно **Element Options**, выберете параметр **L** и в пункте **Value** установите его величину в соответствии с вашим вариантом. Также вы можете отредактировать параметр **ID**, который используется для идентификации элементов. Смотрите рис. 9.

Альтернативный способ редактирования параметров: два раза нажмите левой клавишей мыши на параметр, который необходимо отредактировать, появится окошко редактирования (см. рис. 10).

Аналогичным образом отредактируйте параметры других элементов в соответствии с пунктом 3.

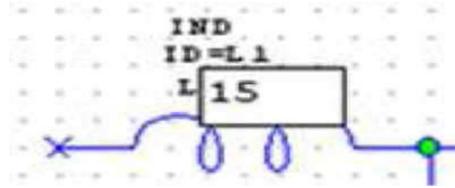


Рисунок10. – Редактирование параметров на схеме

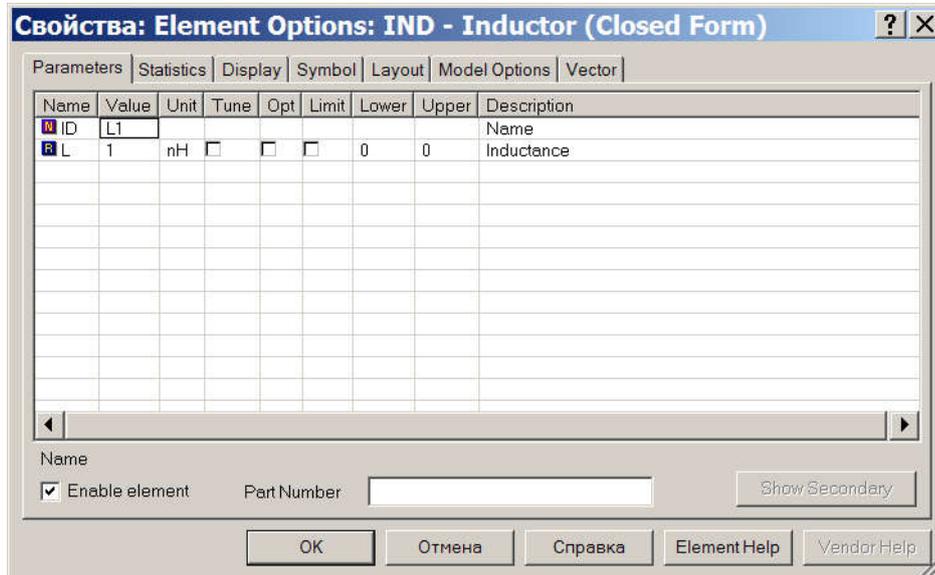


Рисунок 9. – Редактирование параметров

13. Добавление заземления

Для завершения схемы фильтра нужно добавить порты и заземление. Добавьте два порта на входе и выходе, щелкнув левой клавишей на кнопке **Port** (порт), расположенной на инструментальной панели. Подобно другим элементам, они могут вращаться нажатием правой кнопки мыши. Добавьте элемент «земля». Завершите создание схемы фильтра как показано на рис. 11.

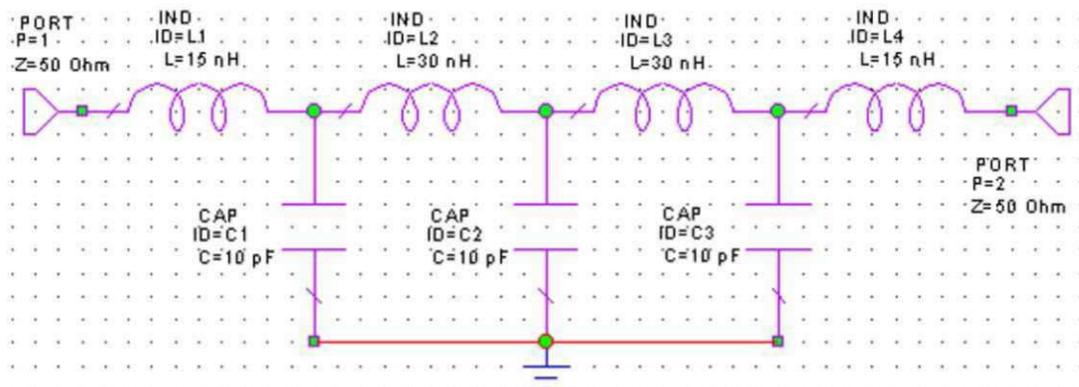


Рисунок 11. – Схема фильтра

14. Задание диапазона частот

Для задания рабочего диапазона частот, перейдите обратно в Проект нажимая на закладку **Project** (Проект) расположенную внизу основного окна. Наведите курсор мыши на **Project Options** (Опции проекта) в верху окна и дважды щелкните. Появится форма **Project Options**. Введите начальную частоту **Start**=($f_{cp}-200$), конечную частоту **Stop**=($f_{cp}+200$) шаг **Step**=1. Нажмите кнопку **Apply** (Применить). Наконец, нажмите **ОК**. (См. рис. 12).

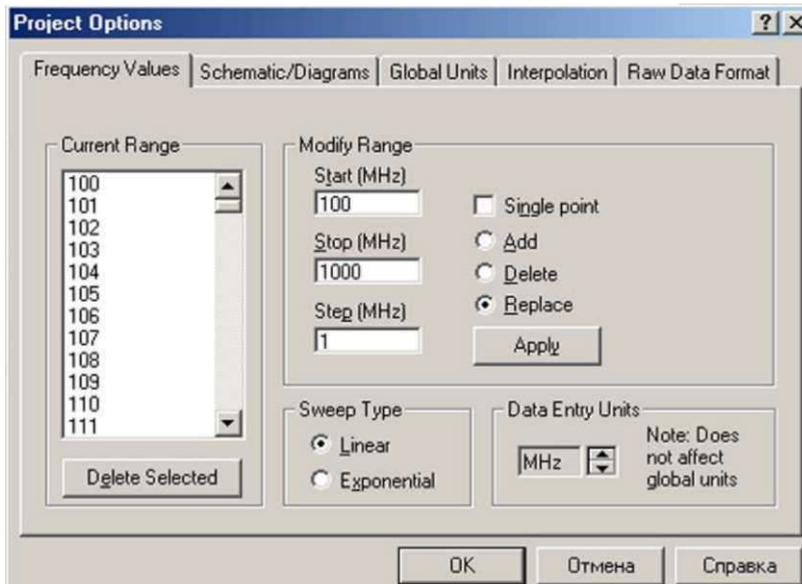


Рисунок 12. – Задание диапазона частот

15. Добавление графика

Для добавления в Проект графика, из меню **Project** выберите **Add Graph** (Добавить график). В появившемся окне **Create Graph** введите название графика, например **Passband and Stopband** (полоса пропускания), установите **Rectangular** (Прямоугольная) систему координат и нажмите **ОК**. (См. рис. 13).

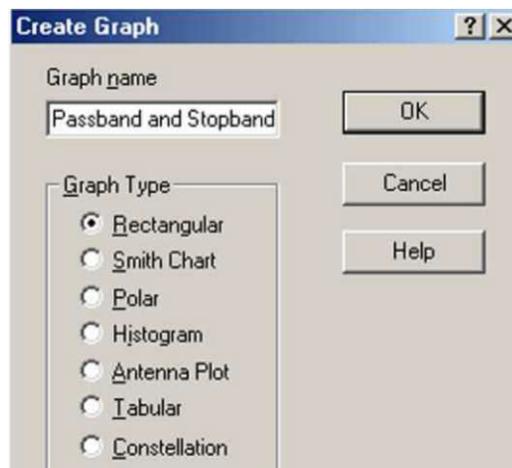


Рисунок 13. – Создание нового графика

После проделанных операций появится окно **Passband**.

16. Выбор расчетных величин

Задайте расчетные величины для первого графика, щелкните правой клавишей на строке **Passband** и выберите **Add Measurement** (Добавить вычисления). Альтернативный метод из меню **Project** выберите **Add Measurement**. Появится форма, показанная на рис. 14.

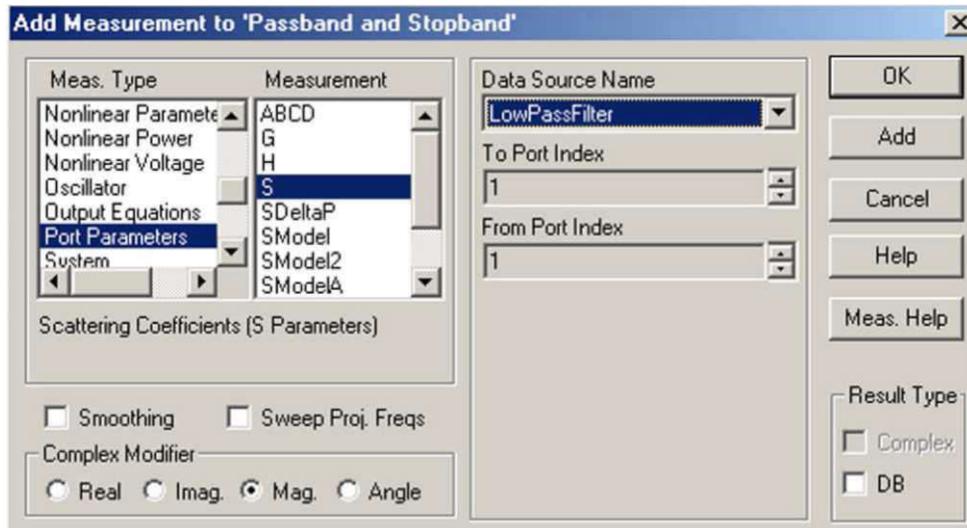


Рисунок 14. – Окно выбора расчетных величин

Из **Meas. Type** (Тип вычислений), выберите **Port Parameters** (Параметры входа, выхода). Для **Measurement** (Расчет), выберите S-параметры. Из **Data Source Name**, выберите **Low Pass Filter** или **All Sources**. Для установки первого индекса в **S To Port Index**, выберите 1. Для установки второго индекса в **S From Port Index**, выберите 1. Нажмите **Apply** (Применить), чтобы добавить вычисление S11 в дБ. Далее измените первый индекс **To Port Index** на число 2. Нажмите **Apply** (Применить) для добавления вычисления S21 в дБ. Нажмите **OK**. Аналогично создайте 2-ой график, с названием **Passband and Stopband DB**, в качестве вычисляемых параметров выберете те же, но в **Result Type** (Тип результата) установите **DB** (дБ), т.е. на этом графике отразим те же параметры, но в дБ.

17. Анализ цепи (выполнение моделирования).

Начните расчет нажав на кнопку, которая выглядит похожей на след молнии. Построится график подобный изображенному на рисунке 15 (частоты и характеристики

будут несколько отличаться). Легенду графика можно перемещать, путем простого перетаскивания. Двойное нажатие на легенде позволяет ее изменить форму точек на кривых, для этого нужно в форме **Grid Format Options** выбрать закладку **Traces** (След) где можно выбрать формы маркеров, изменить стиль линии и цвета, или сделать другие модификации.

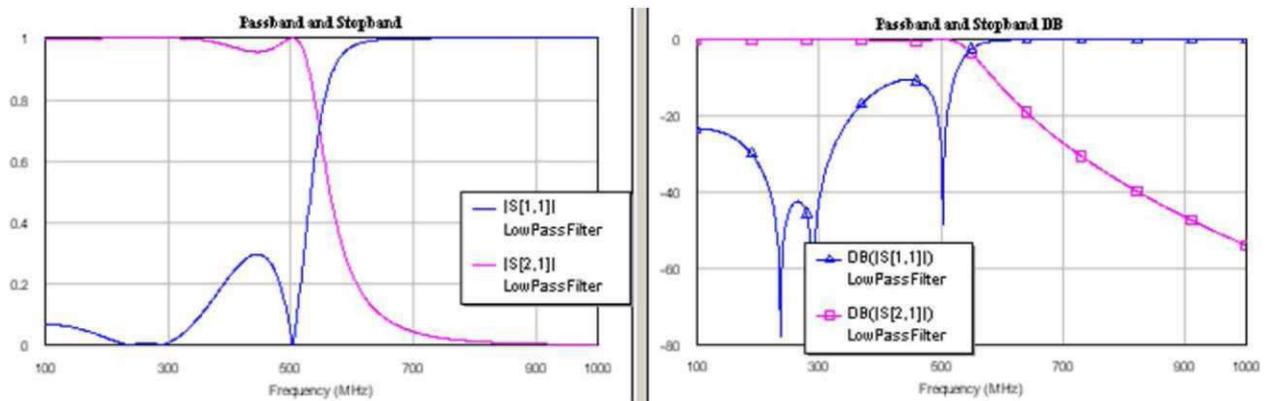


Рисунок 15. – Графики S-параметров фильтра: а – в относительных единицах, б – в дБ

18. Настройка схемы

Как видно из рис. 15, фильтр имеет далеко не лучшие характеристики. Поэтому требуется изменить значения элементов. Эти изменения можно проводить с помощью инструмента **Tuner**. Нажмите на кнопку , в результате чего откроется диалоговое окно **Variable Tuner**. Тюнер переменных используется как механизм подстройки в реальном времени ранее введенных параметров (не более 10 одновременно), так что все изменения характеристик будут немедленно видны на графиках. Для работы с тюнером сначала нужно указать на подстраиваемые переменные. Для этого нажмите на кнопку  и затем щелчками курсора, изменившего свою форму, укажите на подстраиваемые элементы, например L1:L, C3:C.

Примечание: Каждый параметр элемента, выбранный для подстройки, меняет свой цвет на синий, и для его изменения создается новый движковый регулятор в окне **Variable Tuner**. Выбрав для подстройки в схеме фильтра на рис. 11 все параметры, получим окно **Variable Tuner**, аналогичное рисунку 16.

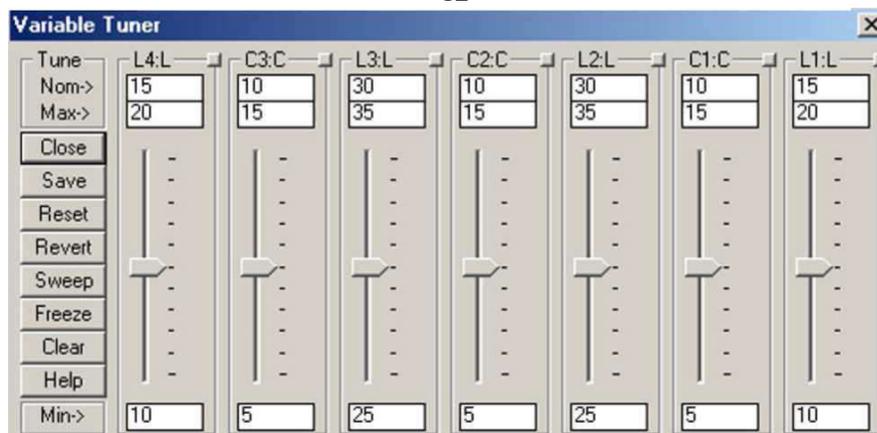


Рисунок 16. – Подстройка параметров с помощью Tuner

Попробуйте отрегулировать параметры, так чтобы получить следующий результат:

$S[11]$ – не более минус $K_{отр}$ на частотах $MIN - f_{cp}$, МГц;

$S[21]$ – не менее $L_{п}$ на частотах $MIN - f_{cp}$ МГц, не более L_3 на частотах $f_{зад} - MAX$ МГц.

19. Установка возможности оптимизации, ограничения, тюнера и пределов изменения переменных.

Нажмите левой клавишей мыши на вкладку **Var** (Variables (Величина)) в левом нижнем углу окна, далее в верхнем окошке выделить схему которую исследуете, т.е. LowPassFilter. В результате в нижнем окне появиться список элементов используемых в данной схеме (см. рис. 17).

Рядом с каждым элементом есть три буквы T, O, C, с соответствующими значениями Tune (Тюнер), Optimize (Оптимизация), Constrained (Ограничения). Сделайте активными все буквы для всех элементов схемы фильтра (см. рис. 17).

В столбце **Value** указываются номиналы элементов схемы, в столбце **Lower** - нижний предел, а в столбце **Upper** - верхний предел.

Schematic	Element	ID	Parameter	Value	Tune	Optimize	Constrained	Lower	Upper	Use Statistics	Yield Optimize	Tolerance	Distrib
Global Defi...	Glo...	_TEMP		25	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0	0	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0	Norme
Global Defi...	Glo...	_TEMPK		290	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0	0	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0	Norme
Schematic 1	IND	L2	L	1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0	0	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0	Norme
Schematic 1	IND	L1	L	1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0	0	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0	Norme
Schematic 1	CAP	C2	C	1e-6	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0	0	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0	Norme
Schematic 1	CAP	C1	C	1e-6	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0	0	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0	Norme

Рисунок 17. – Параметры переменных

20. Оптимизация цели

После установки параметров, вы теперь готовы провести оптимизацию цели. Сначала из меню **Project** (Проект) выберите **Add Opt Goal** (Добавить условия оптимизации). Появится окно **New Optimization Goal** (см. рис. 18). Установите первую цель оптимизации, выбирая:

Measurement: DB[S[1,1]] — оптимизируемая характеристика;

Goal Type: Meas < Goal — критерий оптимизации;

Range: MIN до f_{cp} MHz — диапазон частот, в котором должно выполняться условие оптимизации;

Goal — цель оптимизации, равная в данном примере $K_{отр}$.

Повторите процесс оптимизации с целью добиться, чтобы $S[21] > L_{\Pi}$ в диапазоне $0 \dots f_{cp}$ MHz и $S[21] < L_3$ в диапазоне $f_{3ar} \dots MAX$ MHz.

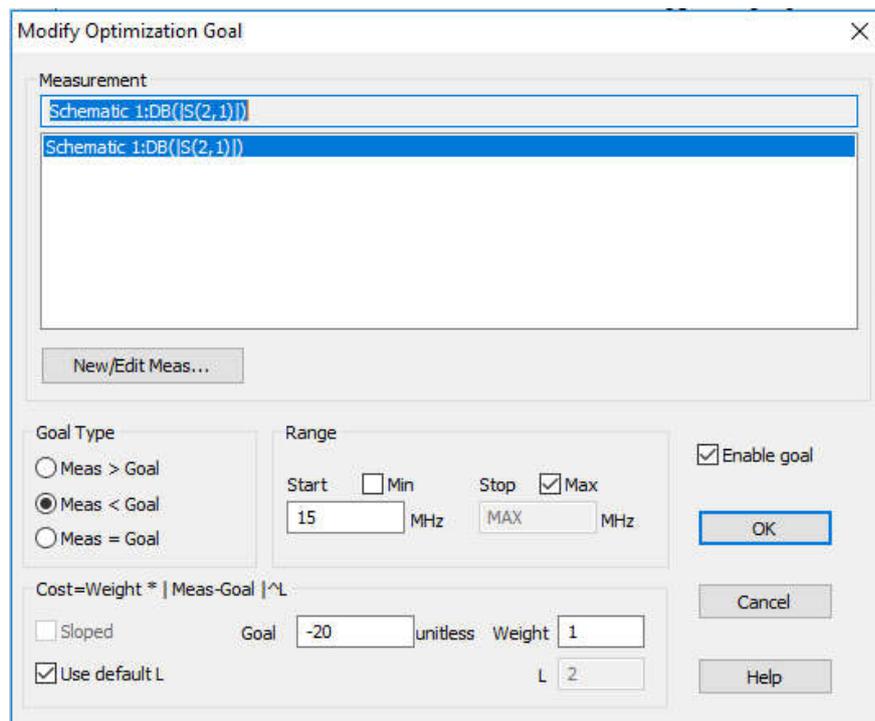


Рисунок 18. – Установка условий оптимизации

21. Запуск на оптимизацию

Из главного меню **Simulate** (Проект) выберите **Optimize**. Появится окно **Optimize** (см. рис. 19). Установите галочку **Show All Iterations** (Показать все итерации). Выберите любой из **Optimization Methods** (Методы оптимизации) из появившегося

списка. Нажмите **Start** (Старт). Форма вычертит функцию ошибки (или Cost). Когда **Cost = 0**, нажмите кнопку **Stop** (Стоп). Оптимизация завершена.

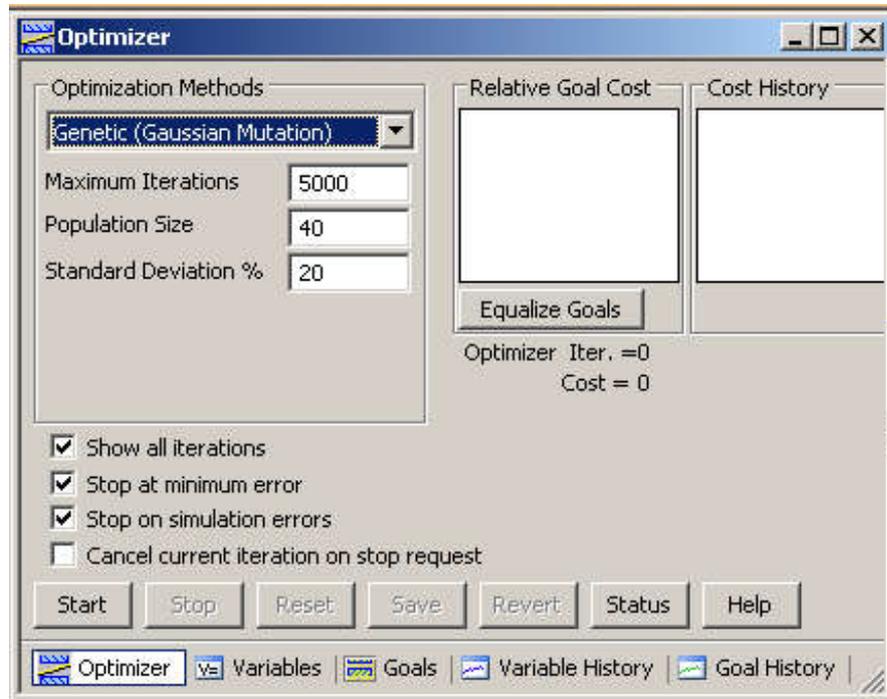


Рисунок 19. – Окно оптимизации

После оптимизации график **Passband and Stopband** должен быть похож на график, показанный на рисунке 20.

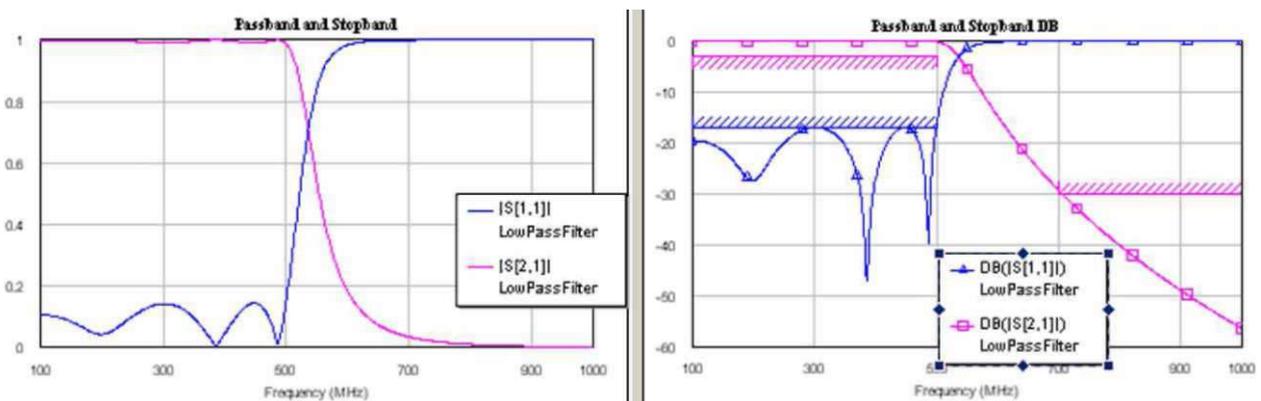


Рисунок 20. – Оптимизированные характеристики $S[1,1]$, $S[2,1]$

Контрольные вопросы

1. Что такое оптимизация и для чего она необходима?
2. Что такое варьируемый параметр и как его назначить?
3. Как задаются цели оптимизации?
4. Объясните, каким образом были выбраны условия для целей оптимизации?
5. Опишите методы оптимизации, которые вы использовали в лабораторной работе. Какой из них был эффективней?