

Министерство образования и науки Украины
Севастопольский национальный технический университет

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

по выполнению лабораторной работы

«Проектирование СВЧ фильтров»

по дисциплине

«Основы компьютерного проектирования и моделирования РЭА»

для студентов дневной и заочной форм обучения

специальности 7.090.701 - Радиотехника

Севастополь

2005

УДК 621.317.08(075.8)

Методические указания по выполнению лабораторной работы «Проектирование СВЧ фильтров». /Сост. В.В. Вертегел. - Севастополь: Изд-во СевНТУ, 2005. - 11 с.

Целью методических указаний является оказание помощи студентам в изучении автоматизации проектирования СВЧ фильтров с помощью пакета Microwave Office 2002. Излагаются основные теоретические сведения об полосковых фильтрах, программа и методика исследований, контрольные вопросы, требования к содержанию отчета.

Методические указания предназначены для студентов дневной и заочной форм обучения по специальности 7.090701 - Радиотехника в рамках дисциплины “Основы компьютерного проектирования и моделирования РЭА”.

Методические указания рассмотрены и утверждены на заседании кафедры радиотехники
№ ____ от _____ 2005 г.

Допущено учебно-методическим центром СевНТУ в качестве методических указаний

Рецензент: А.Д. Плоткин, канд. техн. наук, доцент

Содержание

1. Цель работы	4
2. Теоретические сведения	4
3. Программа и методика исследований	8
4. Содержание отчета	10
5. Контрольные вопросы	10
Библиография	10
Приложение А. Термины, используемые в Filter Synthesis Wizard.....	11

1. Цель работы

Целью лабораторной работы является ознакомление с принципами автоматизированного проектирования СВЧ фильтров с помощью программы Microwave Office 2002.

2. Теоретические сведения

Фильтром (частотно избирательным устройством) называется устройство, осуществляющее частотную селекцию сигнала - подавление колебаний одних частот и пропуск колебаний других частот.

Фильтры применяют для ограничения частот спектров излучения передатчиков, для подавления поступающих на входы приемников сигналов, лежащих вне их рабочей полосы частот, а также в многоканальных линиях связи для формирования частотного канала, деления частотного канала на несколько более узких частотных каналов. Они широко используются для разделения и сложения сигналов разных частот в преобразователях и умножителях частоты, широкополосного согласования импедансов линий с различными волновыми сопротивлениями, в цепях задержки и в качестве замедляющих систем.

Конструкции частотных фильтров на СВЧ имеет ряд особенностей в сравнении с их конструкциями на НЧ и ВЧ. В дециметровом диапазоне фильтры выполняют, как правило, на основе дискретных (сосредоточенных) конденсаторов и катушек индуктивности. В сантиметровом и миллиметровом диапазонах частот фильтры изготавливаются в виде волноводных линий с диафрагмами или штырями, расположенными внутри волновода, а также жестких коаксиальных линий с переменным сечением внутреннего проводника. В связи с широким использованием микроволновых СВЧ устройств, особый интерес представляют различные конструкции СВЧ фильтров на полосковых линиях передачи. Поскольку на границе сантиметрового и дециметрового диапазонов габаритные размеры фильтров на элементах с распределенными параметрами весьма велики, то для минимизации габаритов на частотах до 2 ГГц находят применение фильтры на элементах с сосредоточенными параметрами.

Параметры СВЧ фильтров

Фильтрующие свойства фильтра можно однозначно охарактеризовать его *затуханием* L , которое обычно выражают в децибелах. При этом полосу частот с малым затуханием называют *полосой пропускания*, а полосу частот с большим затуханием - *полосой заграждения*.

С учетом сказанного выше принята следующая классификация фильтров по виду зависимости затухания от частоты сигнала (АЧХ): фильтры нижних частот (ФНЧ), обеспечивающие прохождение нижних частот СВЧ диапазона; фильтры верхних частот (ФВЧ), пропускающие верхние частоты; полосно-пропускающие (ППФ), и полосно-заграждающие фильтры (ПЗФ), которые соответственно пропускают или подавляют требуемую полосу частот. Кроме того, каждый фильтр имеет переходную область, связывающую полосы заграждения и пропускания. Это область, в которой затухание изменяется от минимального до максимального и которая характеризуется крутизной АЧХ. Обычно стараются свести данную область к минимуму, но иногда это усложняет реализуемость фильтров. На рисунке 1 приведены типичные частотные характеристики затухания фильтров.

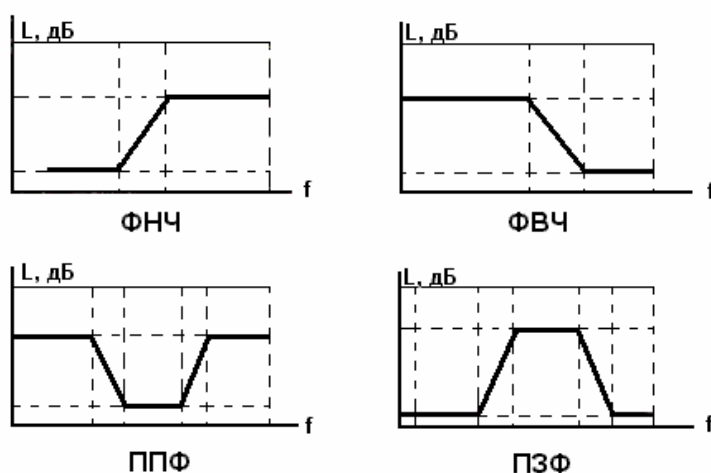


Рисунок 1.- Частотные характеристики затухания фильтров

Затухание, выраженное в децибелах, может быть определено через комплексный коэффициент передачи нормированной волновой матрицы рассеяния фильтра [S]:

$$L_{дБ} = 20 \lg |S_{21}|^{-1}. \quad (1)$$

Фазочастотной характеристикой фильтра (ФЧХ) является зависимость аргумента комплексного ко-

эфициента передачи фильтра от частоты

$$\varphi = \arg S_{21} = \arctg \frac{\operatorname{Im} S_{21}}{\operatorname{Re} S_{21}}.$$

Время прохождения сигнала с частотой f через фильтр (групповое время) определяется соотношением

$$t_{zp} = d(\varphi_p) / d(2\pi f),$$

где φ_p выражается в радианах; $2\pi f$ - в рад/с.

При проектировании фильтра указывают несколько точек на АЧХ (рисунок 2), в которых задаются следующими параметрами: L_{np} - затуханием на граничных частотах f_{n1} и f_{n2} полосы пропускания; L_0 - минимальным затуханием в полосе пропускания; L_3 - затуханием на граничных частотах f_{31} и f_{32} полосы заграждения; f_0 - средней частотой полосы пропускания; $\Pi_{np} = f_{n2} - f_{n1}$ - абсолютной полосой пропускания; $V_{np} = (f_{n2} - f_{n1}) / f_0$ - относительной полосой пропускания; $\Pi_3 = f_{32} - f_{31}$ - абсолютной полосой заграждения; $V_3 = (f_{32} - f_{31}) / f_0$ - относительной полосой заграждения; $f_{n2} / f_{n1} = (2 + \Pi_{np}) / (2 - \Pi_{np})$ - коэффициентом перекрытия; $k_n = V_3 / V_n$ - коэффициентом прямоугольности.

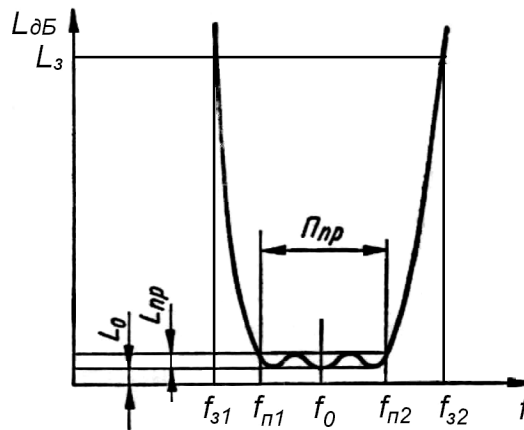


Рисунок 2.- АЧХ полосно-пропускающего фильтра

Аппроксимация функции затухания

СВЧ фильтр можно рассчитать двумя методами: подходить к расчету с электродинамической точки зрения, решая задачу распространения волн в передающих линиях, или же рассматривать вместо СВЧ фильтра эквивалентную схему LC-фильтра, что позволяет использовать хорошо известные методы расчета цепей с сосредоточенными элементами. На этапе синтеза СВЧ фильтров второй метод предпочтителен, поскольку является более простым, наглядным и удобным. Он основан на применении теории цепей к расчету основных типов фильтров на плосковых линиях. Более подробные сведения по расчету СВЧ фильтров содержатся в работах [1...5]. В [1] показано соответствие между цепями с распределенными и сосредоточенными параметрами. Это позволяет, зная параметры исходного фильтра, называемого прототипом, рассчитать требуемый фильтр СВЧ с заданной характеристикой затухания. В качестве фильтра-прототипа можно использовать фильтры нижних частот [1].

Известно несколько функций, аппроксимирующих АЧХ фильтров нижних частот без учета диссипативных потерь. При аппроксимации АЧХ максимально плоской характеристикой (характеристика Баттерворта (Butterworth)) затухание монотонно растет при отклонении частоты от средней:

$$L(\omega) = 10 \lg \left(1 + \left(\frac{\omega}{\omega_{n2}} \right)^{2n} \right),$$

где $\omega_{n2} = 2\pi f_{n2}$; n - порядок фильтра, который равен числу реактивных элементов в фильтре-прототипе НЧ.

Чебышевская характеристика затухания описывается следующими математическими выражениями:

$$L(\omega) = 10 \lg \left(1 + \eta \cdot \cos^2 \left(n \cdot \arccos \left(\frac{\omega}{\omega_{n2}} \right) \right) \right) \text{ при } \omega \leq \omega_{n2};$$

$$L(\omega) = 10 \lg \left(1 + \eta \cdot \cosh^2 \left(n \cdot \operatorname{arccch} \left(\frac{\omega}{\omega_{n2}} \right) \right) \right) \text{ при } \omega \geq \omega_{n2},$$

где $\eta = 10^{\frac{L_{os}}{10}} - 1$ - коэффициент пульсаций, L_{os} - амплитуда осцилляций, выраженная в децибелах.

Следует отметить, что для аппроксимации частотных характеристик затухания фильтров в современных программах САПР применяются, кроме рассмотренных полиномов, функции Бесселя, Гаусса, полиномы Чебышева второго рода, эллиптические функции, а также иногда ультрасферические полиномы (Гегенбауэра), полиномы Лежандра, Лагерра, Эрмита и др.

Сравним различные виды аппроксимаций. Характеристика по Баттерворту - максимально плоская в районе средней частоты и везде монотонна; характеристика по Чебышеву - в полосе пропускания носит осциллирующий характер с неизменной амплитудой осцилляций (см. рис. 2). Амплитуда осцилляций в полосе пропускания связана с крутизной характеристики в переходной области: если при неизменном порядке фильтра увеличивать крутизну характеристики, то одновременно возрастает амплитуда осцилляций. Лишь изменяя число звеньев в фильтре, можно изменить крутизну характеристики при неизменной амплитуде осцилляций. Характеристика по Баттерворту определяется одним параметром n , а по Чебышеву - двумя η и n . На скатах фильтра затухание в характеристике по Чебышеву растет в большинстве случаев быстрее на 6 ($n - 1$) дБ по сравнению с характеристикой по Баттерворту. Поэтому чебышевский фильтр имеет меньшее число элементов при одинаковых полосах пропускания и крутизне.

Увеличение порядка фильтра приводит к увеличению нелинейности фазочастотной характеристики. ФЧХ чебышевского фильтра менее линейна, чем максимально плоского. Если линейность ФЧХ фильтра - главное требование, то предпочтение отдадут фильтрам Бесселя, имеющим весьма линейную ФЧХ в полосе пропускания по сравнению с фильтрами Баттерворта и Чебышева, но гораздо худшую АЧХ. Поэтому фильтры Бесселя используют в фазовращателях и схемах, где требуется получить заданную временную задержку проходящего сигнала.

Гауссовские фильтры имеют наиболее плавный спад характеристики в полосе пропускания и наименьшее время задержки при прохождении сигнала. Отличительной особенностью этих фильтров является отсутствие выброса в импульсной характеристике. Чебышевские фильтры второго типа, также известные как инверсные чебышевские фильтры, имеют плоскую характеристику в полосе пропускания, умеренное время групповой задержки и подобную чебышевским фильтрам первого типа характеристику в полосе заграждения. Эллиптические фильтры имеют частотную характеристику подобную чебышевским фильтрам первого рода, кроме того, крутой спад характеристики в переходной области, большое время групповой задержки и наибольшее среди всех фильтров затухание в полосе заграждения.

Топологии полосковых фильтров

В основу топологии полосковых фильтров положены объемные резонаторы, соединенные между собой непосредственно, либо с помощью отрезков линий специально подобранной длины (фильтры с четвертьволновыми связями). В объемных резонаторах локализован процесс многократных отражений электромагнитного поля. Эта локализация достигается двумя способами: путем введения металлических поверхностей на границе объема и путем заполнения объема диэлектриком с высоким значением ϵ и μ . Во многих типах полосковых резонаторов используют оба способа. В качестве резонаторов, как правило, используются полуволновые и четвертьволновые отрезки полосковой линии, а также объемные резонаторы в виде диэлектрических цилиндров и параллелепипедов.

Полосковые фильтры можно разделить по способу реализации на следующие типы: тип 1 - с параллельно связанными полуволновыми резонаторами (рис. 3.1); тип 2 - с параллельными и последовательными шлейфами длиной $\lambda_0/4$, где λ_0 - длина волны в линии, соответствующая средней частоте полосы пропускания (рис. 3.2); тип 3 - с полуволновыми шлейфами и четвертьволновыми соединительными линиями (рис. 3.3, а); тип 4 - на встречных стержнях (рис. 3.3, б); тип 5 - на одиночной полосковой линии с зазорами (рис. 3.3, в); тип 6 - на меандровых линиях (рис. 3.4); тип 7 - направленные (рис. 3.5); тип 8 - на диэлектрических резонаторах (рис. 3.6, а); тип 9 - на нерегулярных полосковых линиях (рис. 3.6, б).

Рассмотрим кратко особенности указанных типов фильтров. Фильтр типа 1 на связанных линиях имеет значительные размеры, если он не сворачивается в меандр, т. е. не превращается в фильтр типа 6, который максимально использует площадь подложки. Фильтры типов 2 и 3 с параллельными и последовательными шлейфами удобно выполнять на комбинациях щелевой и микрополосковой линий. Фильтр типа 7 (рис. 3.5, б) интересен тем, что от полюса 1 к полюсу 4 - это узкополосный пропускающий, а от полюса 1 к полюсу 2 - узкополосный заграждающий. Его недостаток - большие потери в полосе пропускания (порядка 3 дБ).

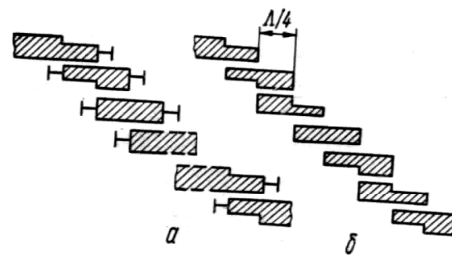


Рис. 3.1. Фильтр типа 1:
а — с закороченными резонаторами; б — с разомкнутыми резонаторами

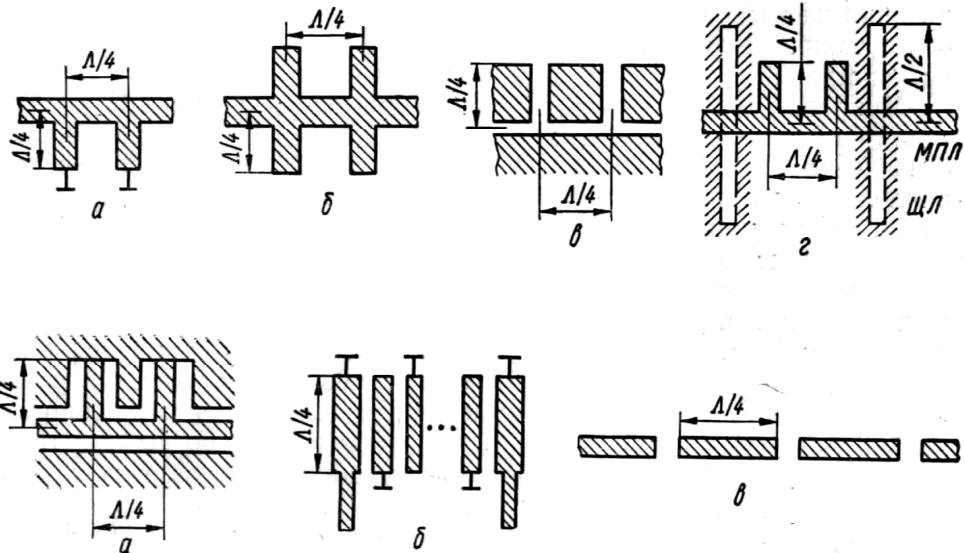


Рис. 3.2. Фильтры типа 2:
а — на МПЛ с закороченными резонаторами; б — на МПЛ с разомкнутыми резонаторами; в — на ЩЛ; г — на комбинации ЩЛ и МПЛ

Рис. 3.3. Фильтр типа 3 на КЛ (а);
фильтр типа 4 — на МПЛ (б)
и фильтр типа 5 (в)

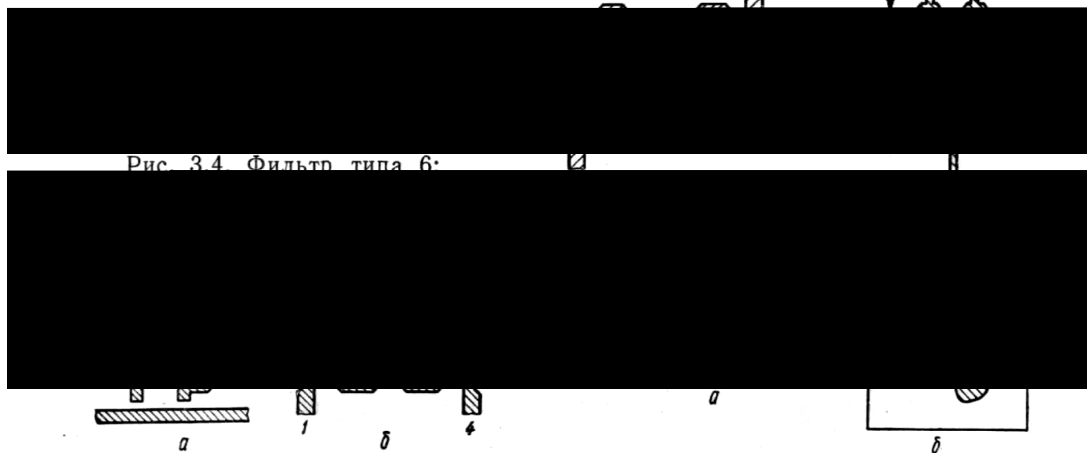


Рис. 3.4. Фильтр типа 6:

Рис. 3.5. Фильтр типа 7

Рис. 3.6. Фильтр типа 8 (а) и фильтр
типа 9 на МПЛ (б)

Фильтр типа 8 на диэлектрических резонаторах имеет крутизну скатов в 3 ... 4 раза больше, чем фильтры на микрополосковой линии, вследствие относительно высокой добротности диэлектрических резонаторов (2×10^3). Этот фильтр представляет цепочку диэлектрических резонаторов, расположенных на подложке с МПЛ, которые связаны с первым и последним резонаторами.

Фильтр типа 9 имеет ряд достоинств: отсутствие паразитных полос пропускания, малые габаритные размеры и потери. Недостаток - небольшая крутизна скатов.

Полосно-заграждающие фильтры обычно аналогичны фильтрам 2, 3, 6, 7 с тем отличием, что длина шлейфов меняется на $\pm \lambda/4$ по сравнению с полосно-пропускающими фильтрами.

3. Программа и методика исследований

Задание № 1. Синтезировать и исследовать фильтр нижних частот (ФНЧ) на сосредоточенных элементах, параметры которого определяются вариантом, выбранным в соответствии с последней цифрой номера зачетной книжки (таблица 1).

Таблица 1

Параметр	Последняя цифра номера зачетной книжки									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Граничная частота полосы пропускания f_n , (ГГц)	0,8	1,1	0,95	1,4	0,85	1	0,7	1,2	0,9	1,3
Граничная частота полосы заграждения f_3 , (ГГц)	1	1,3	1,15	1,7	1,2	1,3	0,85	1,4	1,1	1,6
Затухание L_n (дБ)	-	2,5	-	2,4	-	2,1	-	2,5	-	2,4
Затухание L_3 (дБ)	30	25	20	30	45	20	30	20	40	25
Амплитуда осцилляций L_{oc} в полосе пропускания (дБ)	0,5	-	0,2	-	0,3	-	0,25	-	0,35	-
Вид аппроксимации частотной характеристики*	Ч	Б	Ч	Б	Ч	Б	Ч	Б	Ч	Б

* Ч- аппроксимация полиномами Чебышева первого рода, Б - аппроксимация полиномами Баттерворта.

Порядок выполнения задания №1:

- 1) По исходным данным в программе Mathcad рассчитать порядок фильтра, обеспечивающий требуемый вид частотной характеристики затухания по формулам:

$$n = \frac{\lg\left(10^{\frac{L_3}{10}} - 1\right)}{2\lg\left(\frac{f_3}{f_n}\right)} \quad \text{для аппроксимации частотной характеристики ФНЧ полиномами Баттерворта;}$$

$$n = \frac{\operatorname{arch}\left(\sqrt{\frac{10^{\frac{L_3}{10}} - 1}{10^{\frac{L_{oc}}{10}} - 1}}\right)}{\operatorname{arch}\left(\frac{f_3}{f_n}\right)} \quad \text{для аппроксимации частотной характеристики ФНЧ полиномами Чебышева*}.$$

* Функция аркакосинус (**arch**) в программе Mathcad записывается как **acosh**.

Округлить рассчитанное значение n до ближайшего большего целого числа, поскольку конструкции фильтров имеют целое число звеньев.

- 2) Используя мастер синтеза фильтров программы Microwave Office синтезировать схему ФНЧ. Для этого в дереве проекта **Project** в пункте **Wizards** запустить подпрограмму **Filter Synthesis Wizard**. Перевод основных терминов **Filter Synthesis Wizard** с английского языка на русский приведён в приложении А. Для фильтров, у которых АЧХ аппроксимируется полиномами Чебышева, в качестве параметра **Passband parameter** (параметр полосы пропускания) необходимо указать **Ripple** (осцилляции) L_{oc} , а для фильтров, у которых АЧХ аппроксимируется полиномами Баттерворта, в качестве параметра **Passband parameter** необходимо указать **Max. Attenuation** (максимальное ослабление) L_n . При вводе дополнительных параметров целесообразно использовать значения, установленные в программе по умолчанию. В окне **Schematic Specification** необходимо отключить режим оптимизации (**Include Optimization Goals**) и отображение на графике параметра **Input Return Loss** (коэффициент отражения входа).
- 3) Получить частотные зависимости аргумента комплексного коэффициента передачи S_{21} в градусах и зависимости затухания фильтра в децибелах. Для этого необходимо модифицировать опции полученного графика с указанием вывода аргумента (**Angle**) параметра S_{21} , а также создать выходное уравнение, в котором по формуле (1) определить затухание L_{dB} и вывести его на второй график.
- 4) На графике частотной зависимости затухания указать маркерами затухание в полосе пропускания L_0 , затухание L_n на граничной частоте полосы пропускания, а также затухание L_3 на граничной частоте полосы заграждения. Сравнить результаты моделирования с заданными параметрами фильтра.

Задание № 2. Синтезировать и исследовать полосно-пропускающий фильтр на микрополосковой линии передачи в виде параллельно связанных полуволновых резонаторов (тип 1, рис 3.1, б). Параметры фильтра (рис.2) определяются вариантом, выбранным в соответствии с предпоследней цифрой номера зачетной книжки (таблица 2).

Таблица 2

Параметр	Предпоследняя цифра номера зачетной книжки									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Вид аппроксимации частотной характеристики*	Б	Ч	Б	Ч	Б	Ч	Б	Ч	Б	Ч
Средняя частота f_0 полосы пропускания, (ГГц)	2	5	3	4	6	7	4	3	5	8
Относительная полоса пропускания фильтра V_n	0,2	0,4	0,3	0,25	0,3	0,2	0,4	0,2	0,3	0,25
Затухание L_n на граничной частоте f_{n2} , (дБ)	3	2,5	2,1	2,4	3,1	2,1	2,8	2,5	3,3	2,4
Граничная частота полосы заграждения f_{32} , (ГГц)	$1,2 f_{n2}$	$1,3 f_{n2}$	$1,1 f_{n2}$	$1,25 f_{n2}$	$1,2 f_{n2}$	$1,25 f_{n2}$	$1,1 f_{n2}$	$1,3 f_{n2}$	$1,25 f_{n2}$	$1,2 f_{n2}$
Затухание L_3 , на частоте f_{32} , (дБ)	30	40	20	30	45	50	30	20	50	25
Амплитуда осцилляций L_{oc} в полосе пропускания, дБ	-	0,5	-	0,2	-	0,3	-	0,25	-	0,35

Порядок выполнения задания №2:

1. По заданным значениям относительной полосы пропускания фильтра V_n и её средней частоты f_0 рассчитать значения граничных частот полосы пропускания

$$f_{n1} = f_0 - f_0 \cdot V_n / 2, \quad f_{n2} = f_0 + f_0 \cdot V_n / 2.$$

2. Рассчитать порядок фильтра, обеспечивающий требуемый вид частотной характеристики затухания по формулам:

$$n = \frac{\lg \left(10^{\frac{L_3}{10}} - 1 \right)}{2 \lg \left(\frac{f_{32} - f_0}{f_{n2} - f_0} \right)} \quad \text{для аппроксимации частотной характеристики ППФ полиномами Баттерворта;}$$

$$n = \frac{\operatorname{arch} \left(\sqrt{\frac{10^{\frac{L_3}{10}} - 1}{10^{\frac{L_{oc}}{10}} - 1}} \right)}{\operatorname{arch} \left(\frac{f_{32} - f_0}{f_{n2} - f_0} \right)} \quad \text{для аппроксимации частотной характеристики ППФ полиномами Чебышева*}.$$

Округлить рассчитанное значение n до ближайшего большего целого числа.

* Функция ареакосинус (**arch**) в программе Mathcad записывается как **acosh**.

3. Создать новый проект, в котором, используя мастер синтеза фильтров **Filter Synthesis Wizard**, по заданным и рассчитанным параметрам фильтра синтезировать его схему, указывая в окнах диалога необходимые параметры.
4. Создать графики частотных зависимостей затухания $L_{об}$ и аргумента комплексного коэффициента передачи S_{21} фильтра.
5. На графике частотной зависимости затухания указать маркерами минимальное затухание в полосе пропускания L_0 , амплитуду осцилляций L_{oc} (для чебышевского фильтра), а также затухания на граничных частотах полос пропускания L_n и заграждения L_3 . Сравнить результаты моделирования с заданными параметрами фильтра.
6. Получить топологию фильтра.

4. Содержание отчета

Отчет о лабораторной работе должен содержать:

- цель работы;
- формулы и результаты расчета параметров проектируемых устройств;
- графики частотных зависимостей параметров синтезированных фильтров;
- топологию проектируемого ППФ в двухмерном представлении;
- выводы по результатам работы.

5. Контрольные вопросы

1. Основные определения, область применения СВЧ фильтров.
2. Параметры СВЧ фильтров.
3. Виды аппроксимации частотных характеристик фильтров.
4. Способы реализации фильтров.
5. Топология, принцип работы полосно-пропускающих фильтров.
6. Топология, принцип работы полосно-заграждающих фильтров.
7. Возможности мастера синтеза фильтров Filter Synthesis Wizard программы Microwave Office 2002.
8. Назначение пунктов главного меню Filter Synthesis Wizard программы Microwave Office 2002.

Библиография

1. Фуско В. СВЧ цепи. Анализ и автоматизированное проектирование: Пер. с англ.- М.: Радио и связь, 1990.- 288 с.
2. Бова Н.Т. Микроэлектронные устройства СВЧ/ Н.Т. Бова, Ю.Г. Ефремов и др. К.: Техника, 1984.- 184 с.
3. Нефёдов Е.И. Полосковые линии передачи (Электродинамические основы автоматизированного проектирования интегральных схем СВЧ).- 2-е изд., доп. и перераб./ Е.И. Нефёдов, А.Т. Фиалковский.- М.: Наука, 1980 312 с.
4. Малорацкий Л.Г. Проектирование и расчет СВЧ элементов на полосковых линиях/ Л.Г. Малорацкий, Л.Р. Явич. - М.: Советское радио, 1972.- 232 с.
5. Справочник по элементам полосковой техники/ Под ред. А.Л. Фельдштейна.- М.: Связь, 1979.- 336 с.

Приложение А

Термины, используемые в Filter Synthesis Wizard

Lowpass - фильтр нижних частот,

Bandpass - полосно-пропускающий фильтр,

Bandstop - полосно-заграждающий фильтр,

Hightpass - фильтр верхних частот,

Filter Order (N) - порядок фильтра,

Band Edge Frequency (FC) - граничная частота полосы пропускания,

Lover Edge of Passband (FL) - нижняя частота полосы пропускания;

Upper Edge of Passband (FH) - верхняя частота полосы пропускания

Passband Parameter (PP) - название параметра полосы пропускания,

- **Ripple [dB]** - осцилляции;
- **Max. Attenuation [dB]** - максимальное ослабление;

Passband Parameter (PV) - величина параметра полосы пропускания;

Source Resistance - выходное сопротивление источника сигнала;

load Resistance - сопротивление нагрузки;

Lumped Element - элемент с сосредоточенными параметрами;

Ideal Transmission Line - идеальная линия передачи;

Series Element First - первый элемент последовательно включенный;

Shunt Element First - первый элемент параллельно включенный;

Include Optimization Goals - включить режим оптимизации;

Create Graph - создать график;

Filter Response - частотная характеристика фильтра;

Input Return Loss (S11) - коэффициент отражения входа;

Forward Transfer (S21) - прямой коэффициент передачи;

Ideal Electrical Model - идеальная электрическая модель;

Hairpin Resonator - фильтр на шпильчных резонаторах;

Interdigital Resonator- фильтр на встречно-штыревых резонаторах;

Combine Resonator - фильтр на комбинированных резонаторах;

Shunt Stub Transmission Line - фильтр на параллельных закороченных резонаторах;

Parallel Coupled Half-Wave Resonator - фильтр на полуволновых связанных резонаторах.