

РГБ ОД

На правах рукописи

НИКИТИНА Мария Ивановна

СИСТЕМА
ПРОЕКТИРОВАНИЯ МИКРОПОЛОСКОВЫХ
ПОЛОСНО-ПРОПУСКАЮЩИХ ФИЛЬТРОВ



Специальность 05.12.21 - Радиотехнические системы специального назначения, включая технику СВЧ и технологию их производства

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Красноярск - 1998

Работа выполнена в лаборатории Электродинамики и СВЧ электроники Института физики им. Л.В. Киренского СО РАН.

Научные руководители:

доктор технических наук
Б.А. Беляев,
кандидат физико-математических наук
В.В. Тюрнев.

Официальные оппоненты:

доктор технических наук, профессор
В.Б. Кашкин


кандидат физико-математических наук
В.М. Владимиров

Ведущая организация: Сибирский физико-технический институт, г. Томск

Защита состоится « 2 » март 1998 г. в 14 часов на заседании диссертационного совета Д.064.54.03 Красноярского государственного технического университета по адресу: 660074, г. Красноярск, ул. Киренского, 26, Красноярский государственный технический университет.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке КГТУ.

Автореферат разослан « 25 » март 1998 года.

Ученый секретарь
диссертационного совета  Ю.П. Саломатов

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. Микрополосковые фильтры (МПФ) широко используются в технике СВЧ. Это объясняется рядом причин. К ним относятся: высокая надежность, хорошая воспроизводимость параметров, сравнительно низкая стоимость при массовом производстве, малые масса и габаритные размеры при требуемых электрических характеристиках. При этом существенным моментом является тот факт, что их проектирование и производство в достаточной степени может быть автоматизировано.

До настоящего времени проектирование СВЧ устройств, в частности микрополосковых фильтров, является задачей, решение которой под силу лишь высококвалифицированным специалистам в области СВЧ техники. Существующие программные средства проектирования СВЧ устройств, к ним относятся такие известные пакеты САПР, как *SUPER-COMPACT^R*, *TOUCHSTONE*, *FAGOT*, в значительной мере ориентированы также на высококвалифицированных специалистов. Поэтому задача создания программного обеспечения, способного максимально упростить и ускорить труд конструктора, является актуальной.

Для того чтобы программа, предназначенная для решения задач в конкретной области, могла в процессе работы помочь пользователю определенными советами, необходимо обеспечить её комплексом специальных знаний. Такая программа, обладающая свойствами искусственного интеллекта, называется экспертной системой. При разработке экспертной системы приходится решать большой круг вопросов, связанных с накоплением знаний, определением формы их представления. Поэтому актуальной является задача экспертной оценки известных конструкций микрополосковых фильтров на предмет перспективности включения их в систему.

Также актуальна задача накопления и формализации знаний о свойствах этих конструкций.

В связи с постоянным появлением новых конструкций МПФ, а также накоплением опыта работы с ними, необходимо, чтобы программное обеспечение для их проектирования было открытым к дополнению и модернизации. Поэтому разработка принципов построения программного обеспечения, отвечающего указанному требованию, является актуальной.

Одной из основных целей автоматизированного проектирования является сокращение, насколько это возможно, времени на экспериментальную доводку разработанного устройства. Достижение этой цели обеспечивается использованием адекватных расчетных моделей, а также применением различных методов оптимизации параметров конструкции. Поэтому актуальной является задача разработки новых эффективных методов оптимизации, снижающих временные затраты на разработку устройств.

Целью настоящей работы является: разработка принципов построения и реализация программного обеспечения, максимально облегчающего работу проектировщика микрополосковых фильтров, открытого к расширению и модернизации. Для достижения этих целей в диссертационной работе поставлены и решаются следующие задачи:

- 1) проведение экспертной оценки ряда используемых конструкций МПФ и формирование банка оптимальных конструкций;
- 2) проведение расчетных экспериментов по выявлению закономерностей поведения избирательности ряда конструкций МПФ;
- 3) разработка эффективного метода оптимизации конструктивных параметров МПФ;
- 4) определение формы представления знаний по проектированию и инструментальных средств для построения экспертной системы;

- 5) разработка архитектуры экспертной системы, обеспечивающей возможность расширения и модернизации;
- 6) программная реализация экспертной системы по синтезу микрополосковых полосно-пропускающих фильтров.

Научная новизна работы. Новые научные результаты, полученные в работе, состоят в следующем.

1. Исследована зависимость избирательности микрополосковых фильтров на параллельно связанных резонаторах от длины области связи резонаторов. Показано, что традиционные фильтры на параллельно связанных резонаторах имеют неоптимальную длину области связи с точки зрения реализации симметричной амплитудно-частотной характеристики (АЧХ). Получены оптимальные значения относительных величин смещения резонаторов друг относительно друга, обеспечивающие либо симметричную АЧХ с максимальной прямоугольностью, либо максимальную крутизну низкочастотного или высокочастотного склонов АЧХ.

2. Разработаны принципы построения и программно реализована экспертная система по синтезу микрополосковых полосно-пропускающих фильтров, обладающая свойством открытости к модернизации и расширению, а также способностью накапливать опыт проектирования.

3. Разработан новый эффективный метод оптимизации конструктивных параметров микрополосковых фильтров.

Практическая ценность. Полученные результаты по зависимости асимметрии склонов АЧХ от длины области связи резонаторов могут быть использованы при практической реализации и настройке фильтров на параллельно связанных резонаторах. Созданная экспертная система является удобным средством проектирования МПФ, не требующим от пользователя особых навыков работы с ней и высокой квалификации в области проектирования. Система может быть использована также для исследования новых конст-

рукций МПФ. Прикладная значимость работы состоит также в разработке нового эффективного метода оптимизации, который может быть использован для оптимизации параметров широкого класса СВЧ фильтров.

Внедрение результатов работы. Созданная экспертная система FILTEX внедрена и активно используется в в/ч 35533 (г. Москва), а также в учебном процессе кафедры «Радиотехнических систем СВЧ» Красноярского государственного технического университета.

Апробация работы. Основные материалы диссертации докладывались на 1-ой Крымской конференции "СВЧ-техника и спутниковый прием" (Севастополь, 1991), ИИЭР - Российской конференции: "Микроволновая электроника больших мощностей: измерения, идентификация, применение" (Новосибирск, 1997), Международной научно-технической конференции «Спутниковые системы связи и навигации» (Красноярск, 1997).

На защиту выносятся:

- 1) результаты исследований избирательности микрополосковых фильтров на параллельно связанных резонаторах;
- 2) экспертная система для проектирования микрополосковых полосно-пропускающих фильтров;
- 3) новый метод оптимизации параметров СВЧ фильтров.

Структура диссертации. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка цитированной литературы и приложений. Общий объем диссертации - 151 страница, включая 56 рисунков, 3 таблицы, 11 страниц приложения. Библиографический список содержит 55 наименований.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении дано обоснование актуальности темы диссертационной работы, сформулированы основные задачи исследований, пе-

речислены основные полученные результаты с указанием их практической значимости.

Первая глава диссертации носит обзорный характер. В первом разделе рассматриваются существующие методы синтеза фильтров полосковых и микрополосковых конструкций. Отмечаются преимущества и недостатки прямого синтеза. Формулируются основные положения параметрического синтеза МПФ.

Второй раздел содержит краткие характеристики существующих САПР по разработке СВЧ устройств. Среди них - широко известные САПР - SUPER-COMPACT, TOUCHSTONE. Отмечены их универсальность, но в тоже время трудоемкость процесса разработки устройств с их помощью, необходимость высокой квалификации у разработчика. Упомянуты также программы ФАГОТ, ФИЛЬТР СВЧ, MIC OPTIMIZER, LINMIC.

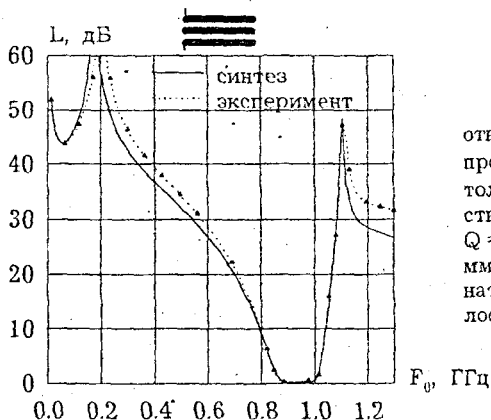
В третьем разделе изложены основные подходы к построению особого типа программного обеспечения (ПО) - экспертных систем (ЭС), предназначенных для эффективного решения задач в трудно формализуемых областях. Отмечается перспективность использования технологии создания ЭС при разработке ПО для проектирования СВЧ устройств.

Во второй главе изложены результаты исследований влияния симметрии расположения полосок микрополосковых резонаторов (МПР), длины их области связи, а также конструктивных параметров на избирательность МПФ. Исследования проводились методом расчетного эксперимента.

Первый раздел содержит описание используемого в работе метода расчета характеристик МПФ. Расчет фильтров проводится в приближении длинных линий. Параметры основных типов волн для отрезков связанных микрополосковых линий (МПЛ) рассчитываются в квазистатическом приближении. Влияние высших типов волн на разомкнутых отрезках МПЛ учитывается введением эф-

эффективных концевых емкостей. Дисперсия эффективной диэлектрической проницаемости учитывается в рамках приближенной аналитической модели. Наличие потерь учитывается введением мнимой части у волнового числа $k \rightarrow k(1+i/2Q_0)$, где Q_0 - экспериментально измеренная собственная добротность МПР.

Используемый метод расчета при выполнении условий применимости квазистатического приближения обеспечивает приемлемое согласие между экспериментальными и рассчитанными АЧХ фильтров, что позволило проводить исследования свойств микрополосковых конструкций методом расчетного эксперимента. На Рис. 1. приведено сравнение результатов счета и экспериментальных данных для трехзвенного микрополоскового фильтра решетчатого типа со смежным расположением точек кондуктивного подключения к внешним линиям передачи. Значения конструктивных параметров экспериментального фильтра, являющиеся и параметрами расчетной модели также приведены на рисунке.



относительная диэлектрическая проницаемость подложки $\epsilon_r = 80$; толщина подложки $h_d = 1.5$ мм; собственная добротность резонаторов $Q = 400$; длина резонатора $L_r = 12$ мм; зазор между полосками резонаторов $S = 1.05$ мм; ширина полоски резонатора $W = 3.05$ мм

Рис. 1. Расчетная и экспериментальная АЧХ трехзвенного фильтра на регулярных полуволновых резонаторах

Автором написаны программы расчета трехзвенных конструкций МПФ со смежным и диагональным кондуктивным подключением к внешним 50-омным линиям передачи. Исследованы зависи-

мости минимумов и максимумов прохождения СВЧ мощности от длины области связи резонаторов и других конструктивных параметров. Показаны возможности формирования полюсов затухания вблизи полосы пропускания. Отмечено, что конструкция с диагональным подключением и лестничным расположением полосок МПР позволяет реализовать фильтры с симметричной АЧХ и максимальным коэффициентом прямоугольности.

Методом расчетного эксперимента исследован ряд четырехзвенных конструкций МПФ (Рис. 2). Для каждой конструкции получены зависимости коэффициентов крутизны склонов АЧХ от величины смещения резонаторов друг относительно друга при фиксированных центральной частоте, ширине полосы пропускания и уровне обратных потерь в полосе пропускания.

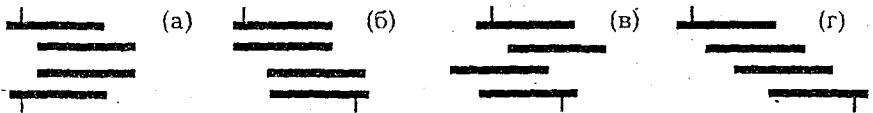


Рис. 2. Четырехзвенные конструкции МПФ

Коэффициенты крутизны рассчитывались по следующим формулам:

$$K_s = \frac{\Delta F_3}{\Delta F_{30} - \Delta F_3}, \quad K_l = \frac{\Delta F_3 / 2}{\Delta F_l - \Delta F_3 / 2}, \quad K_h = \frac{\Delta F_3 / 2}{\Delta F_h - \Delta F_3 / 2},$$

где K_s - общий коэффициент крутизны, K_l , K_h - коэффициенты крутизны соответственно низкочастотного и высокочастотного склонов, ΔF_3 - ширина полосы пропускания по уровню 3 дБ, ΔF_l - ширина полосы частот от центра полосы пропускания до низкочастотного склона на уровне 30 дБ, ΔF_h - ширина полосы частот от центра полосы пропускания до высокочастотного склона на уровне 30 дБ.

Анализ зависимостей коэффициентов крутизны приводит к выводу, что конструкция (б) на Рис. 2 позволяет реализовать АЧХ с крутым высокочастотным склоном ($K_h > 2$), конструкция (г) - симметричную АЧХ с максимальным K_s , кроме того, изменяя в ней длину области связи резонаторов, можно получить более крутой низкочастотный или высокочастотный склон (Рис. 3).

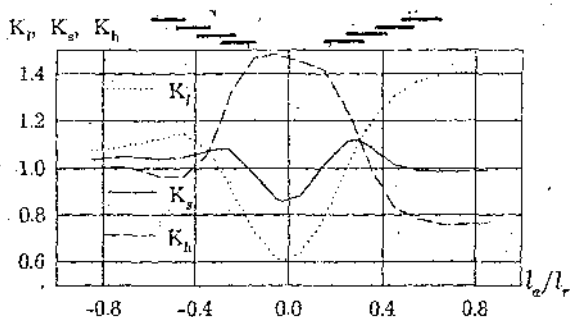


Рис. 3. Зависимость коэффициентов крутизны от величины относительного смещения резонаторов

Характер приведенных на Рис. 3 зависимостей сохраняется для любой фиксированной полосы пропускания, независимо от числа звеньев в конструкции, диэлектрической проницаемости подложки, соотношения ширины полосок МПР и толщины подложки. При этом всегда существует единственное значение сдвига резонаторов, которое обеспечивает симметричную форму АЧХ и максимальную прямоугольность характеристики. Относительная величина такого сдвига l_a/l_r колеблется в пределах от 0,23 до 0,33 в зависимости от параметров фильтра. Максимальную крутизну высокочастотного склона обеспечивает относительный сдвиг $l_a/l_r \approx 0 \pm 0,1$. Максимальная крутизна низкочастотного склона достигается при относительном сдвиге в пределах от 0,65 до 0,75 в зависимости от других параметров.

Полученные результаты стали частью базы знаний созданной экспертной системы FILTEX.

В третьей главе описаны назначение, структура и основные функции компонентов экспертной системы FILTEX.

ЭС FILTEX предназначена для автоматизированного проектирования микрополосковых полосно-пропускающих фильтров. Набор конструкций, которым оперирует ЭС в данный момент, позволяет синтезировать фильтры с центральной частотой полосы пропускания в диапазоне от 50 МГц до 20 ГГц с относительной шириной полосы пропускания от 2 до 100 %.

Экспертная система позволяет пользователю работать в двух режимах – ручном и автоматическом. В ручном режиме последовательность шагов при проектировании задает сам проектировщик. Этот режим предназначен для опытных пользователей. В автоматическом режиме процесс проектирования проходит в форме «вопрос-ответ», большинство функций система выполняет либо без участия пользователя, либо давая ему советы по дальнейшим действиям. Ручной режим работы схож с работой в обычной САПР, автоматический режим – с работой в традиционной экспертной системе.

На Рис. 4 приведена структурная схема экспертной системы FILTEX. Система включает как компоненты, характерные для экспертных систем, так и компоненты, присущие САПР СВЧ устройств.

К первым относятся: словарь системы, база знаний, включающая базу правил и базу текстов, программа применения знаний (ППЗ). Для наполнения базы знаний и создания ППЗ в системе включена инструментальная оболочка LUSY_S [1]. Программа

¹ Ноженкова Л.Ф. Решение задач интерпретации данных в системах искусственного интеллекта. Красноярск, 1994, 285 с. - Деп. в ВИНТИ 18.04.95, № 1072-В95.

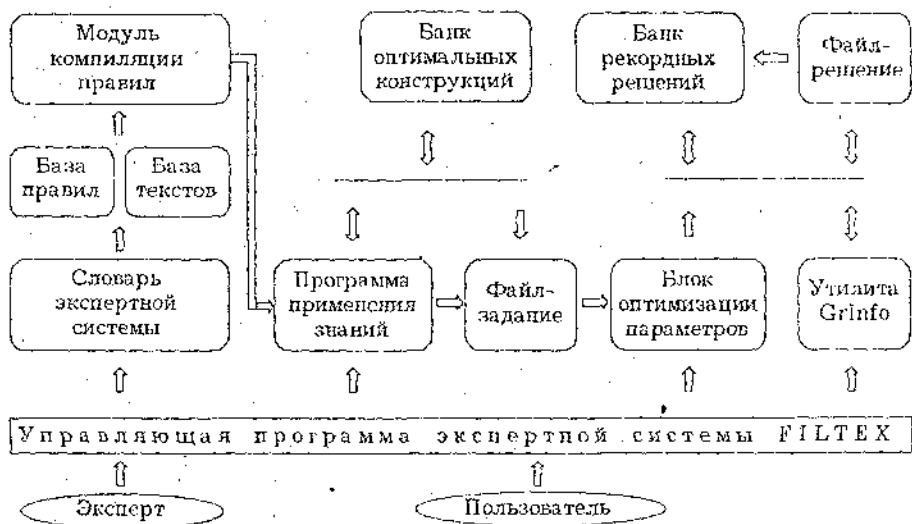


Рис. 4. Структурная схема экспертной системы FILTEX

применения знаний является результатом компиляции базы знаний и реализует автоматический режим работы системы.

Второй ряд компонентов включает: банк оптимальных конструкций (БОК); банк рекордных решений (БРР), блок оптимизации параметров, графический выюер GrInfo, а также управляющую программу, модуль ввода технического задания (ТЗ), модуль работы с БОК, модуль работы с БРР.

Проектирование устройств в системе FILTEX включает следующие шаги:

- 1) ввод технического задания на проектируемое устройство;
- 2) выбор конструкции фильтра;
- 3) выбор начальных значений конструктивных параметров;
- 4) оптимизацию конструктивных параметров;
- 5) вывод результатов проектирования.

Техническое задание включает параметры полосы пропускания, параметры полос заграждения и некоторые конструктивные параметры. Параметры полосы пропускания содержат: центральную

частоту и частотные границы полосы пропускания, уровень потерь, по которому определяется полоса пропускания, уровень минимальных обратных потерь в полосе пропускания. К параметрам полос заграждения относятся контролируемые частоты и уровни заграждения на них. Из конструктивных параметров в ТЗ задаются: диэлектрическая проницаемость подложки, толщина диэлектрической подложки, расстояние до экранирующей крышки, собственная добротность резонаторов.

Структурный синтез, т.е. определение конструкции проектируемого фильтра, в системе частично автоматизирован путем создания банка оптимальных конструкций (БОК). Система формирует в соответствии с имеющимися у нее знаниями список конструкций из БОК, потенциально пригодных для выполнения введенного ТЗ. Пользователь выбирает конструкцию из этого списка. Модуль работы с БОК предоставляет информационную помощь по топологии и конструктивным параметрам.

В банк включены только те конструкции, которые, во-первых,

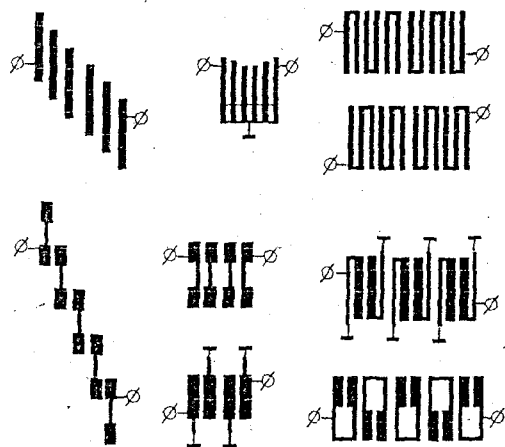


Рис. 5. Примеры конструкций из БОК

имеют определенные преимущества перед другими (лучшая селективность, малые габариты и др.), во-вторых, используемый в системе метод расчета фильтров, дает хорошее совпадение расчетных и экспериментальных данных для этих конструкций. В настоящее время банк содержит более 20 конструкций. Часть из них приве-

дена на Рис. 5. Пополнение банка новыми конструкциями не требует изменения рабочих модулей системы.

Задача оптимизации параметров в системе FILTEX разбита на две задачи — оптимизацию с целью формирования требуемой полосы пропускания и оптимизацию с целью достижения требуемых уровней загораждения. Соответственно на две группы разбиты конструктивные параметры, варьированием которых решаются указанные задачи.

Первая задача решается без участия пользователя программами формирования полосы пропускания (ФПП). Для каждой конструкции существует своя программа ФПП. Программа ФПП рассчитывает АЧХ конструкции и оптимизирует первую группу параметров. Оптимизация параметров производится эффективным методом, описанным в четвертой главе. Начальные значения оптимизируемых параметров пользователь выбирает из БРР.

Банк рекордных решений системы представляет собой совокупность файлов рекордов (по одному на конструкцию), содержащих электрические характеристики и значения конструктивных параметров ранее синтезированных фильтров. Во избежание неограниченного роста файла рекордов все пространство возможных решений разбито на классы. Класс решения характеризуется семью разрядами. Разряды определяют интервалы значений параметров полосы пропускания и некоторых параметров конструкции для решений, попадающих в один класс. В файл попадают только те решения, которые являются рекордными в своем классе. Рекордность решения определяется по значениям коэффициентов крутизны, рассчитанных для уровней 30 и 40 дБ. Создается файл рекордов и пополняется в процессе работы самой системой.

Вторая задача оптимизации — достижение требуемых уровней загораждения — решается с участием пользователя посредством перебора конструкций или варьированием тех параметров, которые

не изменялись при решении первой задачи. После каждой коррекции параметров вновь запускается программа ФПП.

В автоматическом режиме работа пользователя максимально облегчена. Это достигается тем, что программа применения знаний выполняет следующие функции:

- формирует список устройств, потенциально пригодных для выполнения ТЗ;
- анализирует причины и предлагает пути решения проблемы, если список устройств оказывается пуст;
- выбирает из банка решений начальное приближение и формирует файл-задание для программы ФПП;
- формирует промежуточный файл-задание, если найденное в БРР решение далеко от требуемого и обеспечивает тем самым результативную работу программы ФПП;
- анализирует файл-решение, являющийся результатом работы программы ФПП;
- оптимизирует длину связи резонаторов в фильтрах на параллельно связанных резонаторах.

Результаты проектирования можно проанализировать на экране дисплея и вывести на печать с помощью утилиты GrInfo. Утилита позволяет увидеть частотную зависимость прямых и обратных потерь, фазочастотную характеристику, частотную зависимость изменения группового времени запаздывания, а также эскиз топологии фильтра с указанием координат вершин полосок МПР.

В четвертой главе в первом разделе изложены физические основы оптимальной настройки микрополосковых фильтров с заданной полосой пропускания. Сформулированы $n+1$ условие, которым должен удовлетворять оптимально настроенный фильтр с числом резонаторов равным n . Указаны необходимые операции

коррекции конструктивных параметров, устраняющие тот или иной тип искажения АЧХ.

Во втором разделе описан оригинальный метод оптимизации параметров СВЧ фильтров, разработанный в процессе создания системы FILTEX. В предлагаемом методе вместо скалярной целевой функции введен вектор отклонения D . Этот вектор характеризует степень отклонения текущей АЧХ фильтра в области полосы пропускания от требуемой. Размерность вектора D равна $n+1$, где n - число резонаторов в фильтре. Для каждой компоненты D_i построен свой оператор коррекции конструктивных параметров C_i , замечательный тем, что при его воздействии на параметры существенно изменяется только компонента D_i . Например, для четырехзвенного фильтра компоненты вектора D и соответствующие им операторы коррекции имеют вид:

$$D_1 = (F_0 - F_{0 \text{ тек}})/F_0$$

$$\hat{C}_1 = \sum_{k=1}^m \hat{f}_k, \text{ где } m = [(n+1)/2]$$

$$D_2 = (\Delta F - \Delta F_{\text{тек}})/\Delta F$$

$$\hat{C}_2 = \sum_{k=1}^{n-m} \hat{c}_k,$$

$$D_3 = \frac{n+1}{2} (\bar{R} - R_{\text{мин}})$$

$$\hat{C}_3 = \hat{t},$$

$$D_4 = R_2 - (R_1 + R_3),$$

$$\hat{C}_4 = 1/2 \hat{c}_1 - \hat{c}_2,$$

$$D_5 = R_1 - R_3,$$

$$\hat{C}_5 = \hat{f}_1 - \hat{f}_2,$$

где F_0 - центральная частота полосы пропускания, ΔF - ширина полосы пропускания, \bar{R} - средний уровень минимумов обратных потерь в полосе пропускания, $R_{\text{мин}}$ - требуемый уровень минимумов обратных потерь, R_i - i -ый минимум обратных потерь, \hat{f}_k - оператор, корректирующий резонансную частоту k -ого резонатора, \hat{c}_k - оператор, корректирующий величину связи k -ой пары резонаторов, \hat{t} - оператор, корректирующий величину связи крайних резонаторов с внешними линиями передачи. Вектор отклонения и

операторы коррекции построены для фильтров с числом резонаторов от трех до шести.

Цель оптимизационного процесса – обнуление компонент вектора отклонения. Использование вектора D с операторами S_i позволяет сократить число итераций благодаря тому, что по величинам компонент D_i можно определить какие параметры нуждаются в коррекции в первую очередь и оценить степень требуемой коррекции.

В пятой главе проведено сравнение характеристик фильтров, синтезированных в системе FILTEX и изготовленных по результатам синтеза. Представлены четырехзвенный фильтр на регулярных полуволновых резонаторах и четырехзвенный фильтр на встречно направленных шпилечных резонаторах. Результаты сравнения для одного из них вместе с параметрами конструкции приведены на Рис. 6. Отмечается хорошее согласие результатов синтеза и экспериментальных данных.

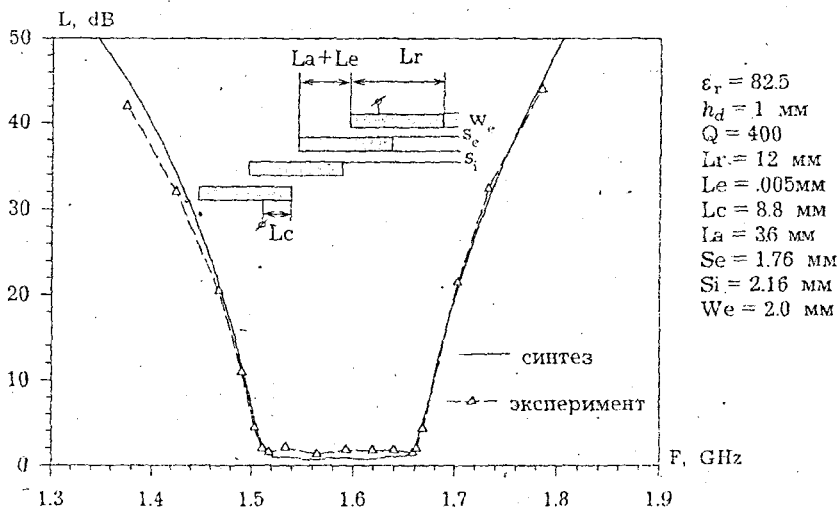


Рис. 6. Сравнение синтезированной и экспериментальной АЧХ для четырехзвенного фильтра

В этой же главе обсуждаются возможности развития экспертной системы FILTEX за счет включения новых конструкций МПФ и расширения базы знаний системы.

В заключении приведены основные результаты работы, состоящие в следующем.

1. Исследованы селективные свойства ряда конструкций трехзвенных и четырехзвенных микрополосковых фильтров на параллельно связанных резонаторах с различной симметрией расположения полосок МПР. Показано, что конструкция с лестничным расположением резонаторов позволяют реализовывать фильтры с симметричной АЧХ и при этом с максимально возможным коэффициентом крутизны склонов. Кроме того, эта конструкция позволяет плавно менять крутизну низкочастотного и высокочастотного склонов. Из четырехзвенных конструкций выделена также конструкция с диагональным расположением точек кондуктивного подключения и такой раздвижкой резонаторов, при которой внешние резонаторы вместе с соседними внутренними резонаторами сдвигаются в противоположных направлениях. Показано, что на основе этой конструкции можно синтезировать фильтр с высокой крутизной высокочастотного склона.

2. Исследовано влияние длины области связи резонаторов на асимметрию склонов амплитудно-частотной характеристики фильтров на параллельно связанных МПР. Получены зависимости коэффициентов крутизны склонов амплитудно-частотной характеристики от длины области связи МПР в двух-, трех-, четырех- и пятизвенных фильтрах. Получены интервалы значений смещения резонаторов, позволяющие реализовать заданный тип АЧХ.

3. Разработан и использован в экспертной системе FILTEX новый эффективный метод оптимизации параметров СВЧ фильтров.

4. Создана экспертная система для проектирования микрополосковых полосно-пропускающих фильтров с относительной шириной полосы пропускания от 2% до 100% в диапазоне частот от 50 МГц до 20 ГГц. Экспертная система отвечает основным требованиям, предъявляемым к программам САПР, и имеет:

- удобный способ ввода технического задания;
- достаточно высокую точность расчета характеристик синтезируемого устройства;
- сравнительно малое время оптимизации параметров;
- пополняемый банк оптимальных конструкций МПФ;
- наглядный графический вывод информации.

С другой стороны, созданный пакет программ обладает преимуществами экспертной системы.

- Имеет базу знаний, содержащую опыт проектирования МПФ.
- Обладает свойством накопления информации о характеристиках каждой конструкции фильтра.
- Включает в себя инструментальную оболочку, позволяющую расширять базу знаний ЭС.

В приложениях приведены описание инструментальной оболочки, используемой при создании программы применения знаний, акт о внедрении экспертной системы FILTEX в в/ч 35533.

Публикации по работе.

1. Б.А. Беляев, М.И. Никитина, В.В. Тюрнев. Трехзвенный микрополосковый фильтр на подложке с высокой диэлектрической проницаемостью. Материалы 1-ой Крымской конференции "СВЧ-техника и спутниковый прием", 1991.
2. Б.А. Беляев, М.И. Никитина, В.В. Тюрнев. Трехзвенный микрополосковый СВЧ фильтр. - Препринт № 710Ф. - Институт физики СО РАН, Красноярск, 1992, 60 с.

3. Б.А. Беляев, М.И. Никитина, В.В. Тюрнев. Влияние длины области связи микрополосковых резонаторов на избирательность полосно-пропускающих фильтров. – Электронная техника. Сер. СВЧ-техника, 1993, вып. 5-6, с. 11-15.
4. Беляев Б.А., Никитина М.И., Тюрнев В.В. Синтез микрополосковых фильтров по заданной полосе пропускания. – Препринт № 760Ф, Институт физики СО РАН, Красноярск, 1995, 27 с.
- 5: Б.А. Беляев, М.И. Никитина, В.В. Тюрнев. Физические аспекты оптимальной настройки микрополосковых фильтров. – Препринт № 768Ф. – Институт физики СО РАН, Красноярск, 1996, 41 с.
6. Беляев Б.А., Никитина М.И., Тюрнев В.В. Эффективный метод оптимизации микрополосковых фильтров. – Труды ИИЭР – Российской конференции: "Микроволновая электроника больших мощностей: измерения, идентификация, применение", Новосибирск, 1997, стр. 104-109.
7. Беляев Б.А., Никитина М.И., Тюрнев В.В. Экспертная система FILTEX для синтеза микрополосковых фильтров. Труды ИИЭР – Российской конференции: "Микроволновая электроника больших мощностей: измерения, идентификация, применение", Новосибирск, 1997, с. 110-115.
8. Беляев Б.А., Никитина М.И., Тюрнев В.В. Экспертная система FILTEX для синтеза микрополосковых фильтров. Труды междунаучно-техн. конф. "Спутниковые системы связи и навигации", 1997, Красноярск, Т. 1, с. 241-249.
9. Беляев Б.А., Никитина М.И., Тюрнев В.В. Новый метод оптимизации конструктивных параметров СВЧ фильтров. – Труды международной научно-технической конференции "Спутниковые системы связи и навигации". 30 сентября – 3 октября. Красноярск, 1997, Т. 1, стр. 241-249.
10. Беляев Б.А., Никитина М.И., Тюрнев В.В. Экспертная система FILTEX для синтеза микрополосковых фильтров. Электронная техника. Сер. СВЧ-техника, 1998, Вып. 2, с. 21-25.