

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОГРАММНОЙ СРЕДЫ CST MICROWAVE STUDIO ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОИЗВОДСТВА УЗКОПОЛОСНЫХ ВОЛНОВОДНЫХ ПОЛОСНО-ПРОПУСКАЮЩИХ СВЧ-ФИЛЬТРОВ

Е. Э. Иванилова, С. В. Иванилова

*Саратовский национальный исследовательский
государственный университет имени Н. Г. Чернышевского, Россия*
E-mail: ivanilovasv@yandex.ru

Использование компьютерного моделирования в процессе конструирования тех или иных приборов влияет на экономическую эффективность их производства. В данной статье будет рассмотрено использование программной среды CST Microwave Studio для производства узкополосных волноводных полосно-пропускающих СВЧ-фильтров.

USING THE CST MICROWAVE STUDIO SOFTWARE ENVIRONMENT TO INCREASE THE ECONOMIC EFFICIENCY OF THE PRODUCTION OF NARROW-BAND WAVEGUIDE BAND-PASS MICROWAVE FILTERS

E. E. Ivanilova, S. V. Ivanilova

The use of computer modeling in the process of designing certain devices affects the economic efficiency of their production. This article will consider the use of the CST Microwave Studio software environment for the production of narrow-band waveguide band-pass microwave filters.

Современные условия экономики предприятия направлены на увеличение экономической эффективности деятельности, путем снижения затрат на производство, внедряя компьютерное моделирование во все его сферы деятельности.

Рассмотрим применение компьютерного моделирования в производстве СВЧ-фильтров. В настоящее время распространение наземных и спутниковых систем связи, работающих в сверхвысококачастотном диапазоне, приводит к повышению требований к характеристикам многих компонентов радиосистем, в том числе, и к частотно-селективным устройствам, к таким требованиям относятся: малые вес и габариты устройства, низкие потери в полосе и высокая избирательность.

Если в системах малого и среднего уровня мощности (менее 100 Вт) находят распространение фильтры с планарными структурами на диэлектрических подложках, то в более мощных системах радиосвязи, радиолокации и устройствах телекоммуникации, где широко применяется узкополосное оборудование, используются СВЧ-фильтры на объемных резонаторах или волноводах, затраты на производство которых значительно выше.

Фильтры волноводных конструкций необходимы при частотном разделе-

нии каналов, где зачастую требуются узкополосные полосно-пропускающие фильтры (ППФ) с симметричной передаточной характеристикой, то есть равным уровнем подавления по соседним каналам.

Разнообразие конструкций подобных фильтров, методов их расчета и технологий производства весьма велико. Однако, здесь возникают определенные сложности, связанные с итоговыми характеристиками необходимых фильтрующих устройств.

При разработке фильтра возникает вопрос о необходимости поиска оптимального компромисса между двумя величинами: уровнем вносимых потерь и «прямоугольностью» амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) в полосе пропускания.

Для нахождения нужного решения требуется немало времени, экспериментальных (опытных) образцов, а значит, и затраченных на их изготовление ресурсов. При проектировании фильтров без компьютерного моделирования используется более 10 опытных образцов фильтров (в зависимости от вида фильтра).

Поставленную задачу по снижению расходов, связанных с производством фильтров, было предложено решить, используя программную среду CST Microwave Studio для проектирования и расчета параметров моделей ППФ.

CST Microwave Studio – это программный комплекс, предназначенный для трехмерного моделирования объектов разнообразной формы и их электромагнитного поля и взаимодействия.

Для моделирования сложных СВЧ-структур (в частности, волноводных фильтров) программа использует различные методы расчета и анализа: расчет переходного процесса во временной области, анализ в частотной области, метод нахождения собственных мод и другие.

Основной метод, расчет переходного процесса Transient Solver, решает задачи возбуждения СВЧ структуры радиоимпульсами, а также выполняет расчет проектируемого устройства в широком диапазоне частот после расчета единственной переходной характеристики.

Однако, при исследовании резонансных структур (например, узкополосных фильтров или резонаторов), решение во временной области может оказаться неэффективным из-за медленно спадающих во времени сигналов-откликов. В этом случае, для решения подобных задач в CST Microwave Studio можно использовать расчетный модуль Eigenmode.

Алгоритм использования программы CST Microwave Studio:

1. Теоретический расчет параметров волноводного ППФ. Основная методика, по которой может быть проведен расчет, описана в книге [1].
2. Расчет основных параметров, необходимых для дальнейшего проектирования модели фильтра с помощью дополнительной компьютерной программы.

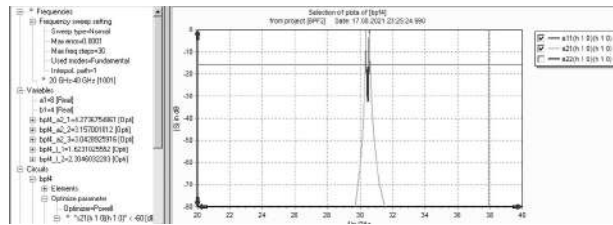


Рис. 1. Предварительный расчет параметров

3. Создание приблизительного внешнего вида модели.

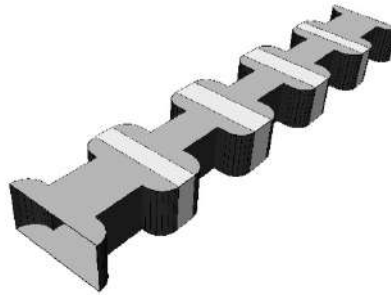


Рис. 2. Компьютерная модель ППФ

4. Проектирование модели ППФ в ПО CST Microwave Studio и исследование полученных характеристик.

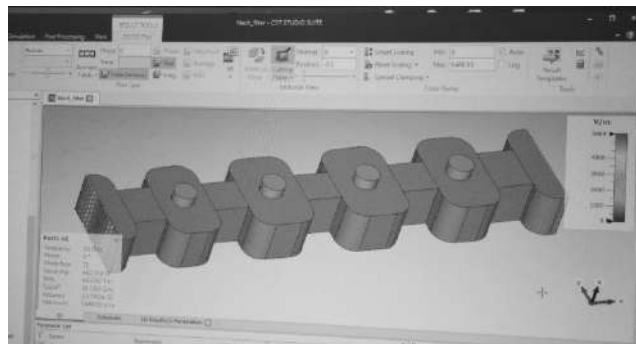


Рис. 3. Скриншот рабочего стола ПО CST Microwave Studio

В начале создадим макет фильтра по теоретически рассчитанным данным и посмотрим его полученные характеристики.

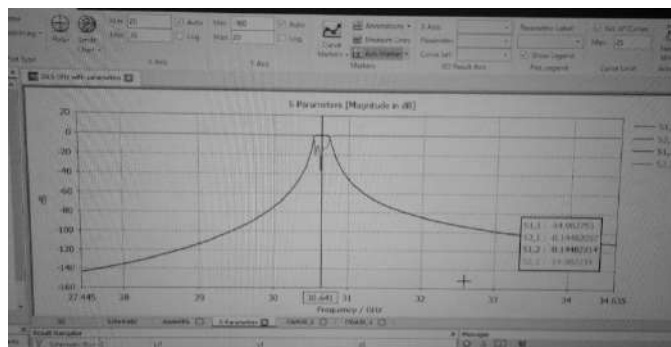


Рис. 4. Скриншот графика S-параметров модели

По приведенному графику параметров матрицы рассеяния, можно видеть, что параметры не соответствуют заданным и необходимым для дальнейшего изготовления фильтра. Таким образом, на данном шаге проектирования экономим минимум один экспериментальный образец фильтра.

Для улучшения характеристик изменим некоторые параметры построения модели ППФ. Затем, снова запустим программу расчета и изучим полученные характеристики.

На рис. 4 мы можем видеть, что необходимые зависимости прямых и обратных потерь от частоты соответствуют требованиям. Однако, полученная полоса пропускания немного смещена от заданного центрального значения. Это можно исправить, если добавить в модель фильтра подстроечные винты. Меняя глубину погружения винтов в резонаторы, можно заметить, что полоса пропускания сдвигается и, после некоторой настройки, может быть выставлена на необходимое значение. Данный шаг экономит еще минимум один фильтр.

Следующим этапом проектирования будет моделирование коаксиально-волновых переходов (КВП). Воспользовавшись тематической литературой, создадим модель КВП и проведем настройку параметров, необходимых для заданной полосы пропускания фильтра.

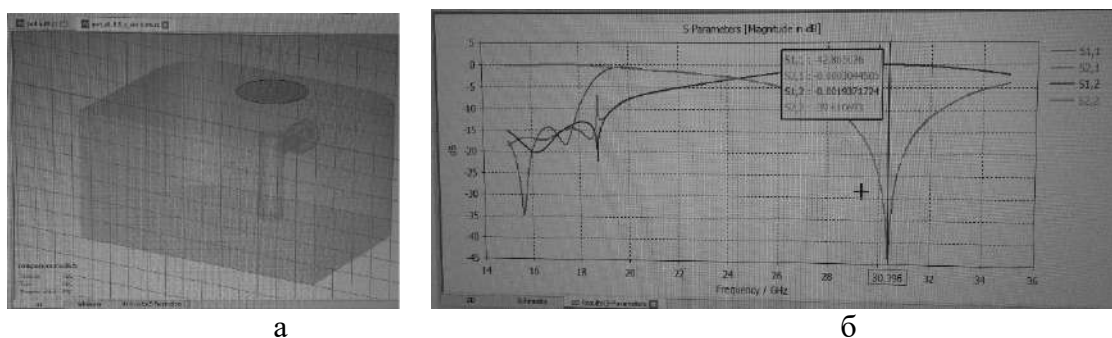


Рис. 5. Расчет модели КВП: а – внешний вид; б - график S-параметров

Добавим два КВП к ранее созданной модели волноводного фильтра. Затем, проверим, как изменились значения параметров S-матрицы. В нашем случае, эти изменения не значительны. Можно переходить к моделированию корпуса фильтра и его созданию.

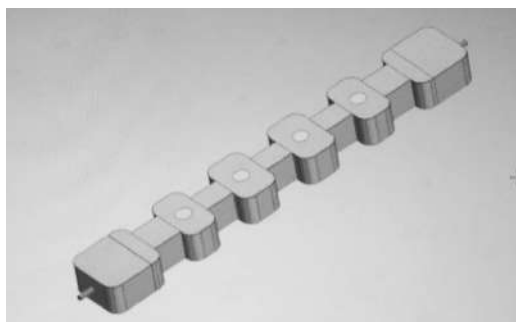
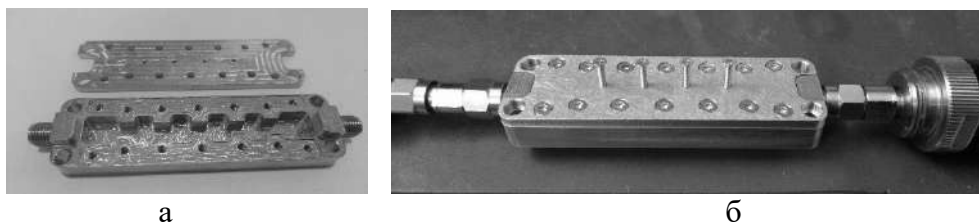


Рис. 6. Полная модель ППФ с КВП

Для корпуса фильтра был выбран материал – латунь. Такой выбор обусловлен составом металла. Латунь представляет собой сплав меди с цинком в качестве легирующего элемента. По сравнению с бронзой или медью, латунь — более прочный материал, также она устойчива к коррозии. Кроме того, сам материал достаточно упруг, в то же время прочен и устойчив к механическим воздействиям, легко подвергается обработке резкой, литьем и давлением. Изделия из латуни крайне долговечны, и перепад температуры не оказывает на них никакого влияния. Динамика цен на рынках цветных металлов зависит от темпов роста мировой экономики. Цена на медь в 1 квартале 2021 г. составляла 6614 долларов за тонну, рост по сравнению с аналогичным периодом 2020 года, составил 15,8%. Цена на цинк - 2094 доллара за тонну, рост в 1 квартале 2021 г. по сравнению с аналогичным периодом 2020 года составил 8,1 %.



а

б

Рис. 7. Латунный корпус исследуемого фильтра:
а – вид без крышки; б – в сборке с подстроечными винтами

Заключительным этапом создания фильтра является проверка параметров матрицы передачи готового изделия. Выполнив необходимые измерения с помощью векторного анализатора цепей, можно видеть, что сделанный образец не отвечает заданным начальным требованиям по уровню потерь, хотя в программе модель была близка к «идеалу».

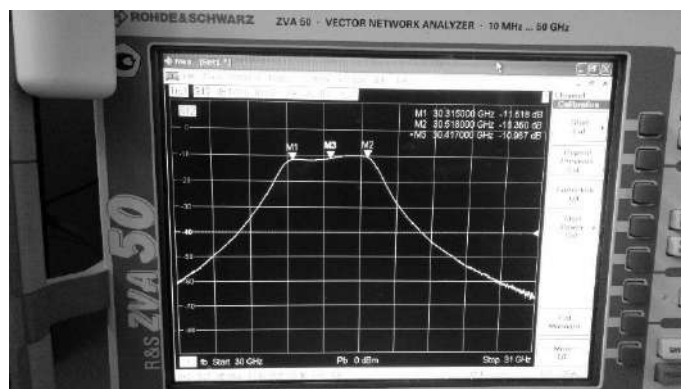


Рис. 8. Передняя панель ВАЦ с полученными характеристиками изготовленного фильтра

На этом этапе производства особенно заметна роль компьютерного проектирования. Трудно представить, как далеки от требуемых были бы значения параметров теоретически рассчитанного фильтра, без последующей их корректировки в CST Microwave Studio.

Таким образом, мы рассмотрели простейший пример экономии на производстве опытных образцов фильтров.

Использование компьютерного моделирования играет немаловажную роль в проектировании устройств, и позволяет снизить количество экспериментальных моделей и человеко-часов на производство устройства.

Таким образом, использование ПО CST Microwave Studio позволяет сократить расходы, связанные с проектированием и изготовлением волноводных полосно-пропускающих СВЧ-фильтров.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Маттей Д. Л., Янг Л., Джонс Е. М. Т. Фильтры СВЧ, согласующие цепи и цепи связи, Т.1, 2. М. : Связь, 1971.