

А. М. ЛЕЙБМАН

Россия, г. Москва

Дата поступления в редакцию

09.03 1998 г.

Оппонент к. т. н. В. В. СИБИРЯКОВ

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПАКЕТА ПРОГРАММ TOUCHSTONE И ACADEMY ФИРМЫ EESOF ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ЭЛЕМЕНТОВ И УСТРОЙСТВ СВЧ И КВЧ

*Описанный пакет программ и предложенные методы работы с ним позволяют сократить время и повысить точность проектирования элементов и устройств СВЧ и КВЧ.*

*The described program package and the proposed methods of work with it allow to cut and to increase designing accuracy of SHF and EHF elements and devices.*

Современный процесс разработки и создания изделий СВЧ невозможен без использования систем автоматизированного проектирования. Одним из наиболее известных и популярных пакетов программ, предназначенных для этого, является пакет прикладных программ фирмы EESof.

Для расчета и моделирования устройства используется программа Touchstone. Расчет проводится с использованием принципа декомпозиции. Схема разбивается на отдельные элементы, каждый из которых может быть описан либо при помощи стандартной модели из библиотеки пакета, либо представлен в виде «черного ящика», описанного с помощью S-параметров.

Параметры отдельных элементов могут быть как постоянными, так и переменными величинами. В последнем случае задаются начальное и граничные значения параметра, а при проведении автоматической оптимизации либо ручной подстройки возможен более точный его подбор.

После ввода описания проводится моделирование устройства на заданном интервале частот с заданным шагом. Результаты моделирования могут выводиться как в численной (табличной) форме, так и в графическом представлении (линейные, логарифмические и круговые диаграммы). Результатами могут быть различные параметры устройства, например, S-, H-, Y- и Z- параметры, волновые сопротивление и проводимость, коэффициент усиления по мощности и напряжения, шумовые параметры, коэффициент стоячей волны и другие, а также выражения, составленные из нескольких параметров. Для графического представления данных можно задать до 99 систем координат с различными масштабами по осям, в каждой из них может быть представлено до 4 графиков.

Возможно проведение оптимизации структуры по одному или нескольким выходным параметрам. Опти-

мизация может осуществляться различными методами, в том числе градиентным, минимаксным, методом случайного перебора.

В состав пакета входит утилита Linecalc, позволяющая рассчитывать параметры микрополосковых линий (волновое сопротивление, удельные потери).

После проведения моделирования и оптимизации СВЧ-структура может быть представлена на чертеже. Для этого используется программа Academy, входным файлом для которой является описание структуры.

Чертеж в программе Academy имеет стандартную для систем автоматического проектирования многослойную структуру, в которой для обозначения различных уровней структуры используются различные слои чертежа, например, слой проводников, слой диэлектрика, слой границ подложки и т. п.

Программа позволяет вносить изменения в чертежи и затем проводить моделирование измененной конструкции.

Чертеж может быть выведен на плоттер или принтер, кроме того, возможно выделение координат элементов в отдельный табличный файл для последующего использования в построении масок, фотошаблонов и т. п. В комплект пакета могут входить отдельные программы постпроцессоров, приводящие данные к виду, используемому в различных автоматических системах производства, например к формату GERBER.

Для использования пакета программ фирмы EESof необходим персональный компьютер, отвечающий следующим минимальным требованиям:

- процессор Intel 80386 и выше, либо совместимый с ним;
- оперативная память 4 Мбайт;
- пространство на жестком диске не менее 30 Мбайт (в зависимости от версии и комплекта пакета);
- принтер или плоттер.

Приведенные требования являются минимальными; для более быстрого получения результатов расчетов и комфортной работы с графической документацией необходим персональный компьютер с процессором 80486 и выше и объемом оперативной памяти от 8 Мбайт.

Пакет работает в различных операционных системах; таких как OS/2, Windows NT и т. п., в зависимости от версии. Далее речь пойдет о версии пакета для OS/2.

**Структура файла описания.** Файл описания может состоять из следующих блоков:

1. *Блок описания единиц измерения.* Предназначен для описания единиц измерения основных параметров элементов и является обязательным для корректной обработки файла описания.

2. *Блок описания переменных.* Описываются переменные и константы, используемые далее для задания параметров элементов. Для константы задается ее значение, для переменной — границы и начальное значение (при проведении моделирования оно используется в качестве значения параметра, при оптимизации — в качестве начального значения).

3. *Блок описания выражений.* Позволяет создавать из описанных ранее переменных и констант математические выражения, которые могут быть использованы для моделирования и оптимизации.

4. *Блок описания устройства.* Является основным и обязательным в файле описания. В нем содержится структура устройства, состоящая из отдельных элементов с описаниями их параметров.

5. *Блок описания окончаний (нагрузок).* Задаются сопротивления нагрузок, находящихся на выводах моделируемого устройства. В случае если блок пропущен, нагрузка принимается равной 50 Ом. Этот вариант чаще всего и используется на практике.

6. *Блок обработки.* Формируются суммы, разности, произведения и отношения  $S$ -параметров любых двух выводов устройства, что может быть необходимо для проведения оптимизации.

7. *Блок задания выходного файла.* Задаются постоянные файлы для хранения результатов моделирования.

8. *Блок описания выходных параметров.* Задаются выходные величины для моделирования, указываются системы координат для их представления. Блок является обязательным.

9. *Блок задания сетки частот.* Описывается сетка частот, на которых производится моделирование устройства. Сетка может быть как регулярной, так и с произвольно заданными точками. Блок обязателен.

10. *Блок задания систем координат.* Задаются системы координат, с использованием которых в дальнейшем будут представляться результаты моделирования. Системы координат могут быть линейными, логарифмическими, могут иметь две оси ординат.

11. *Блок оптимизации.* Задаются условия и цели (критерии) оптимизации. В качестве критерия может выступать комбинация любых выходных параметров моделирования устройства.

Помимо указанных, в файл описания структуры может включаться еще ряд блоков, позволяющих задавать более сложные выходные параметры и цели оптимизации.

Программа Touchstone содержит простой встроенный текстовый редактор для внесения изменений в файл описания. Файл описания формируется построчно, строки можно продолжать, а также включать комментарии, не обрабатываемые программой.

Перед проведением моделирования проверяется правильность составления описания. При обнаружении ошибок выводятся соответствующие сообщения.

**Библиотека стандартных элементов.** Стандартная библиотека пакета содержит элементы, которые могут быть использованы при составлении файла описания структуры. Каждый элемент имеет внутреннюю модель, которой он и заменяется при расчете.

Имеется возможность выбора из нескольких моделей одного элемента: от абсолютно идеальной до реальной модели, учитывающей множество факторов. Например: «идеальная линия передачи» — «линия передачи с потерями» — «микрополосковая линия передачи». Существуют также различные модели одних и тех же элементов, описываемых различными параметрами (например, катушка индуктивности — либо числом витков, либо через длину намотки).

Библиотека стандартных элементов пакета фирмы EESof содержит, в частности, следующие элементы:

- идеальные и физические (с потерями) линии передачи и их элементы;
- микрополосковые линии и их элементы;
- полосковые линии и их элементы;
- коаксиальные кабели и их элементы;
- копланарные линии и их элементы;
- прямоугольные металлические волноводы и их элементы;
- идеальные соединения;
- идеальные и физические активные элементы;
- идеальные и физические пассивные элементы;
- проволочные и ленточные выводы и соединения.

**Использование черных ящиков.** Помимо элементов, перечисленных выше, для описания структуры могут использоваться элементы в виде «черного ящика» с числом выводов от 1 до 20. Для подобного элемента на некотором интервале частот с произвольным шагом задаются  $S$ -параметры. Между заданными значениями недостающие интерполируются, однако экстраполяция при этом невозможна.

Такими данными могут быть либо экспериментальный материал, либо результат моделирования с помощью какого-либо препроцессора.

Первый вариант используется для описания конкретных активных приборов (транзисторы, диоды, усилители). В состав пакета входит обширная библиотека подобных элементов. Кроме того, многие фирмы-производители активных элементов, такие как Siemens, LT, Motorola, Philips, Hewlett Packard и другие, поставляют пакеты описаний компонентов своего производства.

Второй вариант позволяет открыть пакет для дополнений новыми возможностями, позволяя вводить в структуру элементы, параметры которых рассчитаны пользователем с учетом его конкретных потребностей.

**Моделирование структуры.** После описания структуры может быть проведено ее моделирование на заданном интервале частот с заданным шагом. В качестве выходных параметров могут быть использованы, в частности, следующие:

- $H$ -,  $S$ -,  $Y$ -,  $Z$ -параметры;
- волновое сопротивление;
- коэффициент усиления по напряжению и мощности;
- общая задержка;
- уровень шума;
- КСВ.

Все указанные измерения могут быть представлены в прямоугольной системе координат с заданными параметрами, в виде круговой диаграммы, а также в виде таблицы результатов, которая может быть сохранена в виде файла.

**Оптимизация и подстройка структуры.** Помимо простого моделирования структуры, программа

Touchstone способна производить ее оптимизацию по единичному и комплексному критериям качества. При этом варьируются значения переменных, используемых для описания параметров различных элементов.

Возможна оптимизация, максимизация, минимизация, введение в диапазон любого выходного параметра, а также выражения, содержащего выходные параметры и их комбинации.

*Автоматическая оптимизация* структуры в программе Touchstone может осуществляться по выбору пользователя одним из следующих методов:

- случайного поиска;
- градиентный;
- минимаксный;
- комбинированные методы оптимизации.

В большинстве случаев наилучшего результата удается достичь используя следующий маршрут оптимизации:

1. Переход к области оптимума с помощью метода случайного поиска, который позволяет достаточно быстро подойти близко к оптимуму.

2. Уточнение оптимальной точки при помощи градиентного метода. (Этот метод гораздо медленнее, однако он позволяет получить точный результат достаточно быстро, т. к. поиск ведется в окрестности оптимальной точки.)

После проведения оптимизации значения переменных, соответствующих оптимуму, записываются в блок описания переменных в качестве начальных значений.

Помимо автоматической оптимизации возможно использование режима «ручной подстройки». В этом случае пользователь получает возможность изменить значения переменных и констант вручную и сразу провести моделирование и для сравнения вывести результат на одной системе координат с предыдущими. Режим очень удобен для округления результатов автоматической оптимизации и приведения их в соответствие с конструкторскими и технологическими требованиями.

**Ограничения пакета.** При описании СВЧ-структур следует принимать во внимание ряд ограничений, накладываемых пакетом. Наиболее важные из них:

- максимальное число частот 512;
- максимальное число используемых переменных 250;
- максимальное число измерений (выходных параметров) 30;
- максимальное число строк в файле описания (в т. ч. строки и подстроки комментариев) 2500;
- максимальное число продолжений строк в файле описания (в т. ч. пустые подстроки и подстроки комментариев) 12;
- максимальное число точек соединения 1000;
- число ключевых слов 2600;
- максимальное число целей оптимизации 25.

Эти ограничения позволяют проводить моделирование практически любых устройств. В случае если устройство слишком сложно, можно рекомендовать, исходя из опыта работы с пакетом, следующий маршрут действий:

1. Разбить устройство на функциональные блоки, каждый из которых может быть смоделирован в программе Touchstone.
2. Провести моделирование функциональных блоков.

3. Создать описания данных блоков как «черных ящиков», занеся их в отдельные файлы.

4. Провести моделирование устройства в целом.

**Создание чертежа.** После проведения моделирования и оптимизации микрополосковая структура может быть представлена на чертеже. Для этого используется программа Academy. Входным файлом для нее является файл описания.

Чертеж в программе Academy может включать, в частности, следующие слои:

- контуров подложки;
- проводников;
- диэлектрика;
- переходных отверстий;
- комментариев.

Перед вводом файла описания в программу Academy следует заменить все элементы, не являющиеся элементами полосковой технологии, на соответствующий им полосковый аналог. Например, навесной компонент может быть заменен зазором в микрополосковой линии, в котором он и будет установлен.

Переработанное таким образом описание микрополосковой структуры вводится в программу Academy. В результате его обработки на экране отображается чертеж топологии микрополосковой структуры.

Последним шагом в создании чертежа топологии является его переработка, в результате которой микрополосковая структура становится цельной. После этого при помощи встроенных средств графического редактирования чертеж может быть приведен в соответствие со стандартными требованиями. В него могут быть внесены границы подложки, технологические и переходные отверстия, границы защитного диэлектрического покрытия и другие элементы.

Чертеж может быть в любой момент выведен на плоттер (принтер). При этом программа поддерживает основные стандарты печатных устройств.

Имеется функция выделения координат опорных точек структуры в отдельный файл для последующего использования в построении масок, фотошаблонов и т. д. Имеющиеся в составе пакета пост-процессоры позволяют переработать этот файл в соответствии с основными стандартами автоматических систем проектирования.

Из программы Academy возможен вызов программы Touchstone для проведения дополнительного моделирования и оптимизации устройства. Однако следует учитывать изменения, внесенные при переработках файла описания.

Рассмотренный пакет программ является одним из наиболее мощных и удобных средств автоматизированного проектирования устройств СВЧ и КВЧ. Пользуясь приведенным маршрутом проектирования, можно за короткое время получить достаточно точную модель устройства, оптимизировать ее и подготовить комплект конструкторской документации. Кроме того, благодаря открытости пакета возможно внесение новых элементов, соответствующих современной быстрорастущей элементной базе СВЧ и КВЧ.