

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**

**ТРУДЫ
XIII ВСЕРОССИЙСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ
СТУДЕНЧЕСКИХ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ
ИНКУБАТОРОВ**

Томск, 17–18 мая 2016 г.

Томск
Издательский Дом Томского государственного университета
2016

Разработка программного комплекса для обработки результатов измерений в прямоугольном многомодовом резонаторе комплексной диэлектрической проницаемости материалов

Е.П. Артемова, Д.Ю. Гаврилов

*Научный консультант – канд. физ.-мат. наук **Т.Д. Кочеткова**,
Национальный исследовательский Томский государственный университет,
г. Томск, Россия*

artemova-kate@yandex.ru

В настоящее время метод многомодового прямоугольного резонатора широко используется в экспериментальной физике для исследования электрофизических характеристик – комплексной диэлектрической и магнитной проницаемости – различных материалов. В частности, на кафедре радиоэлектроники Национального исследовательского Томского государственного университета большое количество работ связано с обработкой экспериментальных данных полученных данным методом. Это позволяет сделать вывод об актуальности создания программного обеспечения для более удобной и быстрой обработки данных.

Основная часть

Методика расчёта диэлектрической и магнитной проницаемости по данным измерения в многомодовом резонаторе основана на применении метода малых возмущений. Существует несколько подходов к решению этой сложной электродинамической задачи. В настоящей работе использован подход, изложенный в [4] для образцов цилиндрической формы. Диэлектрическая проницаемость находится по сдвигу резонансной частоты и уширению резонансной линии при внесении образца малого размера в резонатор. Благодаря упрощению по методу малых возмущений, расчётные формулы весьма компактны и просты [4]:

$$\varepsilon^* = 1 - \frac{bl}{\pi d^2} \left(\frac{2\Delta f}{f} - i \left(\frac{1}{Q} - \frac{1}{Q_0} \right) \right). \quad (1)$$

Здесь b – ширина стенки резонатора, l – длина резонатора, $\Delta f = (\omega - \omega_0)/2\pi$ – уход резонансной частоты, Q_0 – добротность до помещения образца, Q – добротность после помещения образца.

Однако требуется большая предварительная обработка измеренных зависимостей параметра матрицы рассеяния S_{22} (коэффициента отражения) от частоты. Зависимость в области экстремума имеет негладкий характер, и поэтому применяется аппроксимация её вершины полиномом 2-й степени методом наименьших квадратов. Аппроксимация данных измерений в резонаторе № 1 приведена на рис. 1.

Также для нахождения полосы пропускания по уровню 3 дБ требуется аппроксимация крыльев резонансной линии. Таким образом, в методике расчёта применяется кусочная аппроксимация полиномами 2-й степени, так как аппроксимация всей зависимости из 800 узловых точек неоправданно трудоёмка и может быть проведена только с помощью В-сплайнов или другого сложного математического аппарата.

Для аппроксимирующих функций находятся значения минимума и полосы пропускания, а по ним вычисляется комплексная диэлектрическая проницаемость по формуле (1).

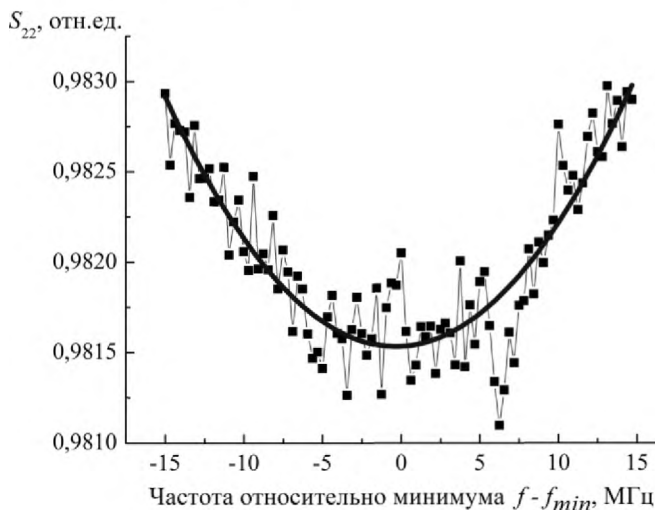


Рис. 1. Аппроксимация области минимума для резонатора с образцом

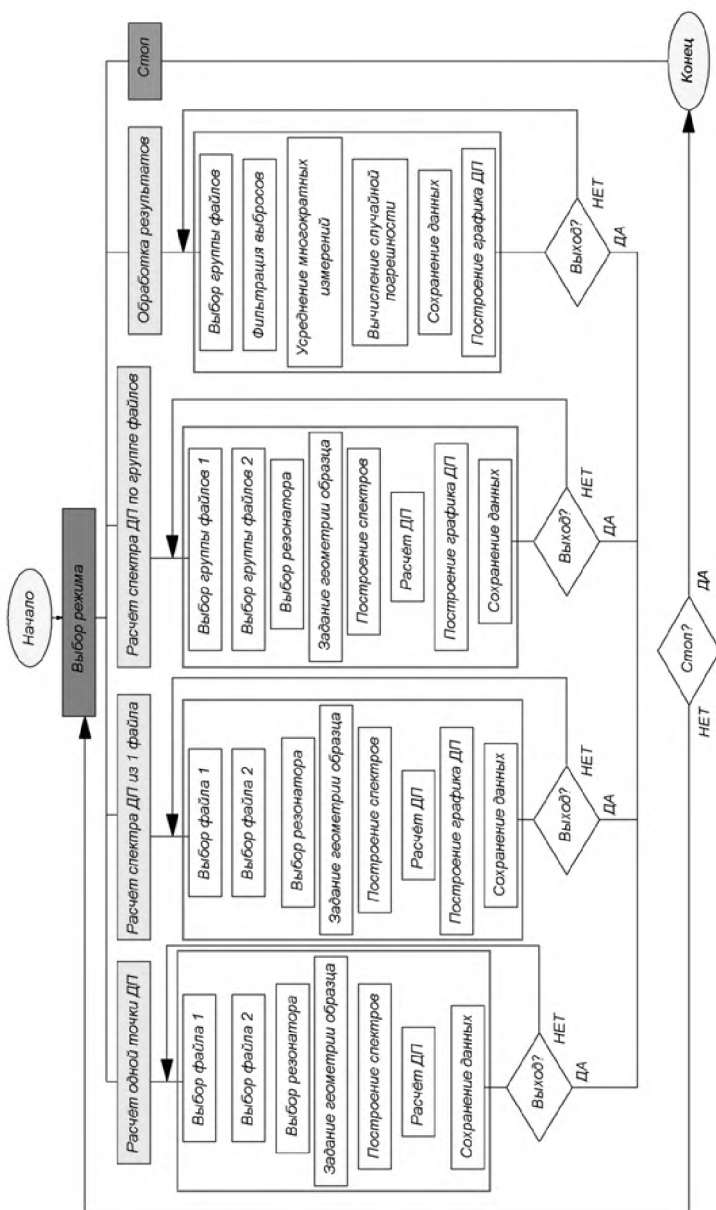


Рис. 2. Блок-схема программы

Программы, реализующие данную методику расчёта, существовали на языках Pascal и MatCad. Но при обработке больших массивов данных потребовалось более удобное программное обеспечение.

В программный комплекс будут включены новые функции, такие как возможность обрабатывать группы файлов с разными параметрами и сравнивать их, дополнительная наглядная информация о резонаторах и возможность использовать ее в расчетах для сокращения временных затрат. Также будет возможность выбирать параметры для нахождения объема образца: либо изначально вводить его, либо находить по площади поперечного сечения и длине. Отдельное внимание уделено графическому представлению результатов.

На рис. 2 изображена блок-схема, отображающая алгоритм работы программы. Первым действием, которое пользователь выполняет непосредственно после запуска программы, является выбор файлов с данными через диалоговое окно. В дальнейшем отдельной процедурой выполняется графическое отображение данных в основном рабочем окне программы. Используя органы управления приложением, пользователь имеет возможность запустить автоматический процесс обработки данных, который и является основной функцией программы. По завершении всех процессов результаты обработки данных можно сохранить в файл, отобразить на графике вместе с предыдущими измерениями для сравнения.

На рис. 3 приведён рабочий вариант интерфейса программы.

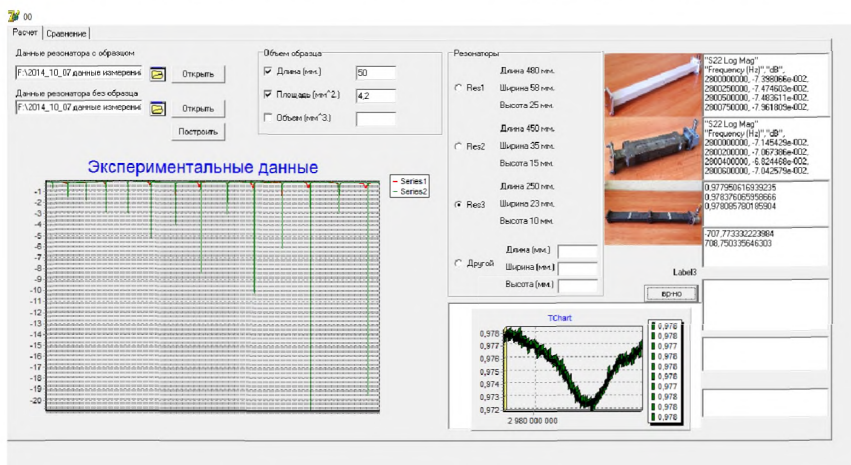


Рис. 3. Внешний вид главного окна программы

Кроме того, предлагается использовать менее трудоёмкую методику измерения – записывать весь спектр коэффициента отражения для резонатора образца сразу, а не каждой моды в отдельности. Для этого требуется только увеличить количество частотных точек на зависимости до 12 000, чтобы не снижать точность измерений. Программное обеспечение имеет опцию обработки и такого вида исходных данных.

Заключение

Разработанный программный комплекс позволяет быстро и наглядно обрабатывать результаты измерений для набора многомодовых резонаторов, которые являются частью оборудования Центра коллективного пользования ТГУ «Центр радиофизических измерений, диагностики и исследования параметров природных и искусственных материалов».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Zhuravleva E.V., Dotcenko O.A. Electromagnetic Characteristics of Composites Based on Multiferroics Powders at Microwave Frequencies // Advanced Materials Research. – 2015. – Vol. 1085. – P. 214–217.
2. Кочеткова Т.Д., Суслиев В.И., Волчков С.И. Диэлектрическая проницаемость хвойных пород древесины в диапазоне частот 3–12 ГГц // Вестник СибГАУ. – 2013. – № 5 (51). – С. 101–104.
3. Справочник по волноводам / под ред. Я.Н. Фельда. – М. : Советское радио, 1952. – 432 с.
4. Завьялов А.С., Дунаевский Г.Е. Измерение параметров материалов на сверхвысоких частотах. – Томск : Изд-во Том. ун-та, 1985. – 214 с.