

ОПЕРАТИВНЫЙ АНАЛИЗ РАДИОФИЗИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ТВЕРДЫХ ПЛОСКИХ ДИЭЛЕКТРИКОВ

Шушков А.В., Губа В.Г., Безбородов А.В. (ООО «ПЛАНАР», г. Челябинск, Россия)



Рисунок 1 – Установка для измерений параметров твердых плоских диэлектриков

Измерение параметров материалов предлагается выполнять на установке – анализаторе импеданса, называемой в настоящей статье эpsilonометром, производства компании ООО «ПЛАНАР», г. Челябинск.

Данная установка позволяет оперативно проводить анализ комплексной диэлектрической проницаемости материалов методом, не приводящим к нарушению целостности структуры исследуемых образцов.

Установка может использоваться в процессе производства, входного контроля или приемки:

- материалов для антенных обтекателей;
- материалов для СВЧ техники, включая платы и компоненты;
- материалов с радиозащитными свойствами.

Кроме этого, установка может быть введена в образовательную программу ВУЗ и применяться в рамках лабораторных работ, посвященных исследованию свойств материалов общего или специального назначения.

Эpsilonометр дополняет существующие методики измерений, основанные на применении линий передачи с ячейками для размещения образцов, резонаторов или систем с фокусирующими антеннами. Данное решение является эффективным с точки зрения ценовой политики, компактным и простым в работе. Оно ориентировано на проведение сравнительного анализа параметров исследуемых материалов на любом производственном месте и получения мгновенного результата о годности данных изделий.

Эpsilonометр состоит из трех основных частей: однопортового векторного анализатора цепей или рефлектометра, непосредственного интегрированного в установку, измерительной оснастки и программного обеспечения *CTG Epsilonometer*, разработанного компанией *Compass Technology Group*.

Рефлектометр предназначен для измерений комплексного коэффициента отражения (S_{ii} элементов матрицы рассеяния) устройств с разрешением порядка 0,01 дБ по амплитуде и 0,1 градуса по фазе. В данной установке используется внесенный в государственный реестр средств измерений (СИ) прибор отечественного производства. Тип СИ – рефлектометр векторный *SABAN R60*. Для связи с персональным компьютером используется интерфейс *USB*. Удалённое управление, необходимое для обмена данных между прибором и программным обеспечением *CTG Epsilonometer*, осуществляется в соответствии с технологией *COM/DCOM*. Дополнительно совместно с внешними антеннами, датчиками или оснасткой рефлектометр может быть использован для анализа различных сред распространения сигналов, решения локационных задач и задач радиовидения, а также изучения вопросов о свойствах объектов в электронной, химической, медицинской или пищевой промышленности. В нашем случае прибор с оснасткой используется для анализа свойств диэлектрических материалов.

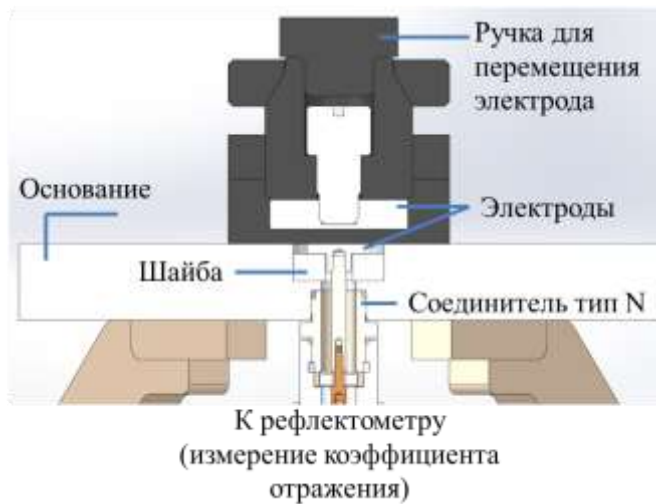


Рисунок 2 – Структура измерительной оснастки

- расчет конструкции нижнего электрода с моделированием влияния фасок и расположения относительно основания;
- расчет конструкции верхнего электрода с детализацией металлических и диэлектрических частей всей конструкции;
- проверка концентрации электромагнитного поля в линии передачи и между электродами (рисунок 3);
- проверка частотной зависимости коэффициента отражения эмитированных образцов разной толщины и диэлектрических свойств на предмет чувствительности данной системы и отсутствия паразитных резонансов в диапазоне частот от единиц МГц до 6 ГГц.

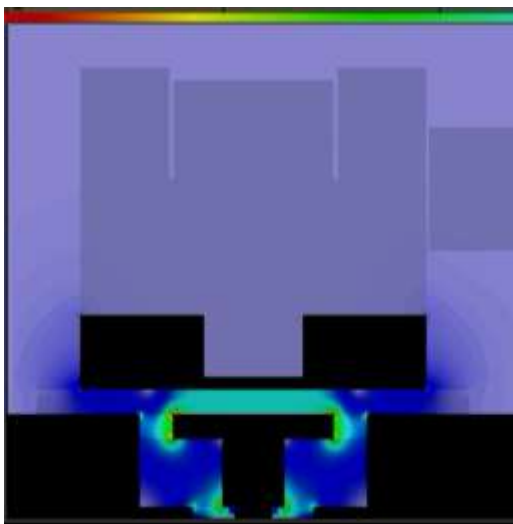


Рисунок 3 – Фрагмент, поясняющий распределение поля при распространении ЭМ импульса

Измерительная оснастка и программное обеспечение разрабатывались с участием специалистов компании *Compass Technology Group* - производителя современного оборудования и методов для измерений параметров радиочастотных материалов. По результатам работы был зарегистрирован патент *Microwave Dielectric Analyzer* No. 62/699,910, 2018.

Оснастка эсимиометра конструктивно представляет собой плоский конденсатор, подключенный к центральному проводнику соединителя измерительного порта рефлектометра. Внешний проводник этого соединителя подключен к металлическому основанию, которое окружает и экранирует нижний электрод (рисунок 2).

Разработка оснастки осуществлялась с пристальным вниманием ко всем ее составляющим и включала два основных этапа. На первом были выполнены такие работы, как: - оптимизация линии передачи от коаксиального соединителя с диаметрами поперечного сечения 7,0x3,04 мм до нижнего электрода, включая влияние трансформации формы центрального проводника, наличия диэлектрической поддерживающей шайбы и зазоров основания;

Второй этап разработки был полностью посвящен СВЧ моделированию - составлению измерительной модели. Строгое аналитическое решение на частотах, охватывающих гигагерцовый диапазон, получилось слишком сложным для использования. Поэтому подходящим путем достижения результата с приемлемой точностью и достоверностью стало именно проведение предварительного моделирования, составления базы данных, описывающей взаимосвязь модуля и фазы коэффициента отражения с диэлектрическими свойствами потенциально возможных материалов и интеграции готовых результатов моделирования в программное обеспечение (рисунок 4).

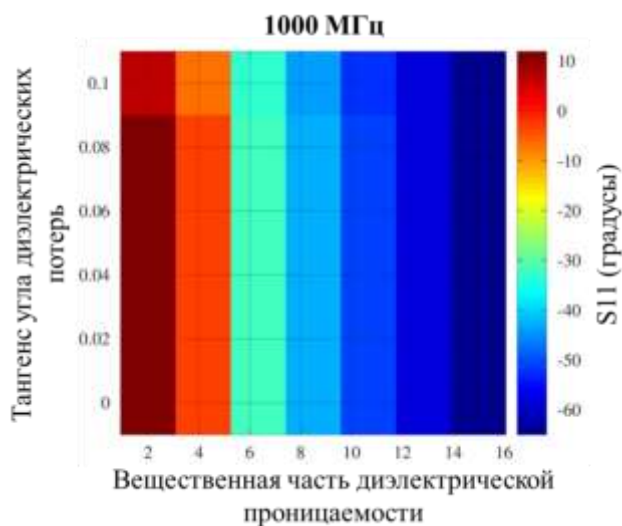


Рисунок 4 – Пример базы данных на частоте 1000 МГц

За управление отвечает программное обеспечение *CTG EpsilonMeter* (рисунок 5). Программа выполняет соответствующую калибровку и расчет радиофизических параметров образцов с учетом результатов моделирования распространения ЭМ волн в описываемой измерительной установке, т.е. на основе сохранённой базы данных. Результаты отображаются в графическом виде, как зависимости вещественной или мнимой части диэлектрической проницаемости или тангенса угла диэлектрических потерь от частоты. Поддерживается функция масштабирования графиков. Полученные результаты могут быть сохранены в файл в виде рисунка или табличных данных.

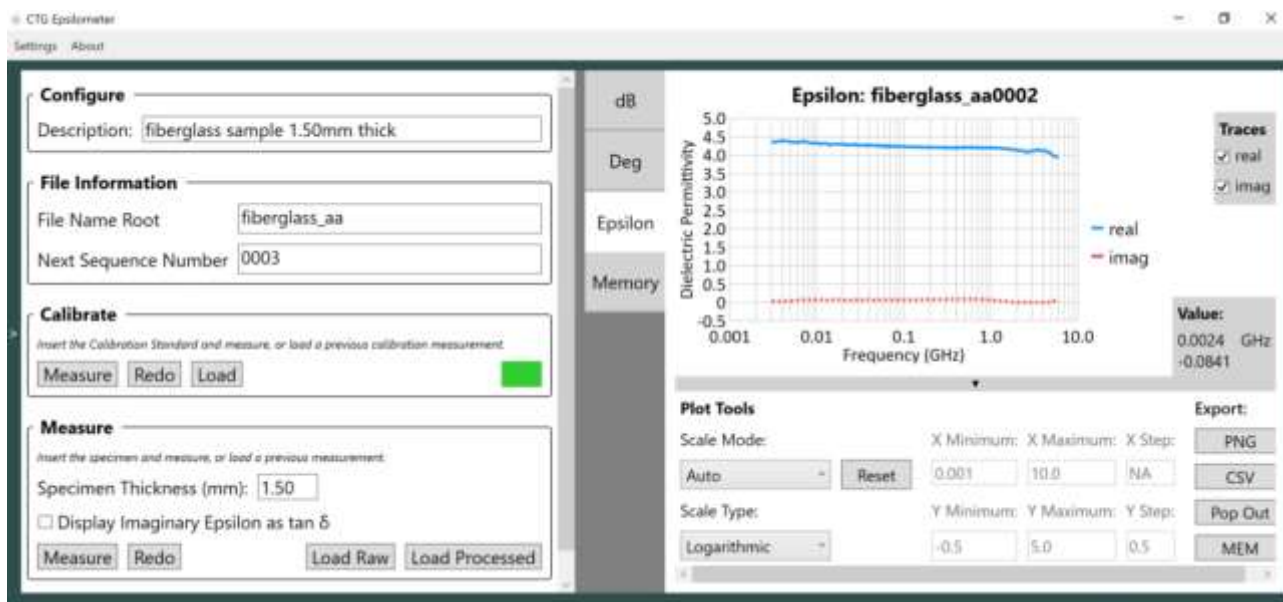


Рисунок 5 – Внешний вид программного обеспечения *CTG EpsilonMeter*

Процесс измерений состоит из нескольких простых действий. Нужно:

- выполнить калибровку или нормировку коэффициента отражения по образцу с известными диэлектрическими свойствами и толщиной; для работы установки не требуется проводить калибровку анализатора цепей в коаксиальном тракте;
- закрепить исследуемый образец между двумя электродами;
- ввести в программное обеспечение толщину образца, предварительно измерив его, например, с помощью микрометра;
- нажать одноименную кнопку и в автоматическом режиме измерить параметры образца;
- при необходимости сохранить полученные частотные зависимости в файл для дальнейшего анализа.

Итак, эpsilonметр работает в диапазоне частот от 3 МГц до 6 ГГц с твердыми плоскими (плоскопараллельными) образцами диэлектриков толщиной приблизительно от 0,3 до 3,0 мм и диэлектрической проницаемостью до 25. Типичное значение относительной погрешности

измерений диэлектрической проницаемости составляет $\pm(2-4)\%$, СКО при измерении тангенса угла диэлектрических потерь менее 0,01 в большей части указанного диапазона частот.

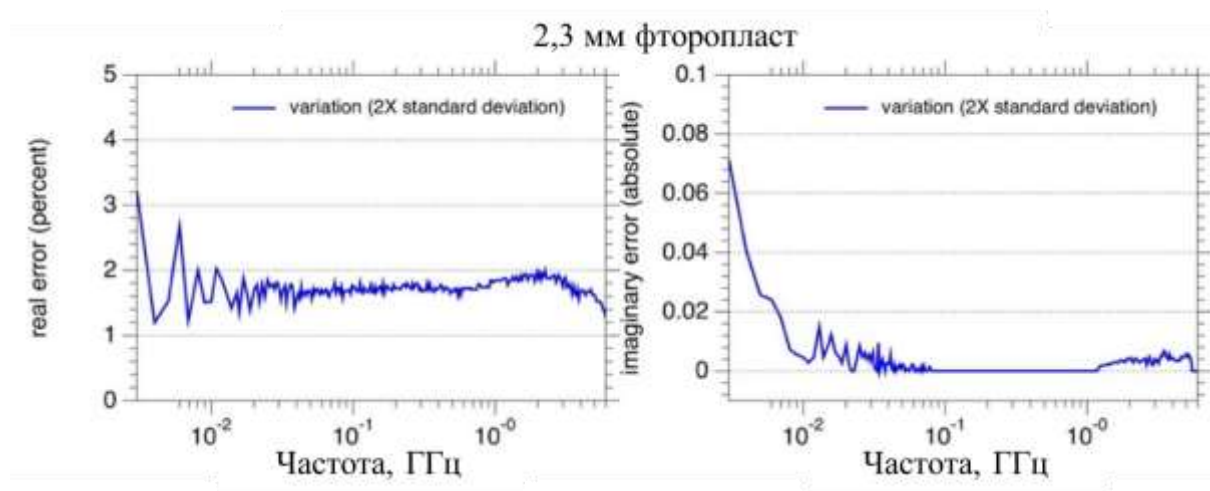


Рисунок 6 – Оценка СКО многократных результатов измерений