

УДК 621.371, 621.372

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В ФЕКО ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ПАРАМЕТРОВ РПМ

О. А. Дьяконова, С. В. Маречек

Фрязинский филиал Института радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН, 141120, Московская область, Фрязино, пл. академика Введенского, 1

Статья поступила в редакцию 31 августа 2018 г.

Аннотация. В работе рассмотрены вопросы моделирования экспериментального комплекса из девяти измерительных установок на основе скалярных анализаторов цепей. Для создания модели комплекса применена программа ФЕКО. Модель предназначена для оптимизации параметров конструкций радиопоглощающих материалов с заданными свойствами. Проведен сравнительный анализ расчетных, измерительных и модельных (по программе ФЕКО) характеристик как элементов измерительной установки, так и образцов радиопоглощающих материалов. Получено хорошее совпадение результатов.

Ключевые слова: моделирование, программа ФЕКО, скалярные анализаторы цепей, радиопоглощающий материал.

Abstract. In the article the questions of modeling of the experimental complex of the nine measurement setup based on scalar network are analyzed. FEKO program was used to create a model of the complex. The model is designed to optimize the design parameters of radio absorbing materials with specified properties. Comparative analysis of design, measurement and model (FEKO software) characteristics as the elements of the measurement setup and the samples of radar absorbing materials is made. A good agreement of the results is obtained. The proposed simulation model completely repeats the work of the measuring equipment. The virtual model allows us to conduct research and optimization of dielectric parameters of the RPM medium for a specific problem of shielding or absorption of electromagnetic radiation without material costs (manufacturing of samples of RPM and setting up of the measuring stand). This can significantly reduce the time when developing new compositions of

the RPM environment. It became possible to conduct an operational analysis of the modernization of methods and devices of the measuring system in order to increase the accuracy of measurement or reliability (greater reliability) of the results.

Key words: modeling, FEKO program, scalar network analyzers, radar absorbing material.

Введение

В начале двадцатого века был запатентован первый радиопоглощающий материал (РПМ). До сих пор проводится совершенствование как самих материалов и их элементов, так и конструкций радиопоглощающих покрытий (РПП). Многообразие типов радиопоглощающих материалов связано с тем, что требования к ним определяются прикладными задачами [1]. В настоящее время проблема создания новых радиопоглощающих материалов (РПМ) различного назначения остаётся актуальной. Работа ведётся в направлении достижения необходимых свойств РПМ.

Часто требуется спроектировать конструкцию РПП из материалов с заданными дисперсионными свойствами. В этом случае удобно воспользоваться готовой моделью рабочей экспериментальной установки для исследования электродинамических характеристик. С помощью такой модели осуществляется расчетная оптимизация параметров элементов и конструкций для получения необходимых на практике свойств. Только после этого происходит изготовление образцов РПП с нужными характеристиками. Такой подход оправдан экономией средств для большого количества материалов пробных образцов РПМ и возможностью в реальном времени рассчитать конечную конструкцию с заданными свойствами.

Целью работы является создание имитационной модели реального экспериментального комплекса на основе скалярных измерителей цепей серии P2 [2] с помощью программы FEKO. Таким образом, становится возможным предварительно исследовать и оптимизировать диэлектрические параметры вновь создаваемой среды РПМ для конкретной задачи экранировки или поглощения электромагнитного излучения (ЭМИ).

1. Имитационная модель комплекса

В начале программой ФЕКО создаются имитационные модели отдельных установок комплекса согласно таблице 1, где базовыми приборами являются панорамные измерители КСВН серии Р-2 со специальными пирамидальными рупорами.

Таблица 1.

| Тип панорамного измерителя КСВН | Рабочий диапазон длин волн, мм | Сечение волновода $a \times b$, мм | Выходная апертура рупора $A \times B$, мм | Длина рупора l , мм |
|---------------------------------|--------------------------------|-------------------------------------|--|-----------------------|
| P2-56 | 115,8-76,1 | 72*34 | 400*297 | 1461 |
| P2-58 | 76,1-53,2 | 48*24 | 239*176 | 995,5 |
| P2-59 | 53,2-36,4 | 35*15 | 160*120 | 653 |
| P2-61 | 36,4-24,9 | 23*10 | 120*90 | 498 |
| P2-67 | 24,9-17,2 | 16*8 | 80*60 | 328 |
| P2-66 | 17,2-11,6 | 11*5,5 | 55*41 | 227 |
| P2-65 | 11,6-8,0 | 7,2*3,4 | 32*24 | 134 |
| P2-68 | 8,0-5,6 | 5,2*2,6 | 32*24 | 161 |
| P2-69 | 5,6-3,8 | 3,6*1,8 | 32*24 | 172 |

Далее для каждой из установок исследуются электродинамические характеристики рупоров, поперечных и РПМ образцов в условиях свободного пространства.

2. Пример работы измерительной установки

В качестве наглядного примера выбрана одна из измерительных установок на базе скалярного анализатора цепей типа Р2-58. Фотография экспериментальной установки дана на рис.1.

В используемом здесь рупорном методе минимальное значение измеряемого коэффициента отражения (и погрешность измерения)

определяется, в основном, уровнем отражения от рупора. Коэффициент отражения от рупора R в децибелах вычисляется по приближенной формуле, справедливой для малых углов раскрыва и больших размеров выходной апертуры [3]

$$R = -20 \lg \left| \frac{\beta}{4 \pi \frac{b}{\lambda} \sqrt{1 - \left(\frac{\lambda}{2a}\right)^2}} + e^{-j\frac{4\pi}{\lambda}} \int_0^l \sqrt{1 - \left(\frac{\lambda}{2a + 2(A-a) \cdot \left(\frac{z}{l}\right)}\right)^2} dz \right| \quad (1),$$

где λ – длина волны в свободном пространстве; a и b – размеры широкой и узкой стенок волновода; A и B – размеры сторон выходной апертуры рупора, соответственно перпендикулярной и параллельной вектору \vec{E} ; 2β – полный угол раскрыва в плоскости E , рад; l – длина рупора; z – переменный параметр вдоль оси рупора.

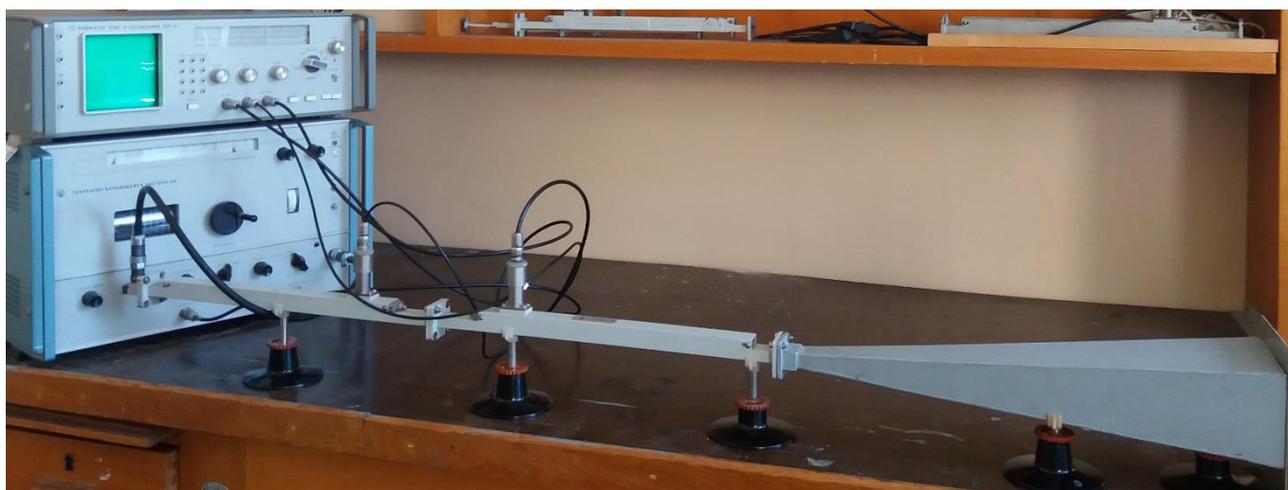


Рис.1. Экспериментальная установка.

На рис. 2 приведена частотная зависимость коэффициента отражения от рупора, полученная в имитационной модели (программа FEKO), рассчитанная по формуле (1) и измеренная на реальной рабочей установке [2].

Эта картина носит интерференционный характер, обусловленный наличием в рупоре двух центров отражений (начало и выходная апертура). Такой рупор (коэффициент отражения $-25...-30$ дБ), являясь согласующим звеном между волноводным трактом и свободным пространством, формирует на выходе плоскую волну. Данный метод широко применяется на практике и позволяет вести измерения до -25 дБ.

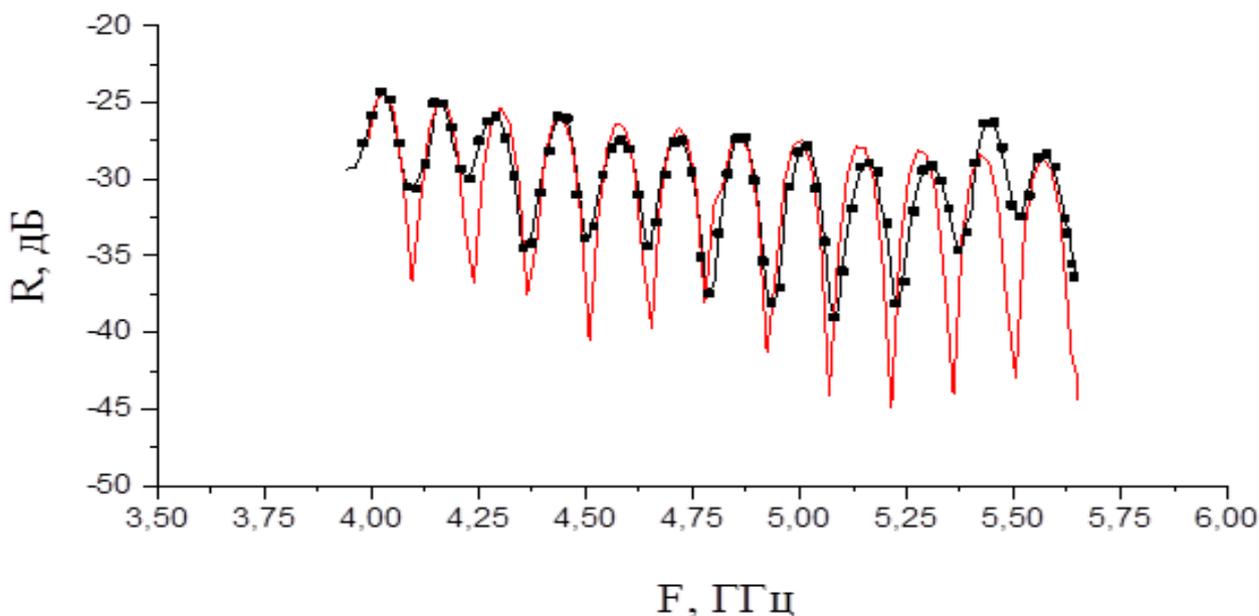


Рис.2. Частотная зависимость коэффициента отражения от рупора (расчёт по формуле (1) – красная линия, расчёт имитационной модели – черная линия, эксперимент – квадратики).

С помощью измерения поверочного образца согласована работа всех элементов измерительного комплекса. Плоскопараллельная диэлектрическая пластина из полистирола толщиной $d = 4$ мм является поверочным образцом, расчёт которого произведён по формуле:

$$R = \left| \frac{1 - \varepsilon}{\varepsilon + 1 + 2i\sqrt{\varepsilon} \operatorname{ctg}(kd\sqrt{\varepsilon})} \right|, \quad (2)$$

где ε – комплексная диэлектрическая проницаемость; $k = \frac{2\pi f}{c}$; c – скорость света в вакууме; f – частота, ГГц.

На рис.3 дана частотная зависимость коэффициента отражения от поверочного образца, полученная в имитационной модели (программа FEKO), рассчитанная по формуле (1) и измеренная экспериментально.

Из приведенных графиков видно, что имеет место хорошее совпадение результатов измерения и расчетов. В результате, созданная имитационная модель по программе FEKO, повторила характеристики реальной измерительной установки.

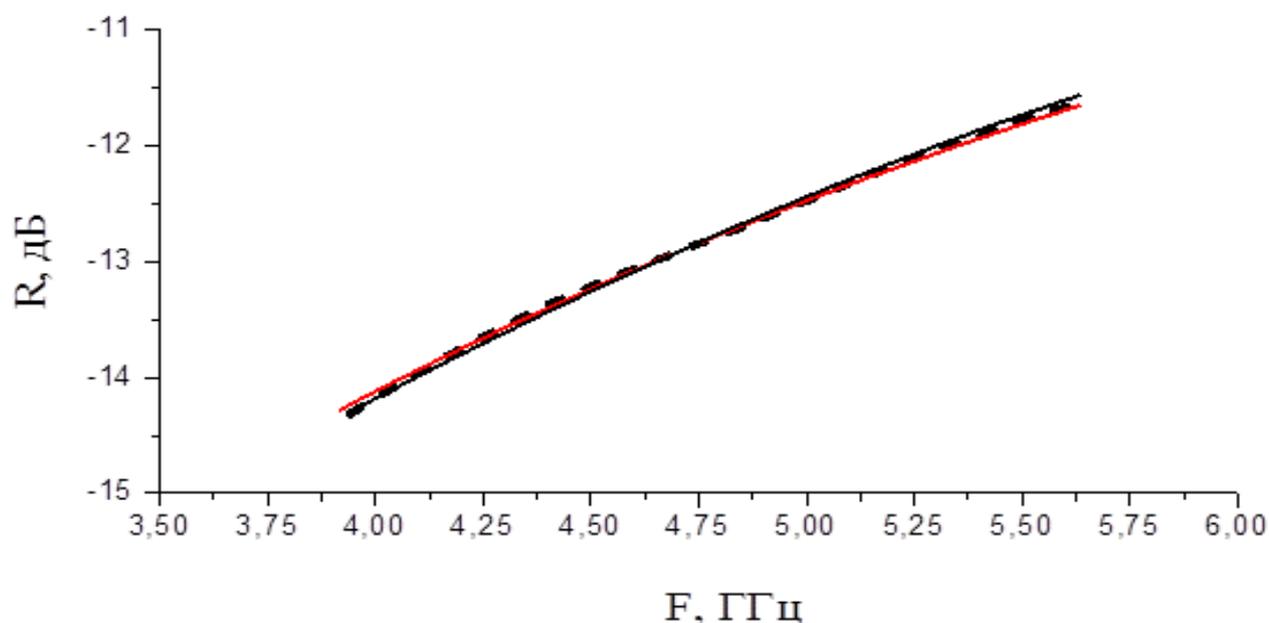


Рис.3. Частотная зависимость коэффициента отражения от поверочного образца (расчёт по формуле (2) – красная линия, расчёт имитационной модели– чёрная линия, эксперимент – штриховая линия).

3. Образцы РПМ

В качестве объектов исследования были выбраны плёнки с малым коэффициентом отражения (лучше -10 дБ). Для этого воспользовались имитационной моделью. Провели анализ расчётов различных плёнок и оптимизировали параметры для изготовления реальных образцов. На экспериментальной установке с базовым скалярным анализатором цепей P2-58 автоматизированного комплекса [2] были измерены изготовленные образцы плёнок, характеристики которых даны в таблице 2.

Таблица 2.

| № образца | Тип образца на рисунке | Толщина плёнки, мм | Диэлектрическая проницаемость | Тангенс угла диэлектрических потерь |
|-----------|------------------------|--------------------|-------------------------------|-------------------------------------|
| 1 | Красный цвет | 0.07 | 30 | 2.6 |
| 2 | Зелёный цвет | 0.12 | 40 | 1.5 |
| 3 | Чёрный цвет | 0.07 | 20 | 1.2 |

В дальнейшем, сравнили полученные результаты. Частотные зависимости коэффициентов отражения от различных плёнок приведены на рис.4.

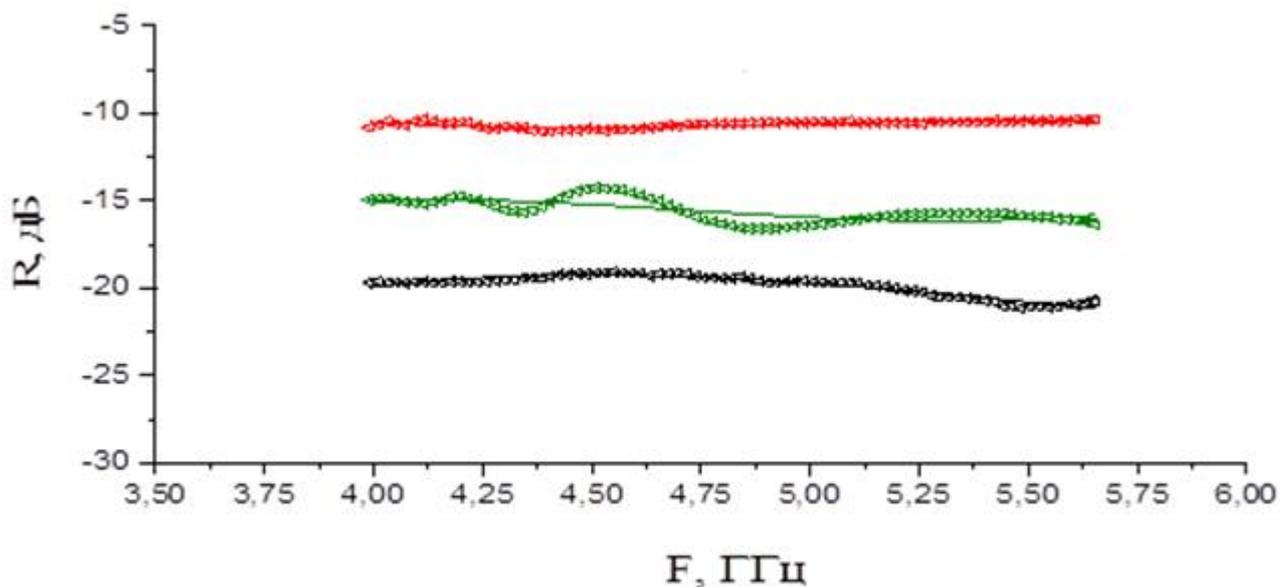


Рис.4. Частотные зависимости коэффициентов отражения от различных плёнок (расчёт имитационной модели— сплошная линия, эксперимент – треугольники).

На примере одной из установок комплекса показана работоспособность созданной имитационной модели, что позволяет сочетать различные комбинации из расчётных и экспериментальных методик для решения прикладных задач.

Заключение

Предложенная имитационная модель полностью повторяет работу измерительной установки. Виртуальная модель позволяет без материальных затрат (изготовления образцов РПМ и настройки измерительного стенда) провести исследование и оптимизацию диэлектрических параметров среды РПМ для конкретной задачи экранировки или поглощения электромагнитного излучения. Это может существенно сократить время при разработке новых композиций среды РПМ.

Появилась возможность провести оперативный анализ модернизации методики и устройств измерительной системы с целью увеличения точности измерения или надёжности (большей достоверности) получаемых результатов.

Литература

1. Emerson W.H. Electromagnetic wave absorbers and anechoic chambers through in years // IEEE Transactions on antennas and propagation, Vol. 21, No. 4, pp. 484-490, 1973.
2. О. А. Дьяконова, Д. С. Каленов, Ю. Н. Казанцев. Автоматизированный измерительный комплекс на основе комплекта скалярных анализаторов // Журнал радиоэлектроники: электронный журнал, №10, 2016. URL: <http://jre.cplire.ru/jre/oct16/7/text.pdf>
3. В. Н. Аплеталин, О. А. Дьяконова, Ю. Н. Казанцев, В. А. Калошин. Метод измерения величины коэффициента отражения // VII Всесоюзный НТК "Методы и средства измерений электромагнитных характеристик материалов на ВЧ и СВЧ": Тезисы доклада Всесоюзной НТК 27-31 мая 1991г. Новосибирск. с.132- 134. Госстандарт СССР, Сиб. гос. НИИ метрологии, Новосибирск, 1991г.

Для цитирования:

О. А. Дьяконова, С. В. Маречек. Имитационное моделирование в ФЕКО измерительной системы параметров РПМ. Журнал радиоэлектроники [электронный журнал]. 2018. № 9. Режим доступа: <http://jre.cplire.ru/jre/sep18/3/text.pdf>
DOI 10.30898/1684-1719.2018.9.3