

УДК 621.372.812

## ИССЛЕДОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ МАТЕРИАЛОВ В ДИАПАЗОНЕ ЧАСТОТ ОТ 1 ДО 18 ГГц

Певнева Н.А., Кондрашов Д.А., Руховец О.В.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Беларусь, [peuneva@bsuir.by](mailto:peuneva@bsuir.by)

**Аннотация.** Представлена методика выполнения эксперимента, рассмотрены результаты исследования параметров наноструктурированных материалов в диапазоне частот от 1 до 18 ГГц.

**Ключевые слова.** Наноструктурированные материалы, S-параметры, векторный анализатор цепей.

В последнее десятилетие наблюдается активное освоение миллиметрового диапазона длин волн в радиоэлектронике. Производители радиоэлектронной аппаратуры используют хорошо известные материалы или применяют инновационные технологии. Перед разработкой любого устройства следует досконально изучить физико-технические свойства используемых материалов, которые могут значительно повлиять на его выходные характеристики точности. Одними из самых информативных свойств материала являются его отражающая и пропускная способность, которые можно определить с помощью векторного анализатора цепей (ВАЦ).

Методика измерений параметров наноструктурированных материалов в диапазоне частот от 1 до 18 ГГц основана на исследовании отражающих и поглощающих свойств наноструктурированных материалов (рисунок 1) в СВЧ диапазоне с применением ВАЦ, рупорных антенн, коаксиально-волновых переходов, а также с использованием алгоритма обработки данных по методу Николсона-Росса-Вейра и разработанной ранее математической моделью [1].

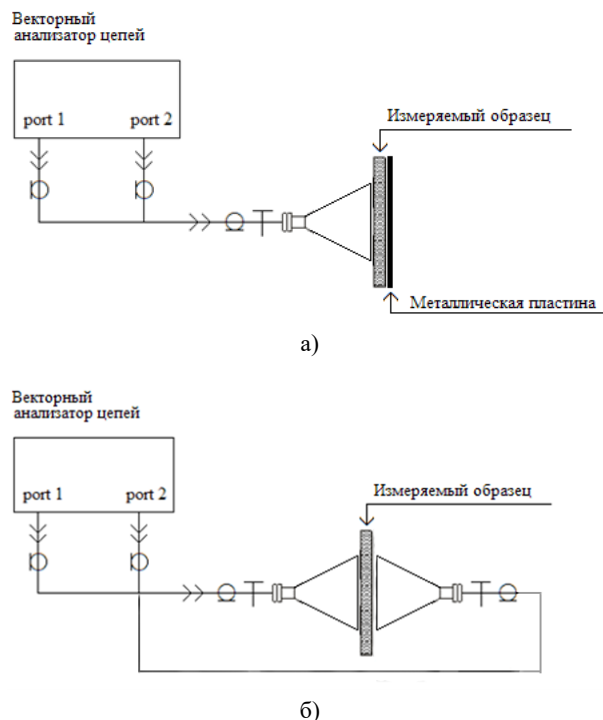


Рисунок 1 – Структурная схема измерительной установки

Принцип действия ВАЦ основан на раздельном выделении падающей на объект измерения, отраженной и прошедшей волн сверхвысокочастотного (СВЧ) сигнала. Напряжения, пропорциональные амплитудам падающей, отраженной и прошедшей волн, после усиления и вычисления по специальным алгоритмам преобразуются в значения измеряемых параметров: модуль  $|S_{11}|$  и фазу  $\arg S_{11}$  коэффициента отражения, коэффициент стоячей волны, модуль  $|S_{21}|$  и фазу  $\arg S_{21}$  коэффициента передачи. Распознаваемая информация отображается в виде частотных зависимостей в декартовой системе координат с отсчетом, при помощи маркера, значений находимых параметров в любой частотной точке диапазона рабочих частот ВАЦ.

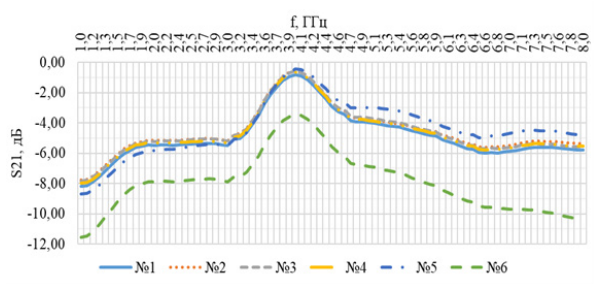
В ВАЦ предусмотрена цифровая фильтрация на основе критерия Чебышева, которая позволяет: сглаживать незначительные по значению флуктуации на отдельных участках характеристики – усреднять отдельные участки характеристики; устранять выбросы в отдельных значениях характеристики, обусловленные выбросами в выходных сигналах ГКЧ – удалять пики; аппроксимировать выводимые на экран отдельные участки характеристик, придавать им монотонность – сглаживать отдельные участки характеристик.

Следует отметить, что почти всегда применение при аппроксимации в цифровой фильтрации полиномиальных критериев Чебышева позволяет уменьшить искажение уже достигнутых приближений.

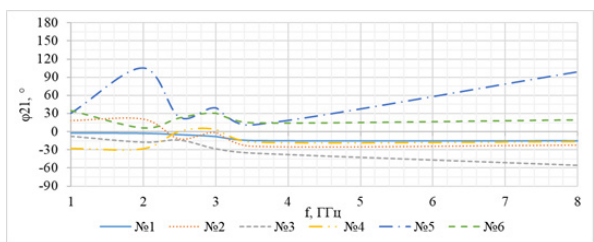
Использование цифровой фильтрации позволяет исключить субъективную погрешность оператора при анализе и измерениях с наличием «шумовой» составляющей. Также применение цифровой фильтрации позволяет улучшить качественно восприятие амплитудно-частотной характеристики и исключить неинформативное изменение показаний прибора в любой точке частотного диапазона. Особенно это эффективно в СВЧ диапазонах, имеющих крайне малые уровни мощности сигнала в измерительном тракте.

В соответствии с разработанной методикой измерений проведены экспериментальные исследования параметров наноструктурированных материалов в диапазоне частот от 1 до 18 ГГц. На рисунке 2 представлена зависимость амплитуды и фазы коэффициента передачи шести образцов наноструктурированных материалов от частоты, а на рисунке 3 – зависимость амплитуды и фазы коэффициента отражения шести образцов наноструктурированных материалов от частоты

в диапазоне частот от 1 до 8 ГГц. Из рисунков видно, что наиболее стабильными характеристиками обладают образцы №1, 2 и 4.

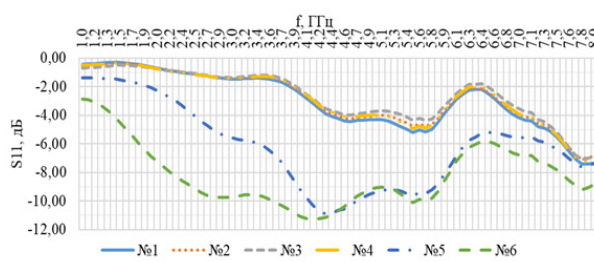


а)

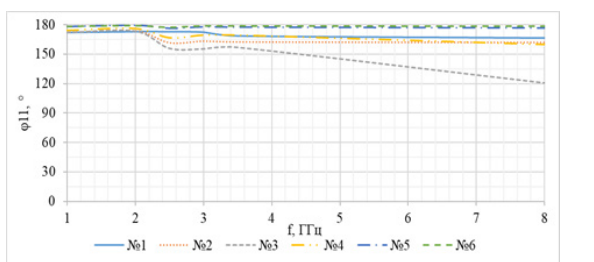


б)

Рисунок 2 – Зависимость амплитуды (а) и фазы (б) коэффициента передачи наноструктурированных материалов от частоты



а)



б)

Рисунок 3 – Зависимость амплитуды (а) и фазы (б) коэффициента отражения наноструктурированных материалов от частоты

На рисунке 4 представлена зависимость амплитуды коэффициента передачи шести образцов наноструктурированных материалов от частоты, а на рисунке 5 – зависимость амплитуды коэффициента отражения шести образцов наноструктурированных материалов от частоты в диапазоне частот от 1 до 8 ГГц. Из рисунков видно, что наиболее стабильными характеристиками в части коэффициента передачи обладают образцы № 1, 2, 3 и 4, а в части коэффициента отражения – образец №2. По результатам предварительного анализа полученных результатов можно сделать вывод, что исследованные материалы могут использоваться в дальнейшем при изготовлении поглотителей.

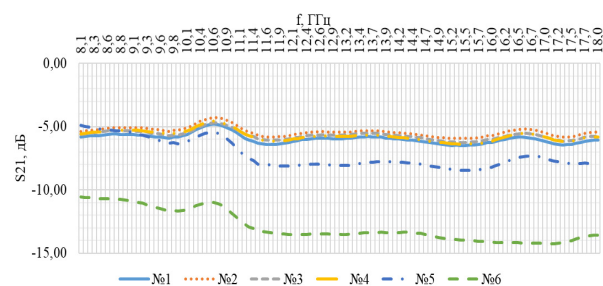


Рисунок 4 – Зависимость амплитуды коэффициента передачи наноструктурированных материалов от частоты

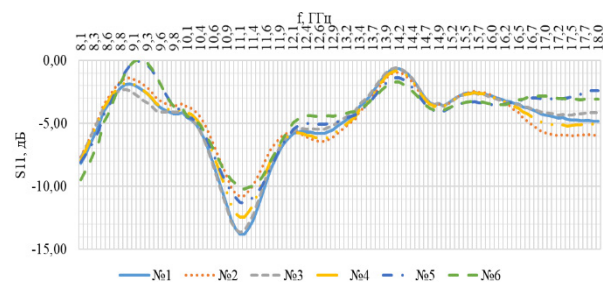


Рисунок 5 – Зависимость амплитуды коэффициента отражения наноструктурированных материалов от частоты

### Литература

1. Певнева, Н.А. Метод свободного пространства с использованием векторного анализатора цепей для определения диэлектрической проницаемости материалов на СВЧ / Н.А. Певнева, А.Л. Гурский, А.М. Кострикин // Доклады БГУИР. – 2019. – №4 (122). – С. 32–39.

## RESEARCH OF PARAMETERS OF NANOSTRUCTURED MATERIALS IN THE FREQUENCY RANGE FROM 1 TO 18 GHZ

N.A. Pevneva, D.A. Kondrashov, O.V. Rukhovets

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Belarus, pevneva@bsuir.by

**Abstract.** The experimental technique is presented, and the results of studying the parameters of nanostructured materials in the frequency range from 1 to 18 GHz are considered.

**Keywords.** Nanostructured materials, S-parameters, vector network analyzer.