

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВЕКТОРНОГО АНАЛИЗАТОРА ЦЕПЕЙ (СХЕМ) ДЛЯ РЕШЕНИЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ РАДИОТЕХНИЧЕСКИХ ЗАДАЧ

Бучацкий Дмитрий Валерьевич, Гальцева Ольга Валерьевна
Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск
E-mail: piano@tpu.ru

Амир Ерлан Камалиевич
Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова, г. Караганда
E-mail: zdorovo5@mail.ru

USING VECTOR NETWORK ANALYZER (CIRCUIT) FOR SOLVING RADIO ENGINEERING TASKS

Buchatsky Dmitry Valerievich, Galtseva Olga Valeryevna
National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk

Amir Yerlan Kamaliyevich
Karaganda Technical University named after Abylkas Saginov, Karaganda

Аннотация: статья посвящена изучению возможностей использования векторного анализа цепей для решения задач измерения технического характера. Продемонстрированы области использования анализатора цепей. Показано, что векторный анализатор цепей имеет преимущества в сравнении со скалярным анализатором цепей, показаны преимущества векторных анализаторов. Показан пример визуализации результатов измерения параметров полосового фильтра с помощью программного продукта Rohde&Schwarz.

Abstract: The article is devoted to studying the possibilities of using vector circuit analysis to solve technical measurement problems. The uses of the network analyzer are demonstrated. It is shown that a vector network analyzer has advantages over a scalar network analyzer; the advantages of vector analyzers are shown. An example of visualization of the results of measuring the parameters of a bandpass filter using the Rohde&Schwarz software product is shown.

Ключевые слова: измерение; сигнал; векторный анализ; анализатор; визуализация.

Keywords: measurement, signal, vector analysis, analyzer, visualization.

Одной из наиболее важных измерительных задач в радиотехнике является анализ цепей (схем). Анализатор цепей является прибором, который предназначен для решения этой задачи с высокой точностью и эффективностью.

Цепи, которые могут быть проанализированы с помощью такого прибора, имеют широкий диапазон применений, начиная от простых устройств, таких как фильтры и усилители, и заканчивая сложными модулями, используемыми в коммуникационных спутниках.

Анализатор цепей представляет собой одну из наиболее сложных частей многоцелевого испытательного оборудования в области высокочастотной (ВЧ) и сверхвысокочастотной (СВЧ) радиотехники.

При комбинировании с одной или более антеннами анализатор цепей является радиолокационной системой. Подобные системы могут использоваться для обнаружения невидимых дефектов материалов без использования рентгеновской технологии.

На рисунке 1 показан пример выявленного дефекта материала на основе измеренных данных с анализатора цепей и с последующим использованием техники графического отображения.

Аналогичные измерения необходимы при оценке возможностей радиолокаторов, входящих в систему управления воздушным движением [1–3].

В этой системе определяющей характеристикой самолёта является его эффективная площадь рассеяния (ЭПР). Она может быть измерена на модели самолёта, как показано на рисунке 2.

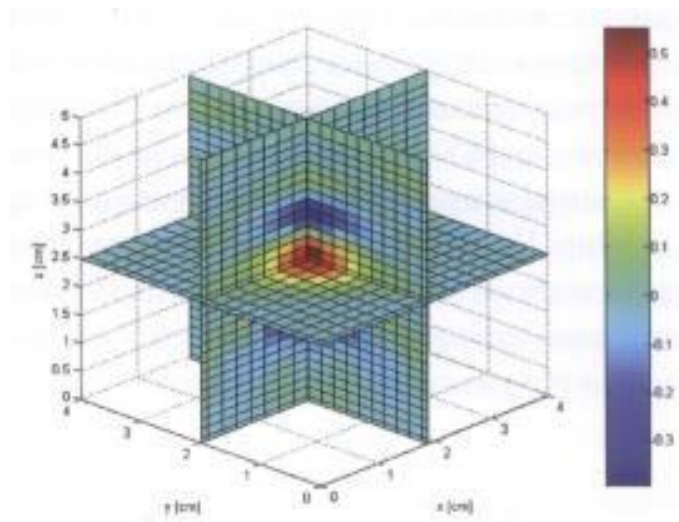


Рисунок 1 – Пример выявленного дефекта материала

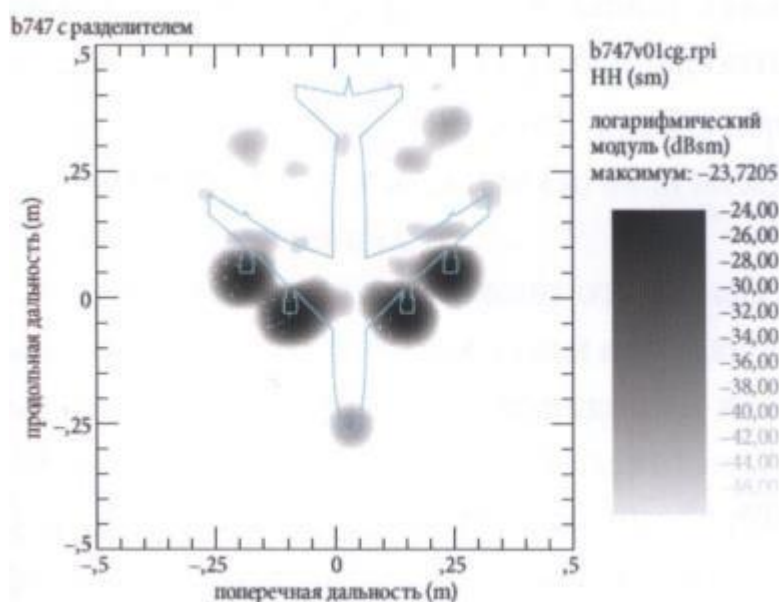


Рисунок 2 – Изображение модели самолёта Боинг 747, полученной методом обратной синтезированной апертуры (ISAR)

Преимущества векторного анализа цепей. Векторный анализатор цепей вырабатывает синусоидальный тестовый сигнал заданной частоты, который подводится к измерительному устройству (ИУ), как управляющее воздействие (например, a_1).

Считая, что испытуемое устройство является линейным, анализатор измеряет отклик устройства (например, b_2), который также является синусоидальным. Соответствующие волновые величины a_1 и b_2 показаны на рисунке 3.

В общем случае эти величины имеют различающиеся значения амплитуд и фаз. Именно эти различия и учитываются комплексным параметром s_{21} .

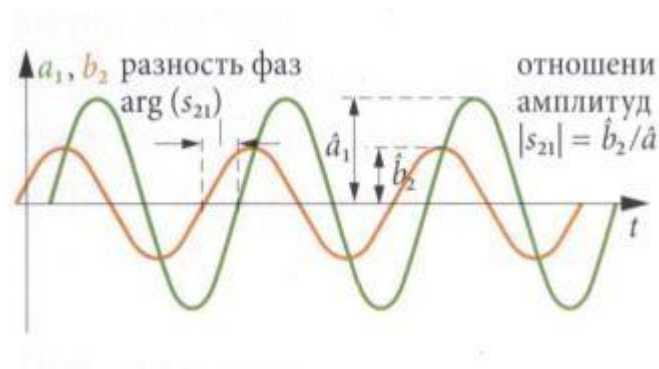


Рисунок 3 – Сигналы a_1 и b_2

Скалярный анализатор цепей измеряет только разницу в амплитудах между волновыми величинами. Векторный анализатор цепей требует значительно более сложной реализации, поскольку он измеряет как амплитуды, так и фазы волновых величин, а затем использует эти значения для расчёта комплексных S-параметров [4].

Модуль S-параметра (например, $|s_{21}|$) соответствует отношению амплитуд волновых величин (например, $\hat{b}_2$ и $\hat{a}_2$). Фаза S-параметра (например, $\arg(s_{21})$) соответствует разности фаз междуволновыми величинами.

Преимущества векторных анализаторов цепей приведены далее (см. рисунок 4).

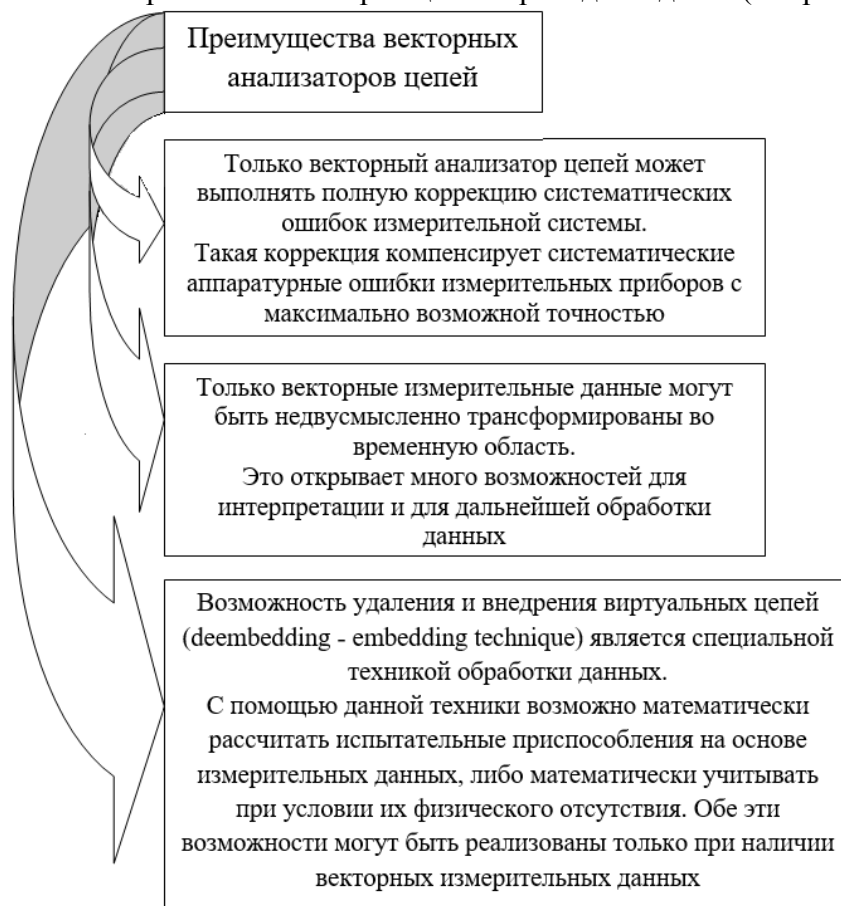


Рисунок 4 – Преимущества векторных анализаторов цепей

Применение векторных анализаторов цепей. Далее покажем, как анализатор цепей применяется, например, для исследования параметров (коэффициентов отражения) перестраиваемого полосового фильтра. Испытательные порты анализатора цепей в этом случае соединяются с портами фильтра. Для представления результатов измерений необходимо, чтобы коэффициенты отражения были представлены в векторной форме.

Для этих целей применяется программный продукт Rohde&Schwarz [5], который имеет возможности представления данных коэффициентов отражения фильтра на диаграмме Смита (см. рисунок 5) и на частотных характеристиках (см. рисунок 6).

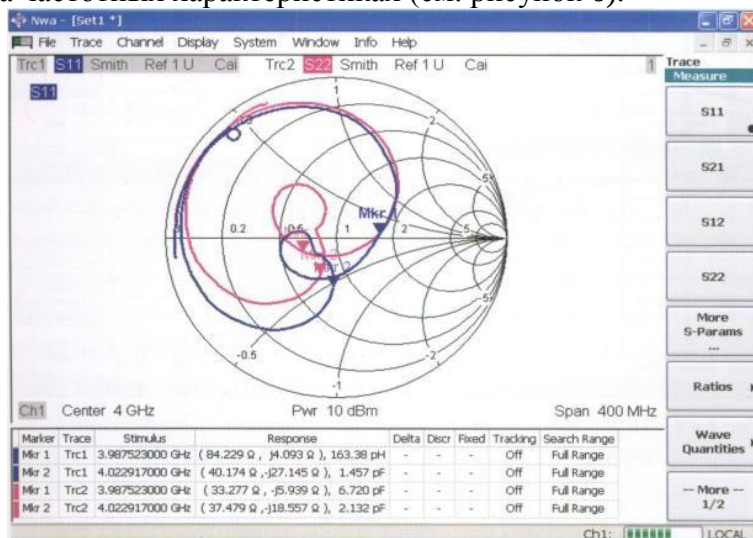


Рисунок 5 – Представление коэффициентов отражения фильтра на диаграмме Смита

Термин «полосовой фильтр» проистекает из формы кривой коэффициента передачи, показанного на рисунке 6.

Результаты были измерены в диапазоне частот от 3,8 ГГц до 4,2 ГГц, маркеры использовались для точного считывания выбранных результатов измерений.

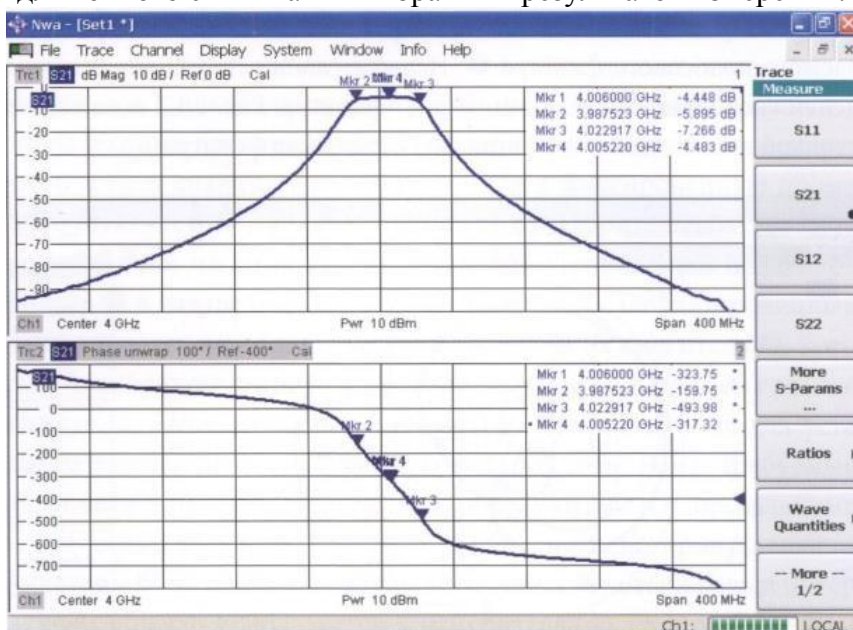


Рисунок 6 – Представление коэффициентов отражения фильтра на частотных характеристиках

Заключение. Таким образом, векторный анализатор цепей с возможностями визуализации данных измерения наиболее предпочтителен для решения ряда электротехнических задач. Применение данного прибора в сочетании с программным продуктом показывают при практическом применении высокую точность и эффективность.

Список литературы

1. Krasnov A., Nikol'skii D., Repin D., Galtseva O. Formation of informative characteristics of network traffic states using its dynamic filtration / A. Krasnov, D. Nikol'skii, D. Repin,

- O. Galtseva // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2019. – Vol. 516. – P. 012023.
2. Кокорева А.Е. Контроль точности результатов измерений / А.Е. Кокорева, И.В. Плотникова, О.В. Гальцева, М.В. Китаева // Ползуновский вестник. – 2016. – № 4-2. – С. 84–87.
 3. Пермякова М.Ю. Компьютерное моделирование опыта Франка и Герца / М.Ю. Пермякова, Ю.О. Лобода, В.Г. Тютюрев // Наука и образование. – 2009. – С. 42–45.
 4. Основы векторного анализа цепей / Михаэль Хибель. – пер. с англ. С.М. Смольского; под ред. У. Филипп. – М.: Издательский дом МЭИ, 2009. – 500 с.
 5. R&S®FSH – Программное обеспечение [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.rohde-schwarz.com/cac/software/fsh/> (дата обращения: 29.11.2023).

УДК 678.019

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОСПЛАМЕНЕНИЯ ЭПОКСИДНЫХ КОМПОЗИТОВ, НАПОЛНЕННЫХ НАНОПОРОШКОМ АЛЮМИНИЯ

Вернер Наталья Дмитриевна, Назаренко Ольга Брониславовна

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

E-mail: vernernataaaa@mail.ru

Алексеев Константин Геннадьевич

Федеральное государственное бюджетное учреждение «Судебно-экспертное учреждение федеральной противопожарной службы «Испытательная пожарная лаборатория» по Томской области», г. Томск

E-mail: ipltom@mail.ru

Висак Путхенпуракалчира Маниян

Кочинский университет науки и технологий, Индия

E-mail: visagam143@gmail.com

INVESTIGATION OF THE IGNITION TEMPERATURE OF EPOXY COMPOSITES FILLED WITH ALUMINUM NANOPOWDER

Verner Natalya Dmitrievna, Nazarenko Olga Bronislavovna

National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk

Alekseev Konstantin Gennadevich

FSBI Forensic Institution of the Federal Fire Service “Test Fire Laboratory”, Tomsk

Visak Puthenpurakalchira Maniyan

Cochin University of Science and Technology, India

Аннотация: статья посвящена исследованию влияния нанопорошка алюминия на температуру воспламенения эпоксидного полимера. С помощью стандартной методики экспериментального определения температуры воспламенения твердых веществ и материалов были исследованы образцы отвержденной эпоксидной смолы ЭД-20 без наполнителя (контрольный образец) и с наполнителем (нанопорошок алюминия). Концентрация введенного в эпоксидную смолу нанопорошка алюминия составляла 0,25 масс.% и 0,5 масс.%. Исследование показало, что добавление 0,25 масс.% нанопорошка алюминия привело к росту температуры воспламенения эпоксидного полимера, а 0,5 масс.% – к снижению температуры воспламенения.

Abstract: this work is devoted to the study of the effect of aluminum nanopowder on the ignition temperature of epoxy resin. Using the standard method of experimental determination of solids and materials, the samples of cured ED-20 epoxy resin without filler (control sample) and with fillers (aluminum nanopowder) were studied. The concentration of aluminum nanopowder introduced