

Измерение интегральных электродинамических характеристик радиопоглощающих материалов при помощи сверхширокополосных хаотических сигналов

А.И. Рыжов¹, А.С. Дмитриев¹, Е.В. Ефремова¹, В.В. Ицков¹, А.В. Карпова², В.П. Савченков², О.В. Шушункина²

¹ *Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН
125009, г. Москва, ул. Моховая, 11/7.*

E-mail: chaos@cplire.ru

² *ООО «ЗГМ», 606000, Нижегородская обл., г. Дзержинск, ул. Автозаводская, д. 55В.*

E-mail: tehotdel@zgm.ru

В работе предлагается способ измерения интегральных электродинамических характеристик различных образцов радиопоглощающих материалов в заданном диапазоне частот при помощи сверхширокополосных шумоподобных хаотических сигналов. Проводимые измерения осуществляются при помощи источника сверхширокополосного хаотического сигнала и дозиметра электромагнитного излучения соответствующего диапазона.

Ключевые слова: электромагнитное излучение, сверхширокополосные хаотические сигналы, радиопоглощающие материалы, дозиметр электромагнитного излучения, металлическая окалина

Measurements of integral electrodynamic characteristics of radio absorbing materials using ultrawideband chaotic signals

A.I. Ryzhov¹, A.S. Dmitriev¹, E.V. Efremova¹, V.V. Itskov¹, A.V. Karpova², V.P. Savchenkov², O.V. Shushunkina²

¹ *Kotelnikov Institute of Radioengineering and Electronics of Russian Academy of Sciences,
125009, Moscow, Mokhovaya str. 11/7.*

E-mail: chaos@cplire.ru

² *LLC Sealing Materials Plant, 606000, Nizhny Novgorod region, Dzerzhinsk, Avtozavodskoye highway 55V.*

E-mail: tehotdel@zgm.ru

A method for measuring the integral electrodynamic characteristics of various samples of radio absorbing materials in a given frequency range using ultrawideband noise-like chaotic signals is proposed in the work. The measurements are carried out using an ultrawideband chaotic signal source and dosimeter of electromagnetic radiation working in the appropriate range.

Keywords: electromagnetic radiation, ultrawideband chaotic signals, radio absorbing materials, dosimeter of electromagnetic radiation, metal scale.

Введение

В работе предлагается и исследуется метод одновременного измерения интегральных электродинамических характеристик тонких материалов при помощи сверхширокополосных хаотических сигналов. Идея заключалась в том, чтобы для получения интегральной по частоте оценки, например, коэффициента поглощения электромагнитного излучения в пластине, использовать источник хаотического сигнала с достаточно равномерным спектром мощности в заданной полосе частот. Сигнал излучается с помощью ненаправленной антенны. На заранее рассчитанном расстоянии от нее формируется поле излучения с практически плоской волной, где размещается

исследуемый образец материала (тонкая пластина с поглощающим материалом). За ней на таком же расстоянии размещается приемное устройство с антенной, которой принимает прошедший сигнал и оценивает его интегральную мощность. Оценка уровня поглощения производится путем сравнения мощностей принимаемого сигнала при наличии и отсутствии поглощающего образца между источником излучения и приемником.

Для апробации рассматриваемого метода были разработаны источники сверхширокополосного хаотического сигнала с полосами от 3 до 5 ГГц и от 1 до 7 ГГц.

В качестве приёмного устройства использовался дозиметр электромагнитного излучения «МЕРА» [1-3]. Данный прибор позволяет осуществлять интегральные измерения уровня электромагнитного излучения в диапазоне 1...8 ГГц и перекрывает диапазон излучения обоих источников излучения.

Экспериментальные средства

Оба источника (передатчика) излучения разработаны по одному и тому же принципу. В качестве примера ниже описывается источник с полосой 1...7 ГГц.

Передатчик сверхширокополосного электромагнитного излучения содержит два основных элемента — генератор сверхширокополосного хаотического сигнала [4] и антенну, специально разработанную для диапазона 1...7 ГГц.

Печатная плата источника излучения (материал FR4) приведена на рис. 2а, тогда как готовое устройство в пластиковом корпусе, внутри которого располагается печатная плата, показано на рис. 2б. Габариты устройства составляют 90x50x16 мм., толщина диэлектрика 1 мм, толщина фольги 18 мкм.

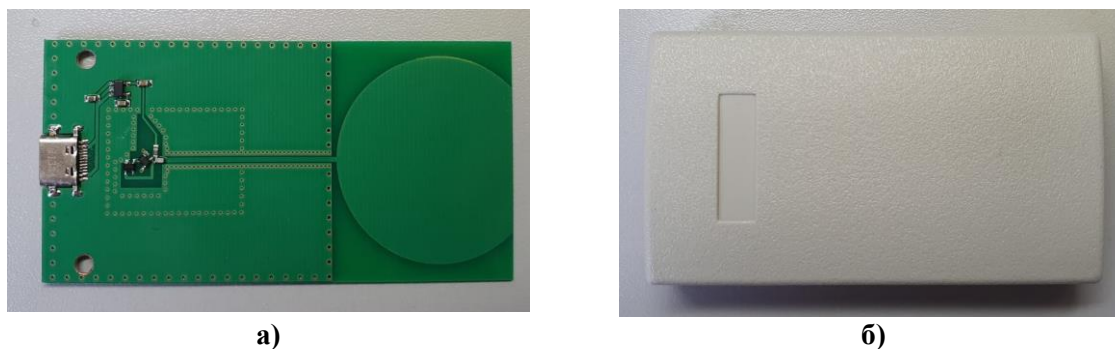


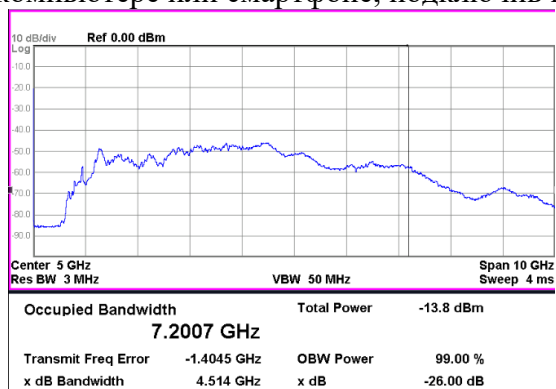
Рис. 1. Источник излучения диапазона 1...7 ГГц: а) – печатная плата, б) – внешний вид устройства

Генератор на источнике излучения работает в расчетном хаотическом режиме. Согласованность антенны соответствует расчетам и не нарушает работу генератора. Частотный диапазон составляет 1...7 ГГц. Спектр излучаемого сигнала изображен на рисунке 2а. Он получен на анализаторе спектра Keysight CXA N9000A при помощи измерительной антенны ETS Lindgren 3115 на расстоянии около 15см.

Итоговая выходная мощность источника излучения составляет 7.5 дБм.

Далее перейдем к описанию дозиметра электромагнитного излучения «МЕРА». Это устройство представляет собой миниатюрный гаджет размеров порядка пластиковой карточки, который даёт возможность регистрировать уровень принимаемого электромагнитного излучения от различных устройств, излучение которых попадает в рабочий диапазон дозиметра, включая такие используемые повседневно устройства, как телефон, Wi-Fi роутер, микроволновка, и др. Дозиметр «МЕРА» позволяет не только осуществлять измерения мгновенных значений мощности сигнала, но и записывать

данные в течении длительного времени, после чего ими можно будет воспользоваться на компьютере или смартфоне, подключив к ним дозиметр.



а) б)
Рис. 2. а) Спектр мощности передатчика, б) Внешний вид дозиметра электромагнитного излучения МЕРА

Дозиметр электромагнитного излучения МЕРА работает в диапазоне 1...8 ГГц и обладает характеристиками, представленными в табл. 1. Внешний вид устройства представлен на рис. 2б

Таблица 1. Технические характеристики дозиметра «МЕРА»

Габариты:	85x50x4 мм
Диапазон работы	1...8 ГГц
Напряжение автономного источника питания	3.7 В
Напряжение внешнего источника питания	5 В
Потребляемый ток	< 1 мА
Разъём подключения	USB Type-C.

Схема проведения экспериментов

При проведении экспериментов использовалась следующая схема. С одной стороны от исследуемого образца располагался описанный выше источник излучения (высота расположения около 30 см над поверхностью). С другой стороны от образца располагалась приёмная антенна. В качестве неё использовалась или антенна, подключаемая к анализатору спектра (ETS Lindgren 3115), или дозиметр «МЕРА». Исследуемый образец помещался посередине между антеннами так, что расстояние между антеннами было равно 20 см. Далее осуществлялись измерения мощности принимаемого сигнала при наличии и отсутствии исследуемого образца, и по разнице между этими измерениями определялся уровень ослабления сигнала, вносимый радиопоглощающим материалом.

Было проведено две серии измерений: в первой изучалось влияние образца на спектр принимаемого сигнала, а во второй осуществлялось интегральное измерение уровня ослабления сигнала образцом при помощи анализатора спектра и дозиметра «МЕРА».

Результаты измерений

В первой серии экспериментов с образцами проводились измерения только с анализатором спектра, также наблюдалась картина изменения спектра сигнала.

Результаты измерений для образца №1 (Абрис ЭМИ на силиконовой основе с 60% содержанием окалина и 5% рубленого углеродного волокна, размер образца 200x1x200 мм) приведены на рис. 3, где показаны спектры сигнала на приёмной антенне при

отсутствии (а) поглощающего материала и при его наличии (б). По этим изображениям спектров видно, что исследуемый образец вносит ослабление сигнала во всём диапазоне, при этом оно является неравномерным по частотам: на рис. 3б явно видны области частот с повышенным затуханием. Измеренный интегральный уровень ослабления, составил 10,9 дБ.

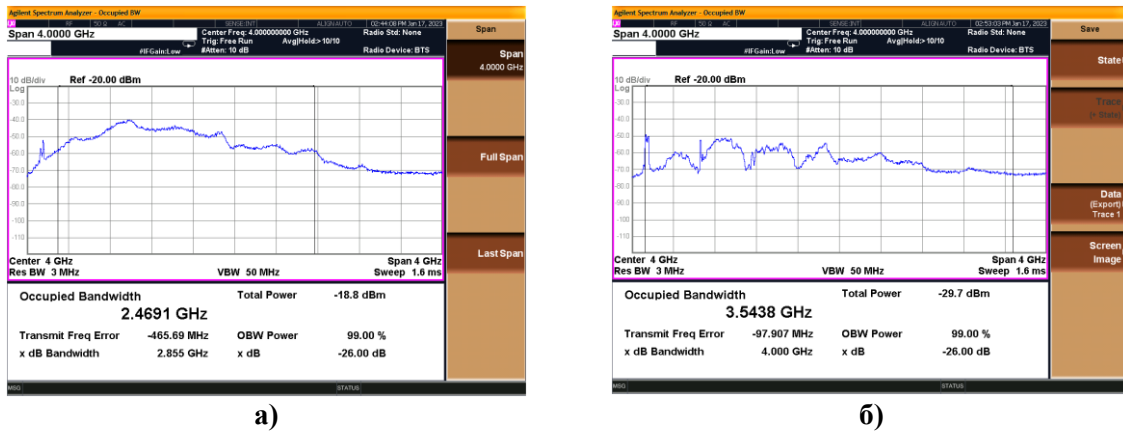


Рис. 3. Пример спектров мощности на приёмной антенне при отсутствии (а) и наличии (б) передатчика и полосой частот 3-5 ГГц.

Во второй серии экспериментов для для второго образца (пластина из материала Абрис ЭМИв с содержанием металлической окаины 85% толщ. = 2.0 мм) проводилось два типа измерений: одно измерение с анализатором спектра, и серия из трёх измерений с использованием дозиметра «МЕРА». Результаты измерений для образца №2 при помощи анализатора спектра показали уровень дополнительного затухания сигнала 9,0 дБ. Измерение этого же параметра при помощи дозиметра «МЕРА» дало результат 9,8 дБ (табл. 2).

Таблица 2. Результаты измерения образца №2

Поворот, град.	Показание без образца	Показание с образцом	Уровень затухания
Анализатор спектра, дБ	-15,0 дБм	-24,0 дБм	9,0 дБ
Дозиметр «МЕРА»	3251 нВт/см ²	338 нВт/см ²	9,8 дБ

Выводы

В работе предложен метод оперативного измерения поглощающих свойств пластин из тонких материалов в радио и СВЧ диапазоне, заключающийся в использовании сверхширокополосного источника хаотических электромагнитных сигналов и приема ослабленных поглощением сигналов сверхширокополосным интегральным приемником.

Для реализации метода была создана специальная передающая и приемная аппаратура в диапазоне частот от 1 до 7 ГГц.

Экспериментальная апробация предложенного метода и сравнение результатов с использованием стандартного измерения уровня поглощения на основе анализатора спектра позволяет оценить точность проведенных измерений на уровне 10...15% по отношению к стандартным методам измерений поглощения.

Литература

1. Дмитриев А.С., Ицков В.В., Рыжов А.И. Персональная дозиметрия микроволнового электромагнитного излучения. Долговременные эксперименты с устройством «Мера» // Радиотехника и электроника . 2021. Т. 66, №1, С. 27-38.

2. Дмитриев А.С., Ицков В.В., Рыжов А.И., Уваров А.В. Микроволновая электромагнитная дозиметрия персонального экологического пространства. // Физические основы приборостроения. 2020. Т. 9. №1 (35), С. 85-99. DOI: [dx.doi.org/10.25210/jfor-2001-085099](https://doi.org/10.25210/jfor-2001-085099).
3. Дмитриев А.С., Ицков В.В., Рыжов А.И. Экспериментальная апробация персонального дозиметра микроволнового электромагнитного излучения «Мера» // Журнал радиоэлектроники. №7, 2020. DOI: [10.30898/1684-1719.2020.7.7](https://doi.org/10.30898/1684-1719.2020.7.7).
4. Dmitriev, A.; Efremova, E.; Rummyantsev, N. A microwave chaos generator with a flat envelope of the power spectrum in the range of 3–8 GHz. Tech. Phys. Lett. 2014, 40, 48–51.