

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СШП ИЗЛУЧАТЕЛЯ

Абдрахманова Г.И.<sup>1</sup>, Мешков И.К.<sup>1</sup>, Князев Н.С.<sup>2</sup>, Султанов А.Х.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Уфимский государственный авиационный технический университет, Уфа, РФ

<sup>2</sup>Уральский федеральный университет, Екатеринбург, РФ

E-mail: guzel.idrisovna@gmail.com

В статье приводятся результаты лабораторных исследований экспериментального образца фрактального миниатюрного антенного излучателя, разработанного для регламентированного Государственной комиссией по радиочастотам сверхширокополосного диапазона частот. Антенна выполнена по технологии изготовления печатных плат на основе микрополосковой линии и соответствует 5 классу точности. Для изготовления антенны был использован коммерчески доступный материал Rogers RO4350В на основе терморезистивного полимера с добавлением керамики. Геометрия излучающего элемента характеризуется простотой и основана на двух видоизмененных кругах, итоговые размеры антенны с учетом разъема составляют 19×39 мм<sup>2</sup>. Диапазон рабочих частот излучателя 3,13...15 ГГц. Антенна характеризуется достаточным согласованием в указанной полосе и обеспечивает простоту и снижение затрат при серийном производстве, она может найти применение в существующих (Wi-Fi, 3G, 4G) и в создаваемых (радио-по-оптоволокну, 5G) сетях.

**Ключевые слова:** сверхширокополосная связь; микрополосковые антенны; коэффициент отражения; безэховая камера; экспериментальные исследования

### Введение

Одним из основных направлений развития современных телекоммуникационных систем и сетей является стремление обеспечить конечного пользователя качественными и новыми услугами связи. При этом параллельно разработчики стремятся решить следующие задачи:

- снижение стоимости услуг связи и оборудования, энергопотребления и производственных затрат;
- обеспечение доступа к качественным услугам связи большей массе населения для повышения качества жизни;
- уменьшение отрицательного воздействия на окружающую среду и живых существ;
- повышение конкурентоспособности отечественных производителей;
- защита персональных данных при проведении финансовых операций.

Представленный в работе образец фрактального миниатюрного антенного излучателя (ФМАИ) предназначен для излучения и приема сигналов в составе фазированной антенной решетки (ФАР), используемой в качестве элемента антенно-фидерного тракта экспериментального стенда «Радио по оптоволокну». Данный ЭС является прототипом системы СШП – RoF и пилотным образцом подобной системы на территории РФ, разработанной в рамках соглашения о предоставлении субсидии №14.574.21.0058.

Проведенный анализ научно-информационных источников в области разработки сверхширокополосных (СШП) приемо-передающих

антенн [1-9] позволяет сделать вывод о том, что современные антенны выполнены по микрополосковой технологии и имеют целью расширение диапазона рабочих частот при обеспечении достаточного согласования и малых размеров за счет применения новых структур и геометрий излучающих элементов. Разработанные образцы ФМАИ соответствуют последним разработкам в области проектирования СШП-антенн, они характеризуются широким диапазоном рабочих частот (3,13...15 ГГц), простотой при серийном производстве (размеры ФМАИ составляют 19×39 мм<sup>2</sup>) и совместимостью с интегральными схемами. Это в свою очередь создает возможность удешевления и миниатюризации оборудования базовых и мобильных станций в случае применения ФМАИ в составе пикосотовых беспроводных сетей ШПД.

Помимо указанного стенда ФМАИ могут найти применение в составе существующих систем связи (Wi-Fi, 3G, 4G), а также в новых разрабатываемых, в том числе СШП-RoF и сетях 5G.

Целью данной работы является проведение экспериментальных исследований образцов ФМАИ для подтверждения расчетных характеристик, а именно потерь на отражение S<sub>11</sub>, коэффициента передачи S<sub>21</sub>, КСВН, входного сопротивления и диаграммы направленности (ДН).

### Описание ФМАИ

ФМАИ предназначен для приема и передачи радиосигналов в диапазоне рабочих частот от 3,13 до 15 ГГц. Данный диапазон определен для

частот, на которых значение КСВН  $\leq 2$ . Предварительные расчеты и подробное описание имитационного моделирования ФМАИ с использованием программного обеспечения (ПО) CST Microwave Studio (MWS) представлено в [10].

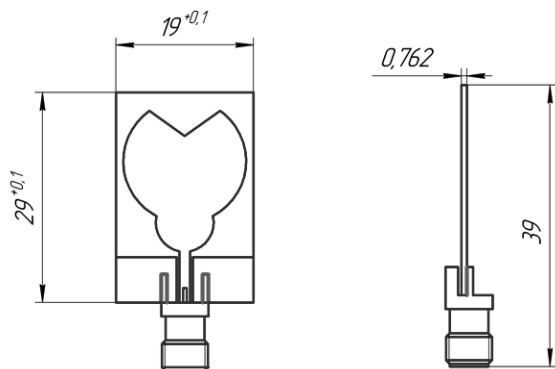


Рисунок 1. Габаритные размеры ФМАИ

Внешний вид изделия с указанием размеров показан на рисунке 1: ФМАИ представляет собой широкополосную антенну, изготовленную на армированном материале Rogers RO4350B на основе терморезистивного полимера с добавлением керамики. Используемый материал Rogers RO4350B технологически прост в обработке и имеет прочную подложку, усиленную стеклотканью. Характеристики материала: толщина подложки: 0,762 мм; толщина фольги: 35 мкм; диэлектрическая проницаемость материала:  $3,48 \pm 0,05$ ; тангенс угла диэлектрических потерь на частоте 10 ГГц: 0,0037.

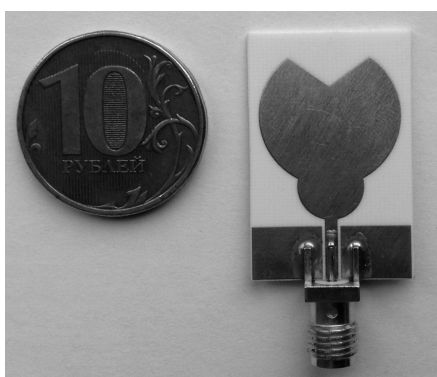


Рисунок 2. Внешний вид ФМАИ

Подключение ФМАИ осуществляется SMA-разъемом, тип SMA 72970 Romona (female), установленным на плату антенны методом пайки (см. рисунок 2).

### Результаты моделирования ФМАИ

Как было сказано, моделирование ФМАИ осуществлялось с использованием ПО CST MWS. В процессе расчетов были получены и проанализиро-

ваны такие характеристики излучателя, как: потери на отражение  $S_{11}$ , КСВН, входное сопротивление, ДН; построено распределение поверхностных токов, оценены передаточная функция  $S_{21}$  и фактор подобия на основе системы двух антенн.

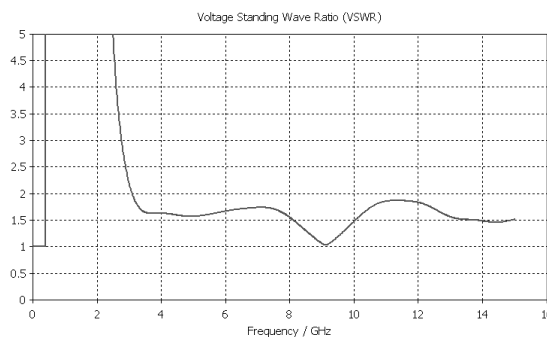


Рисунок 3. КСВН ФМАИ

Указанные характеристики представлены и подробно описаны в [11], кратко отметим следующее:

- КСВН лежит в пределах от 1,1 до 2 в диапазоне 3,13...15 ГГц (см. рисунок 3);
- поверхностные токи распределены симметрично относительно вертикальной оси, большей частью они сконцентрированы в центральном проводнике, по краю плоскости земли (ПЗ) и по краям излучающего элемента (ИЭ), убывая от копланарного волноводного порта (точки питания) по направлению к вершине на всех частотах;

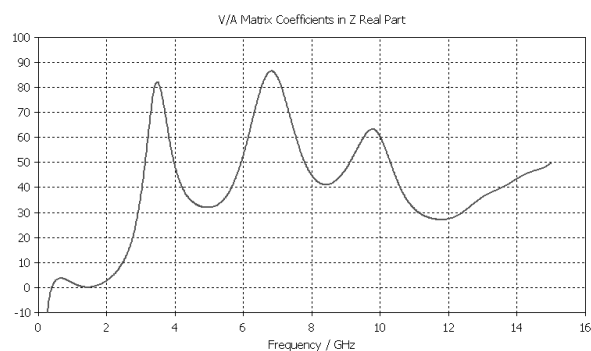


Рисунок 4. Частотная зависимость действительной части входного сопротивления

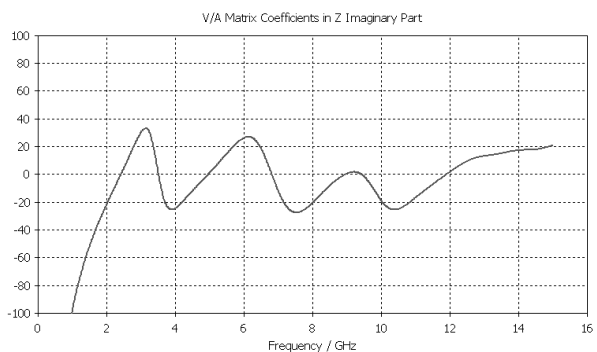


Рисунок 5. Частотная зависимость мнимой части входного сопротивления

– действительная часть входного сопротивления колеблется относительно уровня 50 Ом (см. рисунок 4), мнимая – относительно нулевого уровня (см. рисунок 5);

– на частоте 3,13 ГГц ДН ФМАИ подобна ДН симметричного диполя и имеет вид окружности в горизонтальной плоскости, в вертикальной плоскости – представляет собой две соприкасающиеся окружности;

– с ростом частоты происходит искажение ДН в виде отклонения от тороидальной формы ввиду того, что длина участков со встречным направлением токов увеличивается и интенсивность излучения в горизонтальной плоскости уменьшается.

Указанные характеристики были подтверждены результатами двух разных расчетов, после чего было изготовлено и протестировано 20 образцов ФМАИ.

### Результаты экспериментального исследования ФМАИ

Экспериментальные исследования ФМАИ были проведены в безэховой камере (БЭК) Центра коллективного пользования Уральского Федерального университета (г. Екатеринбург). Поскольку все образцы ФМАИ демонстрируют практически идентичные характеристики, здесь представлены результаты измерений для образца №1 (ФМАИ-1) и даны комментарии по остальным 19 образцам.

На рисунке 6 представлены результаты измерений  $S_{11}$ , на рисунке 7 – коэффициента передачи, на рисунке 8 – КСВН. Из рисунка 6 видно, что значения  $S_{11}$  составляют менее  $-10$  дБ (что соответствует  $КСВН = 2$ ) в диапазоне измерений 2...16 ГГц, что перекрывает расчетный диапазон 3,13...15 ГГц.

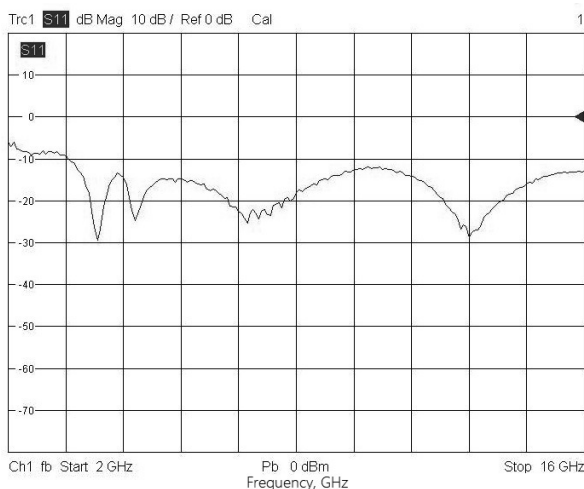


Рисунок 6. Потери на отражение  $S_{11}$  ФМАИ-1

График  $S_{11}$  на рисунке 6 демонстрирует несколько резонансов: четыре – «крупных» и большое количество «мелких», которые, перекрываясь, образуют единый рабочий диапазон частот. Указанное расширение диапазона справедливо для всех образцов ФМАИ, за исключением ФМАИ-16, что объясняется внутренним дефектом, поскольку визуальный контроль не выявил отклонений от чертежа изделия.

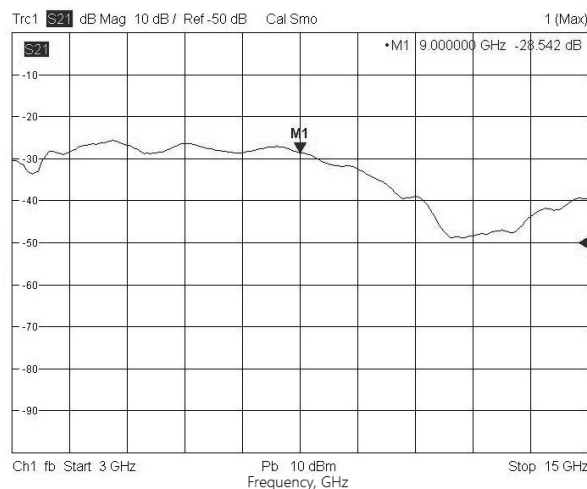


Рисунок 7. Модуль коэффициента передачи ФМАИ-1

Измерения модуля коэффициента передачи  $S_{21}$  были проведены в диапазоне 3...15 ГГц. Согласно данным рисунка 7 поведение данной характеристики стабильно до частоты 10 ГГц, а далее характеризуется спадом до уровня  $-48$  дБ.

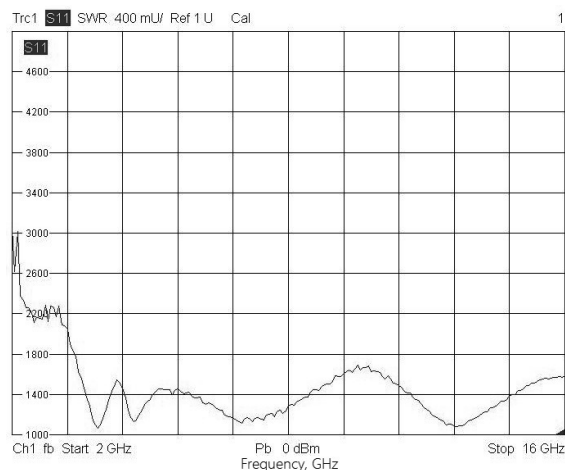


Рисунок 8. КСВН ФМАИ-1

По рисунку 8 видно, что  $КСВН < 2$  в диапазоне 1,9...16 ГГц, что лучше расчетных значений: на нижней частоте  $КСВН = 2$ , далее колеблется вблизи 1,4 и не превышает 1,7 на частоте 10 ГГц, минимум составляет 1,1. Это свидетельствует о том,

что ФМАИ-1 хорошо согласован в заданном рабочем диапазоне. Другие образцы ФМАИ по характеристикам аналогичны ФМАИ-1, хотя для некоторых из них максимум КСВН = 1,9 – что, тем не менее, также укладывается в требуемые нормы. На рисунке 9 представлены результаты измерений действительной и мнимой частей входного сопротивления антенны. Согласно графикам, действительная часть близка к значению 50 Ом, на которое и было рассчитано согласование ФМАИ, а мнимая часть близка к нулю. В обоих случаях наблюдаются лишь незначительные отклонения, что свидетельствует о хорошем согласовании.

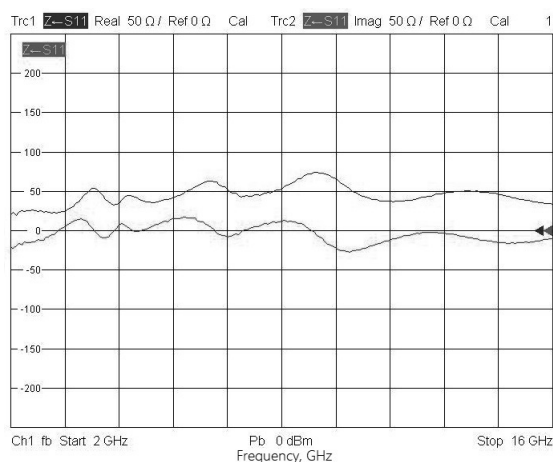


Рисунок 9. Действительная и мнимая части входного сопротивления ФМАИ-1

Диаграмма направленности ФМАИ была измерена в двух плоскостях: горизонтальной и вертикальной (см. рисунки 10 и 11 соответственно) на частотах 3; 5; 7,5; 10 и 15 ГГц. По рисункам можно видеть, что в горизонтальной плоскости ДН имеет форму, близкую к окружности, что говорит о всенаправленном характере излучения.

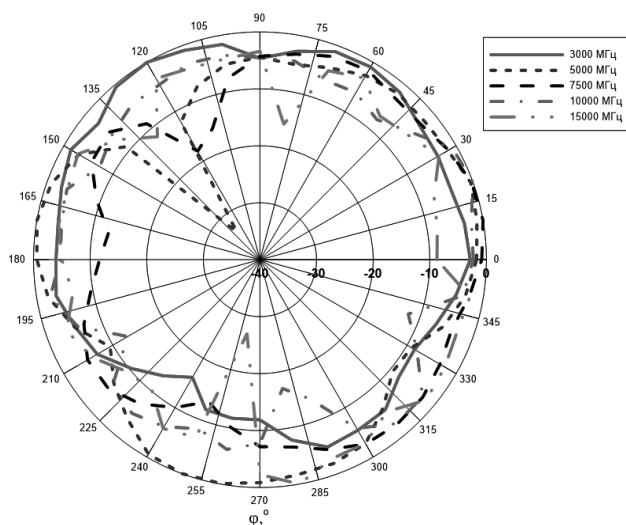


Рисунок 10. ДН в горизонтальной плоскости

В вертикальной плоскости ДН на частотах 3 и 5 ГГц близка к кардиоиде, причем с ростом частоты происходит искажение ДН, которое тем сильнее, чем выше частота. Вышесказанное подтверждает результаты имитационного моделирования и свидетельствует о том, что ФМАИ является слабонаправленной антенной.

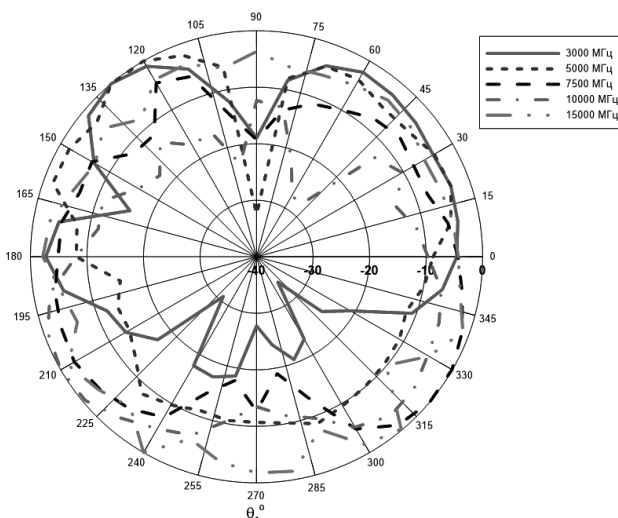


Рисунок 11. ДН в вертикальной плоскости

В целом можно сказать, что все представленные образцы ФМАИ характеризуются широким диапазоном рабочих частот; имеют центральную частоту 7,5 ГГц, где обеспечивается наилучшее согласование; ДН, близкую по форме к ДН полуволнового диполя. Все это является хорошим показателем для данного класса микрополосковых СШП-антенн.

Выявленные в процессе лабораторных измерений отличия заявленных характеристик ФМАИ от результатов моделирования объясняются следующими возможными причинами. При изготовлении образцов ФМАИ имеет место погрешность, связанная с невозможностью идеального воспроизведения спроектированного устройства ввиду ограничений, накладываемых технологией изготовления, а также внутренними дефектами материала, из которого изготовлены образцы ФМАИ. Другой причиной отклонений является погрешность при проведении измерений в БЭК. Тем не менее, резюмируя вышесказанное, можно утверждать, что результаты моделирования и измерений, проведенных в БЭК, между собой близки, что свидетельствует о корректности расчетов, а также о возможности успешного применения ФМАИ на практике.

### Заключение

Представлено экспериментальное исследование ФМАИ, предназначенного для использования в составе экспериментального стенда «Радио

по оптоволокну» в СШП-диапазоне частот. При изготовлении ФМАИ были использованы современные высокотехнологические материалы и элементная база промышленного назначения.

На образцах ФМАИ в БЭК были исследованы следующие характеристики: КСВН, потери на отражение, коэффициент передачи, входное сопротивление, ДН. В результате установлено соответствие теоретических и экспериментальных данных, подтвержден рабочий диапазон частот 3,13...15 ГГц, КСВН менее 2, действительная часть входного сопротивления близка к 50 Ом, мнимая – к нулю, антенна является всенаправленной. Проанализированы причины отклонений экспериментальных параметров ФМАИ от соответствующих им расчетных значений.

Помимо применения ФМАИ в составе стенда «Радио по оптоволокну» они также могут быть использованы в антенно-фидерных трактах мобильных устройств систем широкополосной связи с целью уменьшения их габаритов за счет передачи и приема сигналов различных стандартов на одно антенное устройство. Таким образом, свойства ФМАИ позволяют значительно расширить возможности современных и проектируемых систем связи. Исследование выполнено при поддержке стипендии Президента РФ молодым ученым и аспирантам (Конкурс СП-2018).

### Литература

- Mandal T., Das S. A coplanar waveguide fed hexagonal shape Ultra wide band antenna with WiMAX and WLAN band rejection // *Radioengineering*. – 2014. – Vol.23. – No.4. – P. 1077-1085.
- Peng H., Luo Y., Shi Z. Triple band-notched UWB planar monopole antenna using triple-mode resonator // *Progress in electromagnetics research C*. – 2015. – Vol. 57. – P. 117-125. DOI: 10.2528/PIERC15040703.
- Beigi P., Nourinia J., Mohammadi B., Valizade A. Bandwidth enhancement of small square monopole antenna with dual band notch characteristics using U-shaped slot and butterfly shape parasitic element on backplane for UWB applications // *Applied Computational Electromagnetics Society Journal*. – 2015. – Vol. 30. – No. 1. – P. 78-85.
- Fakharian M.M., Rezaei P., Azadi A. A planar UWB bat-shaped monopole antenna with dual band-notched for WiMAX/WLAN/ DSRC // *Wireless Pers. Commun.* – 2015. – P. 882-891. DOI: 10.1007/s11277-014-2162-8.
- Ouda M. A novel elliptically shaped compact planar Ultra-wideband antenna // *Journal of Engineering Research and Technology*. – 2014 – vol. 1. – Issue 1. – 5 p.
- Shakib M.N., Moghavvemi M., Mahadi W.N. Design of a compact planar antenna for Ultra-wideband operation // *Applied Computational Electromagnetics Society Journal*. – 2015 – Vol. 30. – No. 2. – P. 222-229.
- Белоусов О.А., Курносов Р.Ю., Горшков П.А., Рязанова А.Г. Антенная решетка на основе широкополосной планарно-щелевой антенны с экспоненциальным изменением ширины щели для систем беспроводного широкополосного доступа // *Вопросы современной науки и практики*. – 2015. – С. 184-194.
- Lu W.-J., Shi J.-W., Tong K.-F., Zhu H.-B. Planar end-fire circularly polarized antenna using combined magnetic dipoles // *IEEE Antennas & Wireless Propagation Letters*. – 2015. – 4 p. DOI: 10.1109/LAWP.2015.2401576.
- Zi-Han Wu, Feng Wei, Xiao-Wei Shi, Wen-Tao Li. A compact quad band-notched UWB monopole antenna loaded one lateral L-shaped slot // *Progress in electromagnetics research*. – 2013. – Vol. 139. – P. 303-315. DOI: 10.2528/PIER13022714.
- Абдрахманова Г.И., Багманов В.Х. Сверхширокополосная система связи на основе новых моделей импульсов и антенн // *Вестник УГАТУ*. – 2013. – Т.17. – №4 (57). – С. 152-159.
- Абдрахманова Г.И. Повышение эффективности сверхширокополосных систем связи на основе оптимизации формы импульсов. Дисс. к.т.н. Уфа, 2013. – 142 с.

*Получено 15.12.2018*

**Абдрахманова Гузель Идрисовна**, к.т.н., доцент Кафедры телекоммуникационных систем (ТС) Уфимского государственного авиационного технического университета (УГАТУ). Тел. +7 987-473-90-42. E-mail: gu-zel.idrisovna@gmail.com

**Мешков Иван Константинович**, к.т.н., доцент Кафедры ТС УГАТУ. Тел. +7-927-927-92-85. E-mail: mik.ivan@bk.ru

**Князев Николай Сергеевич**, к.т.н., доцент Департамента радиоэлектроники и связи Уральского Федерального университета. Тел. (8-343) 361-19-84. E-mail: nknyazev@yandex.ru

**Султанов Альберт Ханович**, д.т.н., профессор, заведующий Кафедрой ТС УГАТУ. Тел. +7-903-310-00-70.  
E-mail: tks@ugatu.ac.ru

## UWB ANTENNA EXPERIMENTAL STUDY

*Abdrakhmanova G.I.<sup>1</sup>, Knyazev N.S.<sup>2</sup>, Meshkov I.K.<sup>1</sup>, Sultanov A.Kh.<sup>1</sup>*

*<sup>1</sup>Ufa State Aviation Technical University, Ufa, Russian Federation*

*<sup>2</sup>Ural Federal University, Ekaterinburg, Russian Federation*

*E-mail: guzel.idrisovna@gmail.com*

The paper describes an experimental study of a fractal miniature antenna radiator, which operates in ultra wideband band 3,13...15 GHz. The antenna is constructed using Rogers RO4350B material, which is a thermosetting polymer with the addition of ceramics. It was assembled on the basis of the printed circuit boards technology and complies to the 5th class of accuracy. The total antenna size including the connector equals to 19×39 mm<sup>2</sup>, its radiating part is simple and consists of two modified circles. The antenna was measured in anechoic chamber, which has proven its characteristics, including the acceptable matching in the mentioned band. Since it provides simplicity and cost reduction in case of mass production, it can be used in many other areas, such as 3G-5G and Radio-over-Fiber networks.

**Keywords:** *ultra wideband communication; microstrip antennas; reflection coefficient; anechoic chamber; experimental study*

**DOI:** 10.18469/ikt.2019.17.1.13

**Abdrakhmanova Guzel Idrisovna**, Ufa State Aviation Technical University, 12-6 Karl Marx str., Ufa, 450008, Russian Federation; Associated Professor of the Department of Telecommunication Systems, PhD in Technical Sciences. Tel. +79874739042. E-mail: guzel.idrisovna@gmail.com

**Meshkov Ivan Konstantinovich**, Ufa State Aviation Technical University, 12-6 Karl Marx str., Ufa, 450008, Russian Federation; Associated Professor of the Department of Telecommunication Systems, PhD in Technical Sciences. Tel. +79279279-85. E-mail: mik.ivan@bk.ru

**Knyazev Nikolay Sergeevich**, Ural Federal University, 32-313 Mira str., Ekaterinburg, 620078, Russian Federation; Associated Professor of the Department of Radioelectronic and Communication, PhD in Technical Science. Tel. +73433611984. E-mail: nknyazev@yandex.ru

**Sultanov Albert Khanovich**, Ufa State Aviation Technical University, 12-6 Karl Marx str., Ufa, 450008, Russian Federation; Head of the Department of Telecommunication Systems, Doctor of Technical Science, Professor. Tel. +79033100070. E-mail: tks@ugatu.ac.ru

### References

1. Mandal T., Das S. A coplanar waveguide fed hexagonal shape Ultra wide band antenna with WiMAX and WLAN band rejection. *Radioengineering*, 2014, vol. 23, no. 4, pp. 1077-1085.
2. Peng H., Luo Y., Shi Z. Triple band-notched UWB planar monopole antenna using triple-mode resonator. *Progress in electromagnetics research C*, 2015, vol. 57, pp. 117-125. DOI: 10.2528/PIERC15040703.
3. Beigi P., Nourinia J., Mohammadi B., Valizade A. Bandwidth enhancement of small square monopole antenna with dual band notch characteristics using U-shaped slot and butterfly shape parasitic element on backplane for UWB applications. *Applied Computational Electromagnetics Society Journal*, 2015, vol. 30, no. 1, pp. 78-85.
4. Fakharian M. M., Rezaei P., Azadi A. A planar UWB bat-shaped monopole antenna with dual band-notched for WiMAX/WLAN/ DSRC. *Wireless Pers. Commun.*, 2015, pp. 882-891. DOI: 10.1007/s11277-014-2162-8.
5. Ouda M. A novel elliptically shaped compact planar Ultra-wideband antenna. *Journal of Engineering Research and technology*, 2014, vol. 1, no. 1, pp. 5.
6. Shakib M. N., Moghavvemi M., Mahadi W. N. L. Design of a compact planar antenna for Ultra-wideband operation. *Applied Computational Electromagnetics Society Journal*, 2015, vol. 30, no. 2, pp. 222-229.
7. Belousov O. A., Kurnosov R. Y., Gorshkov P. A., Ryazanova A. G.. Antennaya reshetka na osnove shirokopolosnoj planarno-shchelevoj anteny s ehks-ponencial'nym izmeneniem shiriny shcheli dlya sistem besprovodnogo shirokopolosnogo [Antenna grid based on a wide-band planar-slit antenna with an ex-

- potential change in the slot width for wireless broadband access systems]. *Voprosy sovremennoj nauki i praktiki*, 2015, pp. 184-194.
8. Lu W.-J., Shi J.-W., Tong K.-F., Zhu H.-B. Planar end-fire circularly polarized antenna using combined magnetic dipoles. *IEEE Antennas & Wireless Propagation Letters*, 2015. pp. 4. DOI: 10.1109/LAWP.2015.2401576.
  9. Wu Zi-Han, Wei Feng, Shi Xiao-Wei, Li Wen-Tao. A compact quad band-notched UWB monopole antenna loaded one lateral L-shaped slot. *Progress in electromagnetics research*, 2013, vol. 139, pp. 303-315. DOI: 10.2528/PIER13022714.
  10. Abdrakhmanova G. I., Bagmanov V.H. Sverhshirokopolosnaya sistema svyazi na osnove novykh modelej impul'sov i antenn [Ultra-wideband communication system based on new pulse and antenna models]. *Vestnik UGATU*, 2013, vol. 17, no. 4 (57), pp. 152-159.
  11. Abdrakhmanova G.I. *Povyshenie ehffektivnosti sverhshirokopolosnykh sistem svyazi na osnove optimizacii formy impul'sov* [Increase in the efficiency of ultra-wideband communication systems based on pulse shape optimization]. Dissert. cand. of technical sciences, 2013. 142 p.

Received 15.12.2018

## УПРАВЛЕНИЕ И ПОДГОТОВКА КАДРОВ ДЛЯ ОТРАСЛИ ИНФОКОММУНИКАЦИЙ

УДК 006.91:510.644

### МЕТОДИКА РАСПОЗНАВАНИЯ ОБЪЕКТА НА ОСНОВЕ КЛАСТЕРНОГО АНАЛИЗА НЕЧЕТКИХ СИТУАЦИЙ

*Рыжаков В.В.<sup>1</sup>, Рыжаков К.В.<sup>2</sup>, Рыжаков М.В.<sup>3</sup>*

<sup>1</sup> Пензенский государственный технологический университет, Пенза, Россия

<sup>2</sup> Научно-исследовательский и конструкторский институт радиоэлектронной техники - филиал ПО «Старт» им М.В. Проценко, г. Заречный Пензенской области, Россия

<sup>3</sup> Московский физико-технический институт, г. Долгопрудный Московской области, Россия  
E-mail: mryzhakov@applmech.mipt.ru

В статье выделяются обстоятельства, определяющие различные условия, усложняющие получение и формализацию исходной актуальной информации об объекте, подвергаемым наблюдению или локализации в определенный момент времени. С учетом указанных обстоятельств для решения задачи распознавания объекта рекомендуется использовать в качестве основ методик нечеткую информацию. Для развития этого направления в статье предлагается использовать так называемые алгебры-шкалы и соответствующие методы шкалирования и кластеризации для получения и преобразования нечеткой информации. С целью обобщения указанной информации в статье используется понятие нечеткой ситуации. При этом выделяется текущая и типовая ситуации. Их совокупности определяют (характеризуют) как наблюдаемый образ объекта, так и его возможный типовой образ, отвечающий конкретным обстоятельствам. При этом для более оперативного распознавания образа объекта рекомендуется использовать кластерный анализ, позволяющий объединить типовые ситуации в кластеры с определенными свойствами, и на основе использования нечетких отношений включения или равенства определить след движения текущей ситуации по указанным кластерам. Это в значительной степени позволяет повысить оперативность принятия соответствующих ответных решений на поведение наблюдаемого объекта. Такие решения предлагается заранее разработать и запрограммировать. В статье приводятся аналитические выражения алгоритмов, необходимые для реализации методики распознавания объекта и приводится пример кластеризации типовых ситуаций в виде матричного построения.

**Ключевые слова:** нечеткая ситуация, кластер, отношения включения, равенства, след ситуации

#### Введение

Процесс распознавания какого-то образа (объекта) предполагает определенную степень сложности представления соответствующей информации. Последнее определяется в значительной степени отсутствием полной совокупности све-

дений. Эта информация в лучшем случае может носить стохастический характер. В других случаях будет носить более неопределенный нечеткий характер, который можно представить в количественном виде элементами нечетких множеств [1, 2] нечеткой алгебры [3]. Элементы такой алгебры