

АНТЕННАЯ РЕШЕТКА ИЗ СВЕРХШИРОКОПОЛОСНЫХ ИЗЛУЧАТЕЛЕЙ «БАБОЧКА»

Е. В. Овчинникова, Т. Ю. Шумилов, Е Хтут Кхаунг

Разработана модель сверхширокополосного излучателя типа «бабочка», работающего в диапазоне частот от 6 до 18 ГГц. Проведена параметрическая оптимизация конструкции излучателя. Определены характеристики направленности и частотные характеристики. Разработана модель антенной решетки, и определены парциальные диаграммы направленности излучателей, а также частотные характеристики элементов в составе антенной решетки.
Ключевые слова: сверхширокополосный излучатель, антенная решетка, широкополосное согласование, антенна «бабочка», гексагональная антенная решетка.

Введение

Разработка конструкций сверхширокополосных (СШП) антенн ведется в России и за рубежом с 1960-х годов [1 – 5]. Интерес к таким антеннам объясняется тем, что они востребованы во многих отраслях радиотехники. Применение широкополосных или сверхширокополосных антенн в информационных системах позволяет увеличить ширину канала приема, СШП-антенны отлично интегрируются в системы приборов обнаружения, точного позиционирования и геолокации. На базе таких антенн становится возможной реализация интегрированных многофункциональных бортовых систем. Поэтому исследованиям и разработкам СШП-антенн уделялось много внимания на протяжении десятилетий и было разработано много типов СШП-антенн.

Широкополосные и сверхширокополосные антенны подробно рассмотрены в литературе. В статьях [6 – 9] представлены различные типы излучателей и их конструкции: диполи, монополи, щелевые антенны, антенны Вивальди и др. Простейшими конструкциями СШП-антенн являются диполи. Ниже рассматривается один из вариантов построения СШП-диполя – «бабочка». Расширение рабочей полосы по согласованию в таких излучателях достигается путем модификации геометрии, а также прорезями и дополнительными согласующими нагрузками. Антенны типа «бабочка» обладают хорошими частотными характеристиками и характеристиками направленности в широкополосной полосе частот. СШП-антенна «бабочка» относится к классу взаимодополняющих структур. Такие антенны компактны и технологичны. Кроме малых массогабаритных характеристик, антенна имеет простую геометрию, поэтому ее можно использовать в качестве излучателя антенной решетки (рис. 1).

Излучатели типа «бабочка» являются широкополосными по согласованию, поэтому целесообразно провести исследование характеристик направленности в полосе частот.

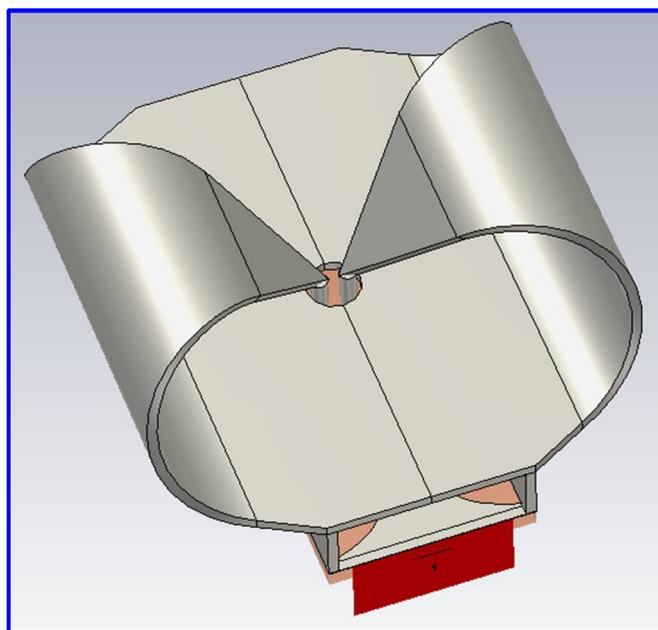


Рис. 1. Общий вид излучателя типа «бабочка»

Целью данной работы является разработка модели излучателя типа «бабочка», определение характеристик направленности и частотных характеристик данного излучателя, рассмотрение возможности применения данного излучателя в качестве антенного элемента при различных конфигурациях антенных решеток (АР).

Постановка задачи

В радиосистемах различного назначения возникает необходимость разработки СШП-излучателей. В качестве одного из вариантов построения такого излучателя можно рассматривать излучатель типа «бабочка» с рабочим диапазоном частот от 6 до 18 ГГц и оптимизировать его характеристики. Необходимо также рассмотреть возможность построения антенных решеток, работающих в X -диапазоне частот при различных конфигурациях размещения антенных элементов решетки: прямоугольной и гексагональной сеткой размещения элементов, провести моделирование АР, работающей в диапазоне частот от 8 до 8,5 ГГц.

Моделирование излучателя «бабочка»

Излучатели типа «бабочка» являются широкополосными по согласованию, поэтому целесообразно провести исследование характеристик направленности в данной полосе частот. В ходе моделирования было выяснено, что наиболее подходящий входной импеданс порта приблизительно равен 150 Ом, поэтому было принято решение промоделировать и согласующую цепь. В качестве материала, на котором будет располагаться согласующий элемент, был выбран Rogers RO4003. Согласующая цепь представляет собой микрополосковую согласующую

линию с волновым сопротивлением 50 Ом на порте питания и волновым сопротивлением 150 Ом до двухпроводной линии электропередачи, подходящей непосредственно к антенне, как показано на рис. 2.

На рис. 3 представлена длина получившегося излучателя, максимальный горизонтальный размер составляет 24 мм, высота согласующей цепи от крайней стенки излучателя составляет 4 мм, а высота самого излучателя не более 8 мм.

Зависимость коэффициента стоячей волны (КСВ) излучателя от частоты, иллюстрирующая согласование излучателя в рабочей полосе частот, приведена на рис. 4.

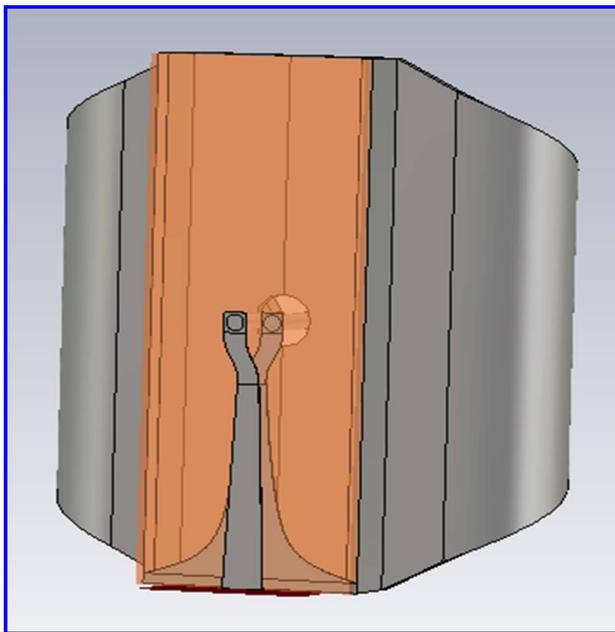


Рис. 2. Согласующая цепь питания

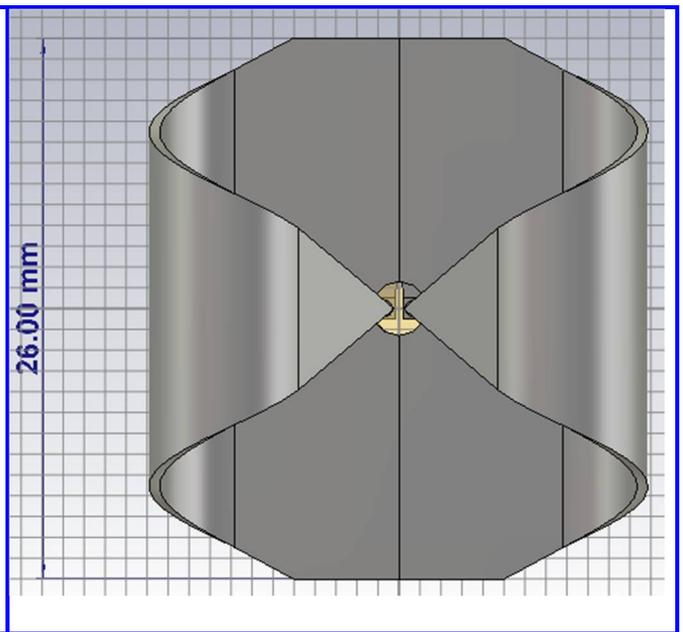


Рис. 3. Длина излучателя

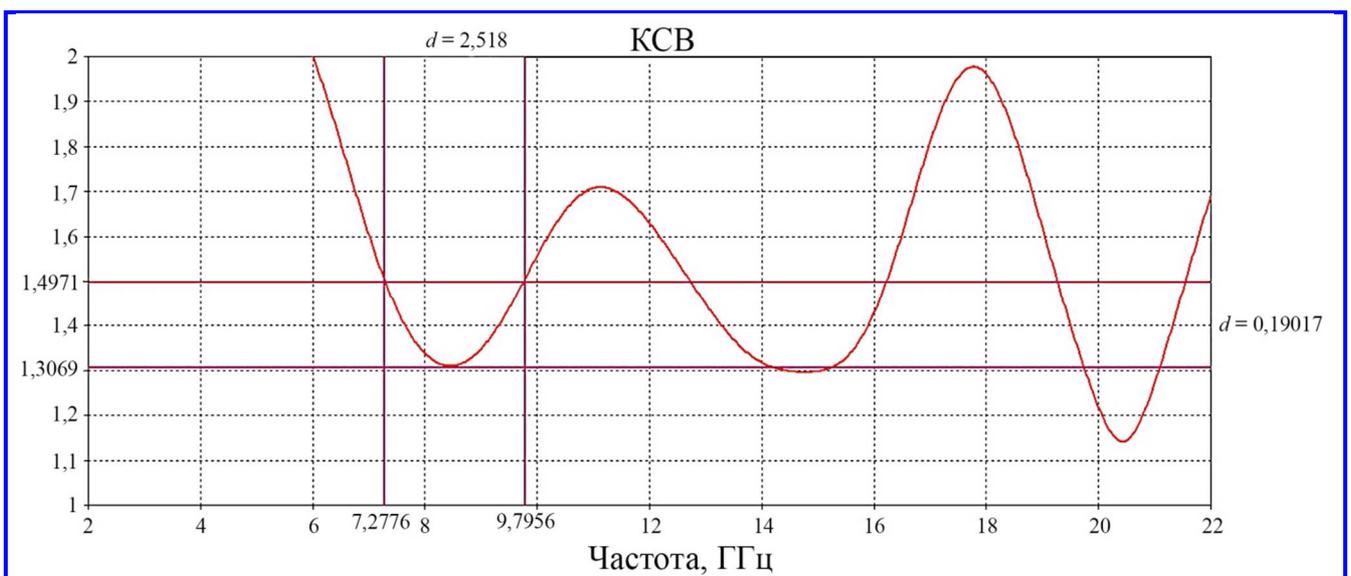


Рис. 4. График зависимости КСВ-излучателя от частоты

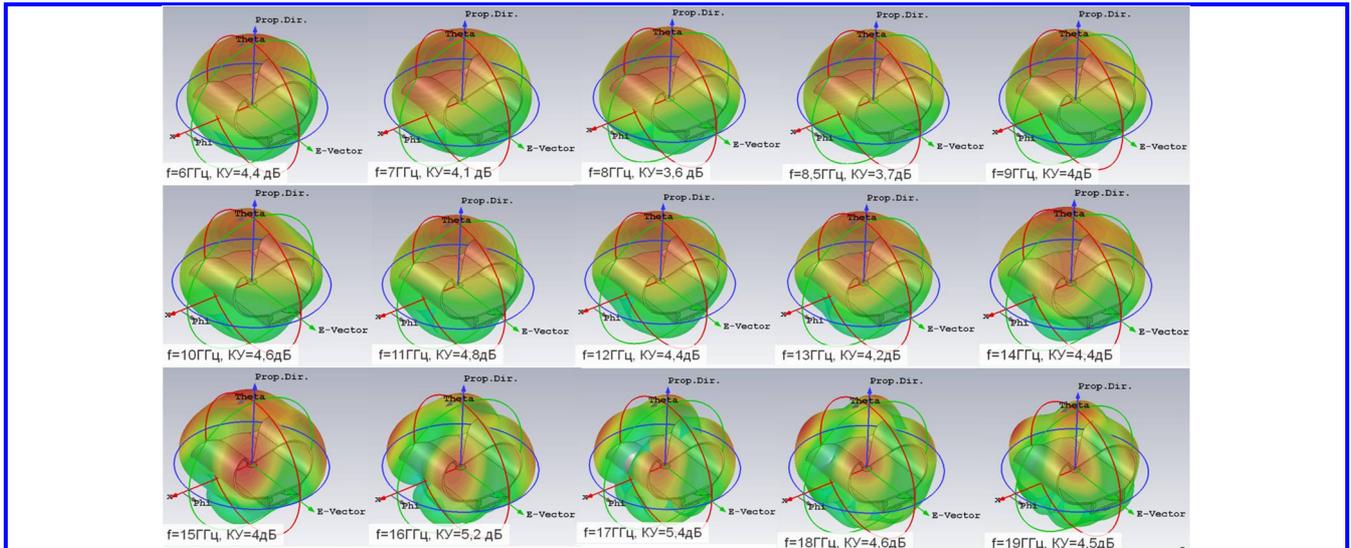


Рис. 5. Пространственные диаграммы направленности излучателя и коэффициенты усиления в рабочей полосе частот излучателя

Особый интерес представляет процесс изменения характеристик направленности излучателя в рабочем диапазоне частот. На рис. 5 представлены пространственные диаграммы направленности (ДН) излучателя и коэффициенты усиления (КУ) на разных частотах моделирования.

На рис. 6 представлены зависимости ширины луча от частоты для линейной антенны, антенны с бегущей волной (АБВ) и разработанного излучателя, которые иллюстрируют возможность работы данного излучателя в широкой полосе не только по согласованию, но и по направленности действия.

На рис. 7 приведены характеристики направленности антенны на частоте 8 ГГц в ортогональных плоскостях.

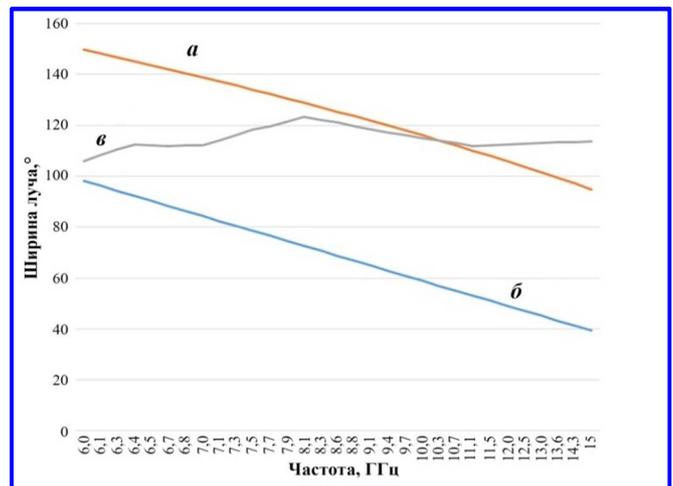


Рис. 6. Зависимость ширины луча от частоты для: а – АБВ; б – линейной антенны; в – излучателя

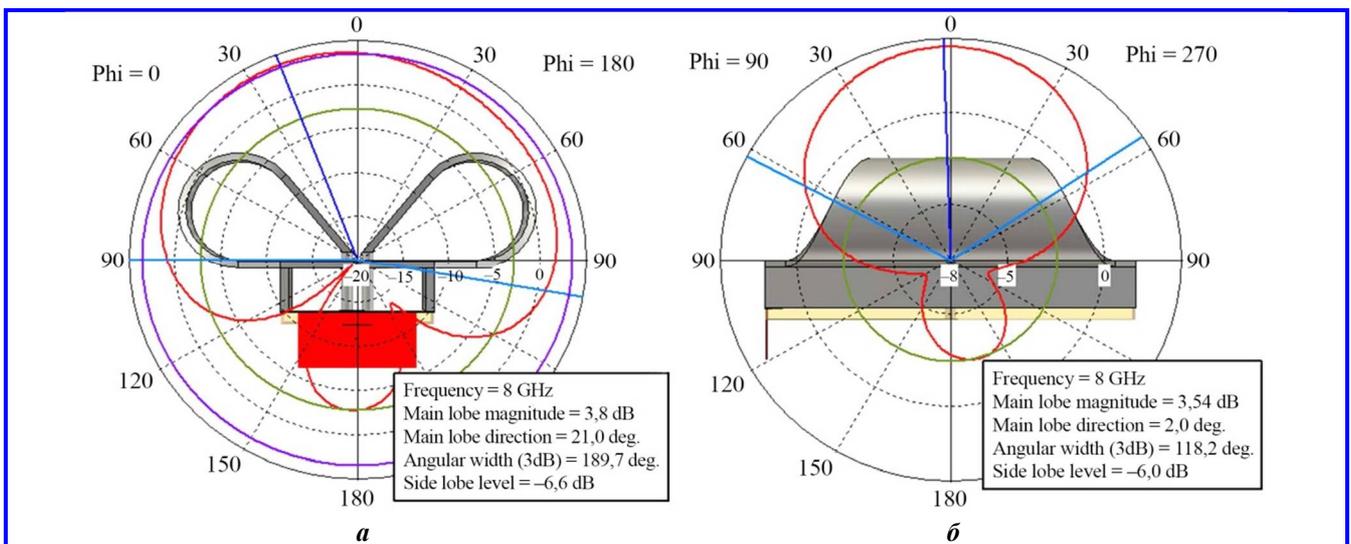


Рис. 7. Характеристики направленности антенны на частоте 8 ГГц: а – ДН, КУ, уровень боковых лепестков (УБЛ) в плоскости $\phi = 0^\circ$; б – ДН, КУ, УБЛ в плоскости $\phi = 90^\circ$

На рис. 8 приведены характеристики направленности антенны на частоте 8,5 ГГц в ортогональных плоскостях.

Моделирование антенных решеток

Для построения СШП антенных решеток с размещением элементов на выпуклых поверхностях [10 – 15] необходимо определить взаимное влияние элементов в решетке. Для этого рассмотрим взаимное влияние элементов в простейших решетках с прямоугольным и гексагональным размещением.

Результаты моделирования антенных решеток с различной структурой антенных полотен (рис. 9), приведены на рис. 10 – 14.

Частотные характеристики излучателей для прямоугольной АР с прямоугольной сеткой размещения элементов приведены на рис. 10. На рис. 10 видно, что антенные элементы согласованы по уровню 2 в диапазоне частот от 8 до 8,5 ГГц.

Пространственная диаграмма направленности АР с прямоугольной сеткой размещения элементов приведена на рис. 11.

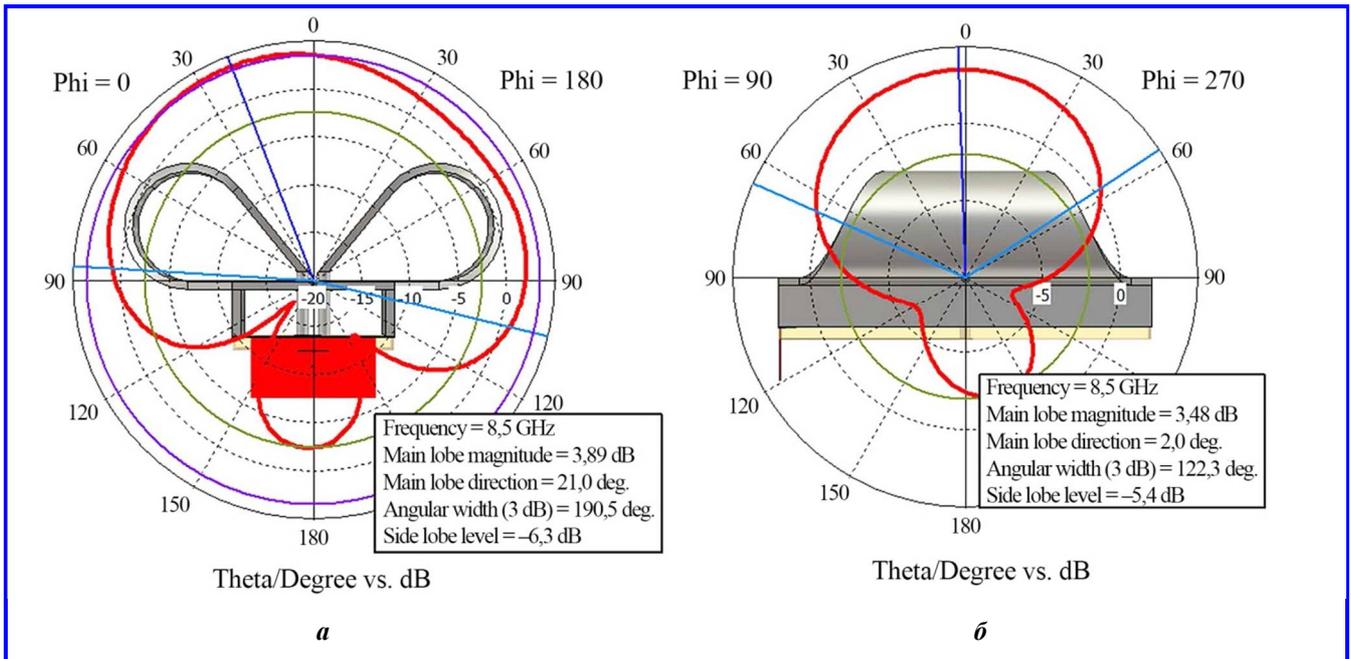


Рис. 8. Характеристики направленности антенны на частоте 8,5 ГГц: *a* – ДН, КУ, УБЛ в плоскости $\phi = 0^\circ$; *б* – ДН, КУ, УБЛ в плоскости $\phi = 90^\circ$

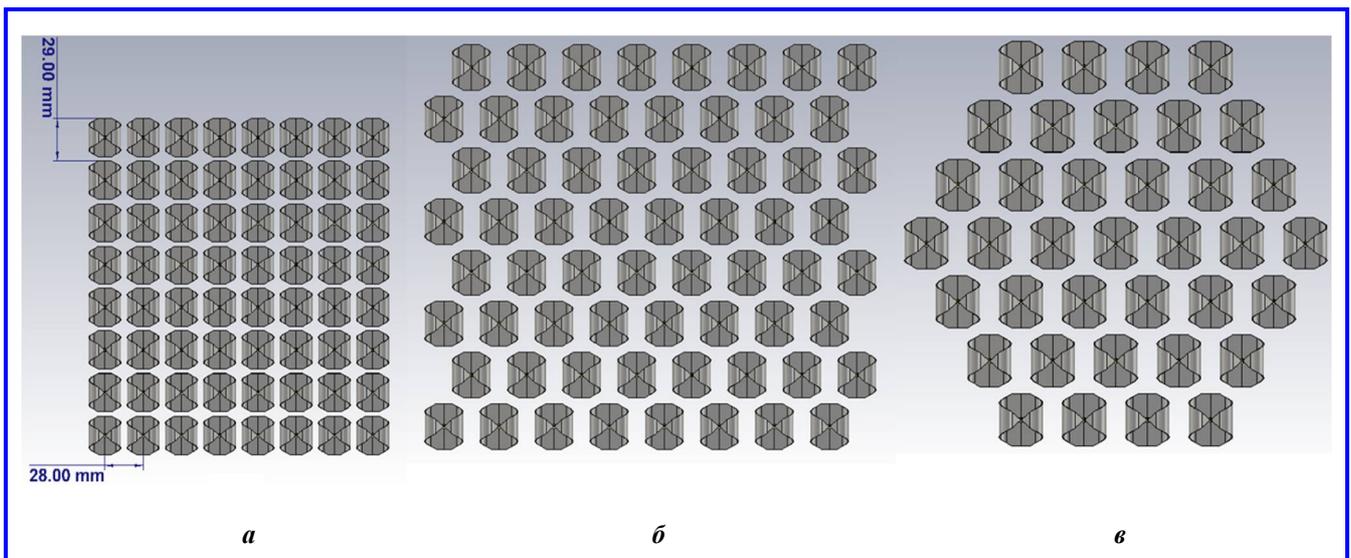


Рис. 9. Антенные решетки с различной структурой антенных полотен: *a* – прямоугольная сетка размещения элементов в прямоугольной АР; *б* – гексагональная сетка размещения элементов в прямоугольной АР; *в* – гексагональная АР

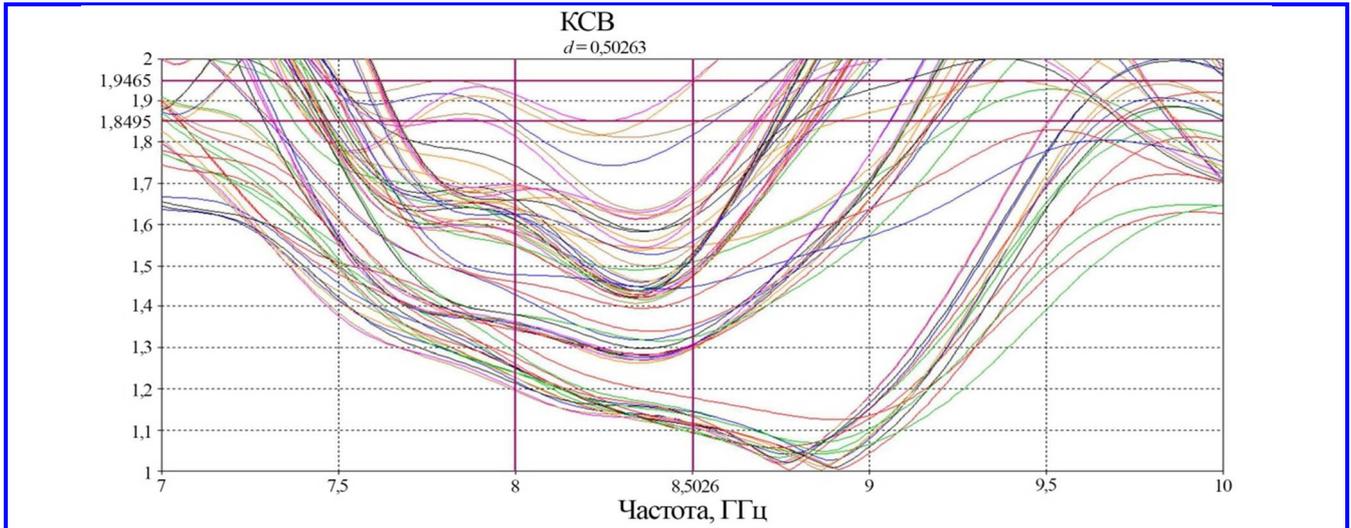


Рис. 10. График зависимости КСВ антенных элементов решетки от частоты

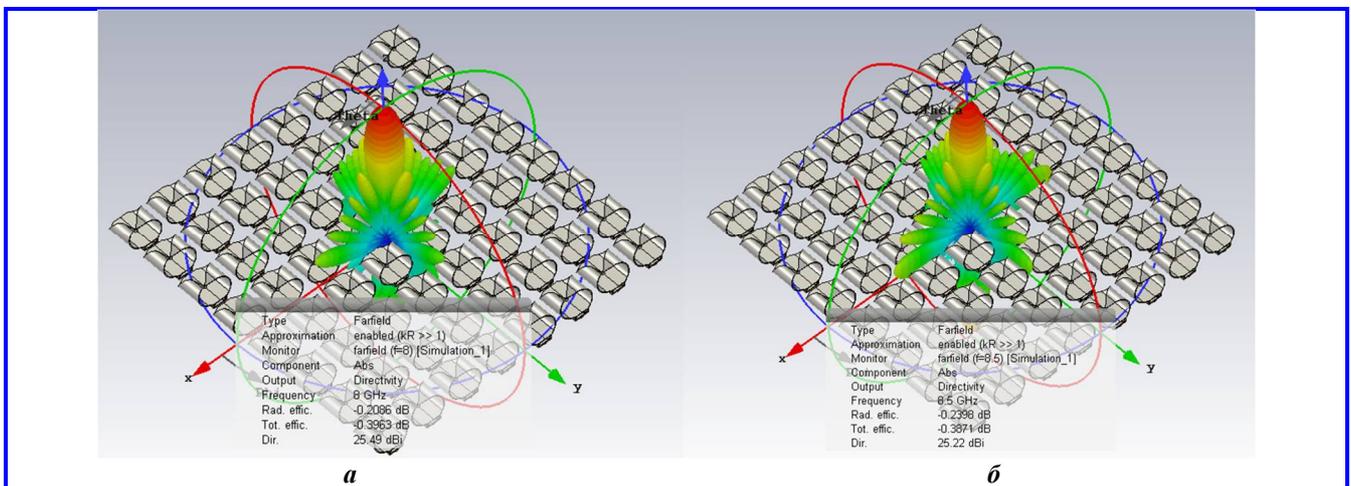


Рис. 11. Пространственная диаграмма направленности АР с прямоугольной сеткой размещения элементов: *а* – ДН АР на частоте 8 ГГц; *б* – ДН АР на частоте 8,5 ГГц

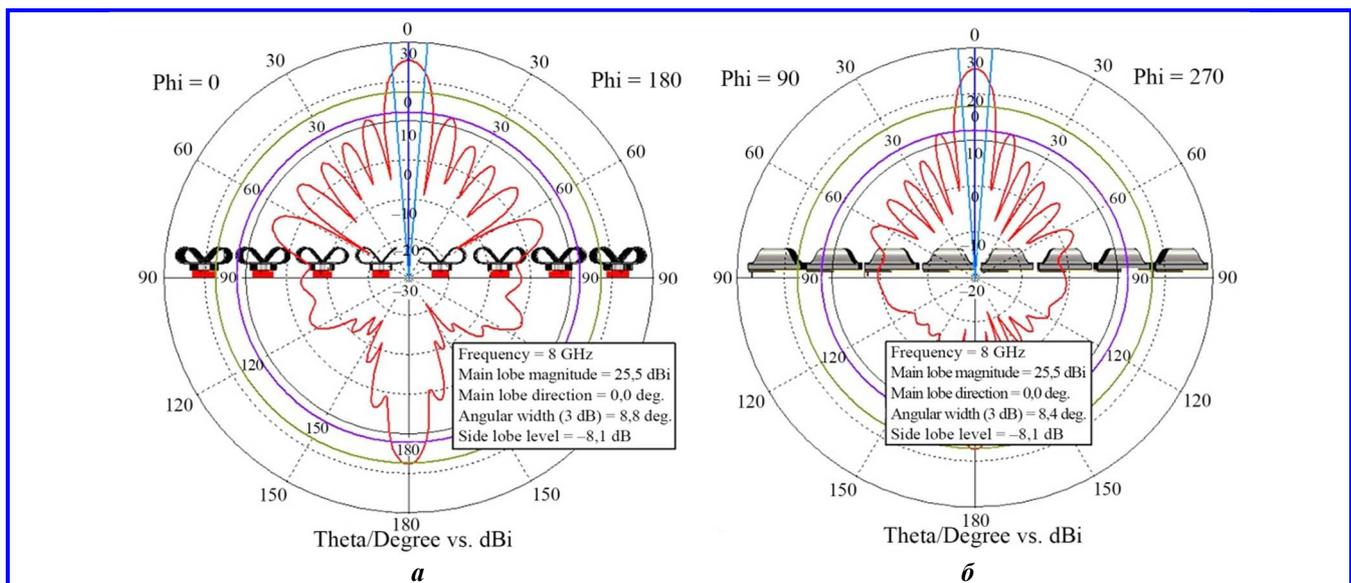


Рис. 12. Характеристики направленности АР на частоте 8 ГГц в полярной системе координат: *а* – ДН, КУ, УБЛ в плоскости $\phi = 0^\circ$; *б* – ДН, КУ, УБЛ в плоскости $\phi = 90^\circ$

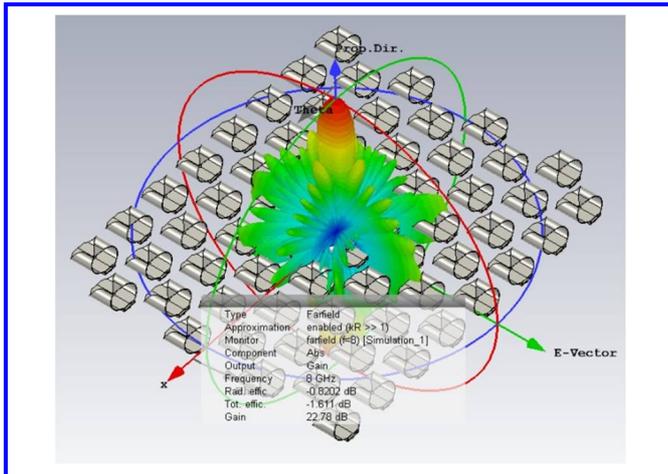


Рис. 13. Пространственная ДН антенной решетки с гексагональной структурой, рассчитанная на частоте 8 ГГц

Характеристики направленности АР на частоте 8 ГГц в полярной системе координат приведены на рис. 12.

Заключение

Таким образом, разработан широкополосный излучатель типа «бабочка», работающий в диапазоне частот от 6 до 19 ГГц. Определены характеристики направленности и частотные характеристики излучателя, разработаны модели для расчета парциальных диаграмм направленности элементов в составе АР с гексагональной и прямоугольной структурой.

Литература

- Щелкунов С. Антенны / С. Щелкунов, Г. Фриис. – Москва : Советское радио, 1955. – 604 с.
- Сверхширокополосные антенны / Пер. с англ. С. В. Попова, В. А. Журавлева; под ред. Л. С. Бененсона. – Москва : Мир, 1964. – 416 с.
- History and applications of UWB / M. Z. Win, D. Dardari, A. F. Molisch [et al.] // Proc. IEEE. – 2009. – Vol. 97. – № 2. – P. 198 – 204.
- Gazit E. Improved design of the Vivaldi antenna / E. Gazit // IEE Proc. – 1988. – Part H. – Vol. 135. – № 2. – P. 89 – 92.
- Balanced antipodal Vivaldi antennas for wide band phased arrays / J. D. S. Langley, P. S. Hall, P. Newham // IEE Proc. Antennas Propag. – 1996. – Vol. 143. – № 2. – P. 97 – 102.
- A modified Bow-Tie antenna for improved pulse radiation / A. A. Lestari, E. Bharata, A. B. Suksmono [et al.] // IEEE Trans. Antennas Propag. – 2010. – Vol. 58. – № 7. – P. 2184 – 2192.

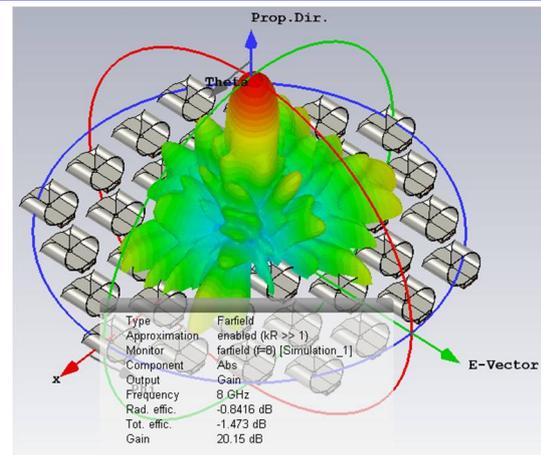


Рис. 14. Пространственная ДН гексагональной антенной решетки, рассчитанная на частоте 8 ГГц

- Методика приближенного расчета характеристик направленности широкополосной микрополосковой антенны сотовой связи / Д. И. Воскресенский, Е. В. Овчинникова, Буй Као Нинь [и др.] // Антенны. – 2015. – № 6. – С. 7 – 17.
- Трёхдиапазонные микрополосковые антенны сотовой связи / Д. И. Воскресенский, Е. В. Овчинникова, Буй Суан Кхоа [и др.] // Антенны. – 2015. – № 7. – С. 37 – 45.
- Modified slot bow-tie antenna for UWB applications / A. Mehdi-pour, K. M. Aghdam, R. F. Dana [et al.] // Microw. Optical Technol. Lett. – 2007. – Vol. 50. – P. 429 – 432.
- Хансен Р. С. Фазированные антенные решетки / Р. С. Хансен. – 2-е изд. – Москва : Техносфера, 2012. – 560 с.
- Устройства СВЧ и антенны. Проектирование фазированных антенных решеток : учебное пособие для вузов / Д. И. Воскресенский, В. И. Степаненко, В. С. Филиппов [и др.]; под ред. Д. И. Воскресенского. – 3-е изд., доп. и перераб. – Москва : Радиотехника, 2003. – 632 с. : ил.
- Тенденции развития широкополосных фазированных антенных решеток / Д. И. Воскресенский, Ю. В. Котов, Е. В. Овчинникова // Антенны. – 2005. – № 11 (102). – С. 7 – 21.
- Синтез кольцевых концентрических антенных решеток / Д. И. Воскресенский, Е. В. Овчинникова // Антенны. – 2003. – Вып. 03 – 04 (70 – 71). – С. 96 – 101.
- Характеристики сканирующих антенн сверхкоротких импульсов, основанные на спектральном анализе / Д. И. Воскресенский, Е. В. Овчинникова // Антенны. – 2000. – № 3 (46). – С. 17 – 26.
- Моноимпульсные характеристики фазированных антенных решеток с широкоугольным сканированием / Д. И. Воскресенский, Е. В. Овчинникова // Авионика 2002 – 2004 : (сб. ст.); под ред. А. И. Канащенкова. – Москва : Радиотехника, 2005. – 560 с.

Поступила в редакцию 30.09.2019

Елена Викторовна Овчинникова, доктор технических наук, профессор,
e-mail: oea8888@gmail.com, т. (915) 323-40-36.

Тимофей Юрьевич Шумилов, магистр, e-mail: shumilovty@gmail.com, т. (985) 146-42-04.

Е Хтут Кхаунг, магистр.
(Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)).

ULTRA-WIDEBAND BOW-TIE ANTENNA ARRAY

E. V. Ovchinnikova, T. Yu. Shumilov, E Htut Khaung

The article describes the developed model of an ultra-wideband bow-tie antenna array operating in the frequency range of 6 to 18 GHz. The optimization of parameters of antenna radiator structure was performed. The antenna array patterns and frequencies were defined. The model of antenna array was developed, and the partial radiator patterns, and the frequency response characteristics of antenna array components were defined.

Key words: ultra-wideband radiator, antenna array, broadband matching, bow-tie antenna, hexagonal antenna array.

References

1. Shchelkunov S. Antennas / S. Shchelkunov, G. Friis. – Moscow : Soviet radio, 1955. – 604 p.
2. Ultra-wideband antennas / Translated from English by S. V. Popov, V. A. Zhuravleva; edited by L. S. Beneson. – Moscow : Mir, 1964. – 416 p.
3. History and applications of UWB / M. Z. Win, D. Dardari, A. F. Molisch [et al.] // Proc. IEEE. – 2009. – Vol. 97. – N. 2. – P. 198 – 204.
4. Gazit E. Improved design of the Vivaldi antenna / E. Gazit // IEE Proc. – 1988. – Part H. – Vol. 135. – N. 2. – P. 89 – 92.
5. Balanced antipodal Vivaldi antennas for wide band phased arrays / J. D. S. Langley, P. S. Hall, P. Newham // IEE Proc. Antennas Propag. – 1996. – Vol. 143. – N. 2. – P. 97 – 102.
6. A modified Bow-Tie antenna for improved pulse radiation / A. A. Lestari, E. Bharata, A. B. Suksmono [et al.] // IEEE Trans. Antennas Propag. – 2010. – Vol. 58. – N. 7. – P. 2184 – 2192.
7. The method of approximate calculation of directional characteristics of a wideband microstrip antenna for cellular telecommunication / D. I. Voskresenskii, E. V. Ovchinnikova, Bui Cao Ninh [et al.] // Antennas. – 2015. – N. 6. – P. 7 – 17.
8. Three-band microstrip antennas for cellular telecommunication / D. I. Voskresenskii, E. V. Ovchinnikova, Bui Xuan Khoa [et al.] // Antennas. – 2015. – N. 7. – P. 37 – 45.
9. Modified slot bow-tie antenna for UWB applications / A. Mehdipour, K. M. Aghdam, R. F. Dana [et al.] // Microw. Optical Technol. Lett. – 2007. – Vol. 50. – P. 429 – 432.
10. Hansen R. C. Phased array antennas / R. C. Hansen. – second edition – Moscow : Technosphere, 2012. – 560 p.
11. SHF devices and antennas. Designing phased array antennas. Training manual for higher educational institutions / D. I. Voskresenskii, V. I. Stepanenko, V. S. Filippov [et al.]; edited by D. I. Voskresenskii. – third edition, enlarged and revised. – Moscow : Radiotekhnika, 2003. – 632 p.: ill.
12. Development trends of broadband phased antenna arrays / D. I. Voskresenskii, Yu. V. Kotov, E. V. Ovchinnikova // Antennas. – 2005. – N. 11 (102). – P. 7 – 21.
13. Synthesis of concentric circular antenna arrays / D. I. Voskresenskii, V. Ovchinnikova // Antennas. – 2003. – Issue 03 – 04 (70 – 71). – P. 96 – 101.
14. Properties of ultrashort pulse scanning arrays based on spectral analysis / D. I. Voskresenskii, . V. Ovchinnikova // Antennas. – 2000. – No. 3 (46). – P. 17 – 26.
15. Monopulse characteristics of wide-scan phased antenna array/ D. I. Voskresenskii, . V. Ovchinnikova // Avionika 2002 – 2004 : (collected works); edited by A. I. Kanashchenkov. – Moscow : Radiotekhnika, 2005. – 560 p.

*Elena Viktorovna Ovchinnikova, Doctor of Technical Sciences (D. Sc.), Professor,
e-mail: oea8888@gmail.com, tel.: +7 (915) 323-40-36.*

Timofei Yurievich Shumilov, Master, e-mail: shumilovty@gmail.com, tel.: +7 (985) 146-42-04.

*E Htut Khaung, Master.
(Moscow Aviation Institute (National research university)).*