

# Инфокоммуникационные технологии и системы

УДК 621.396

DOI: 10.14529/ctcr160205

## ИЗЛУЧАТЕЛЬ ФАР СИСТЕМЫ БЕСПРОВОДНОЙ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ

*В.Е. Драч, И.В. Чухраев, Р.О. Бут*

*Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, Калужский филиал, г. Калуга*

В настоящее время наблюдается непрерывный рост потребностей абонентов телекоммуникационных компаний в обмене ресурсоемким контентом (например, потоковым видео высокого качества), что обуславливает необходимость увеличения, в первую очередь, пропускной способности канала связи и наращивания скорости передачи данных. Системы мобильной связи 3-го и 4-го поколения (3G и 4G) практически исчерпали свои возможности по повышению скорости передачи данных. Решением данной проблемы является переход от традиционного сантиметрового диапазона радиоволн к миллиметровому. В связи с этим рассматривается вопрос разработки конструкции волноводно-щелевого излучателя на базе стандартного волновода миллиметрового диапазона WR-15 для построения фазированных антенных решеток (ФАР) оборудования беспроводной высокоскоростной передачи данных диапазона 60 ГГц. Электромагнитное моделирование резонансного и нерезонансного волноводно-щелевого излучателей проводилось в пакете HFSS от компании Ansys. Приводятся диаграммы направленности для рассмотренных типов излучателей, частотные зависимости коэффициента стоячей волны по напряжению и коэффициента усиления, а также определены рабочие полосы частот предлагаемых конструкций. Полученные результаты показывают, что на основе простых конструкций возможен синтез многофункциональных широкополосных антенных устройств.

*Ключевые слова: антенная решетка, волноводно-щелевой излучатель, волновод, диаграмма направленности, моделирование.*

### Введение

Современный этап развития телекоммуникационных систем сопровождается стремительным внедрением новейших технологий. При этом одним из основных, наиболее перспективных и востребованных направлений в данной области, является передача данных на высоких скоростях.

Применение в настоящее время систем мобильной связи 3-го и 4-го поколения (3G и 4G) обеспечило возможность высокоскоростной передачи данных с мобильных устройств практически в любой момент времени и в любом месте. Однако учитывая постоянный рост потребностей абонентов, телекоммуникационные компании непрерывно ведут исследования и разработки в целях повышения стабильности, надежности, а самое главное, скорости передачи данных. Принцип построения сетей 3G и 4G в этом плане скоро исчерпает свои возможности, и в ближайшем будущем индустрии сотовой связи неизбежно придется переходить на новый стандарт. Одним из факторов, препятствующих этому, является достаточно узкий частотный диапазон, выделяемый для коммерческих целей.

Решением данной проблемы является переход к миллиметровому диапазону длин волн, который в полной мере еще не задействован из-за относительно высокой стоимости необходимого для работы оборудования. Но с каждым днем появляются новые технологии, которые делают его более доступным. Очевидно, что работа на частотах миллиметрового диапазона дает возможность резкого увеличения скорости передачи данных при одновременном снижении массогабаритных показателей антенных устройств и соответственно всех несущих конструкций [1, 2].

В настоящее время известны новые решения по организации беспроводной передачи данных в диапазоне 60 ГГц. Примером могут служить стандарты Wireless Gigabit Alliance (WiGig) и WirelessHD, которые не предназначены для связи, а обеспечивают беспроводную передачу больших объемов данных со скоростью 7–28 Гбит/с [1].

### Постановка задачи

Анализ различных работ, посвященных разработке антенных устройств для оборудования передачи данных диапазона 60 ГГц, показал, что использование фазированных антенных решеток (ФАР) является перспективным направлением [3–6]. При этом, с одной стороны, такие ФАР должны быть широкополосными для обеспечения высокой скорости передачи данных, а с другой стороны должны обеспечивать высокую излучаемую мощность, что позволит в определенной степени компенсировать значительное атмосферное затухание, связанное в рассматриваемом диапазоне в первую очередь с поглощением энергии радиоволн молекулами кислорода [2].

При проектировании ФАР особое внимание уделяется выбору излучающих элементов, образующих ее излучающую систему. Эффективными излучающими элементами антенных решеток, удобными в эксплуатации за счет отсутствия выступающих частей по всей поверхности раскрытия, технологичными и обеспечивающими достаточно большую выходную мощность наряду с высоким коэффициентом усиления антенны являются волноводно-щелевые излучатели (ВЩИ) [7–9].

Конструктивно ВЩИ представляет собой отрезок, в частности, прямоугольного волновода, в котором прорезаются ряды щелей, являющихся единичными излучателями. ВЩИ разделяются на два типа: резонансные, у которых направление максимального излучения совпадает с нормалью к оси волновода, и нерезонансные, у которых направление максимального излучения отклонено от нормали. Резонансные ВЩИ, строящиеся на основе закороченного на конце волновода, в котором устанавливается режим, близкий к стоячей волне, могут быть хорошо согласованы с питающей линией в достаточно узкой полосе частот. У нерезонансных ВЩИ волновод должен заканчиваться согласованной нагрузкой, и в нем устанавливается режим смешанных волн, что обеспечивает более широкую полосу частот, в пределах которой имеет место хорошее согласование [9].

Целью данной работы является разработка конструкции ВЩИ для построения ФАР оборудования передачи данных диапазона 60 ГГц.

### Основная часть

При выборе рабочего диапазона частот ФАР будем ориентироваться на уже существующие, упомянутые выше стандарты (WiGig и WirelessHD) и примем его равным 50–65 ГГц.

Так как наилучшее согласование с питающей линией обеспечивает резонансный тип ВЩИ, рассмотрим возможность применения такой конструкции в рабочем диапазоне частот ФАР. За основу возьмем стандартный волновод WR-15, предназначенный для работы в частотном диапазоне 50–75 ГГц. Запитку в таком случае удобно сделать в виде щели в стенке, противоположной рабочей стенке волновода.

Расчет щелевых излучателей производился по стандартной методике [9]. Полученные геометрические параметры ВЩИ сведены в табл. 1.

Таблица 1

Геометрические параметры ВЩИ

Ширина излучающей щели, мм	0,8
Длина излучающей щели, мм	2,3
Расстояние между центральной осью волновода и щелями, мм	1,2
Ширина питающей щели, мм	0,7
Длина питающей щели, мм	2,3
Расстояние между щелями в центре излучателя, мм	3,8

Электромагнитное моделирование ВЩИ выполнялось в пакете HFSS от компании Ansys. Модель резонансного ВЩИ представлена на рис. 1.

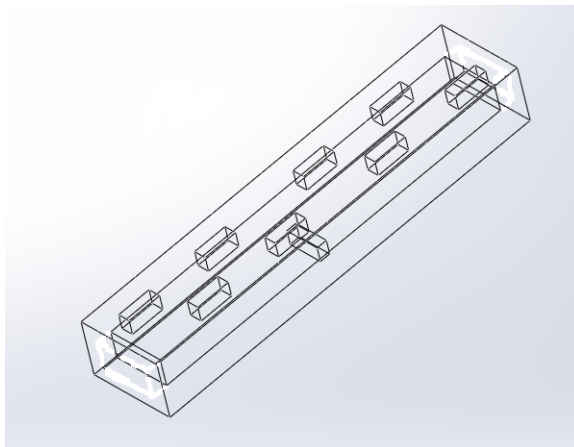


Рис. 1. Модель резонансного ВЦИ

На рис. 2 и 3 представлены результаты моделирования.

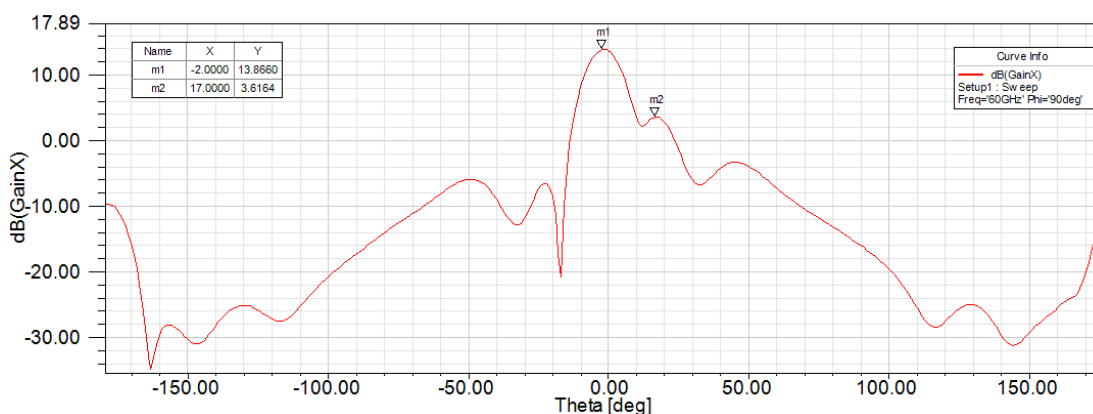


Рис. 2. Диаграмма направленности резонансного ВЦИ на частоте 63 ГГц в H-плоскости

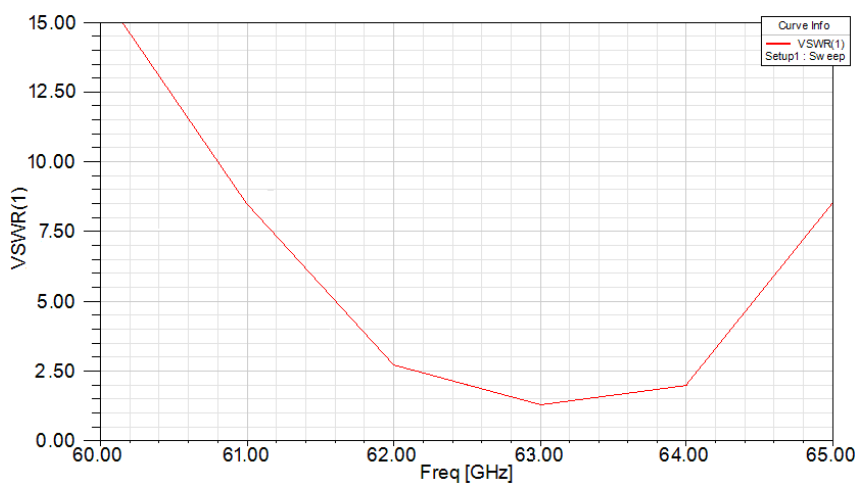


Рис. 3. Зависимость КСВН резонансного ВЦИ от частоты

Как видно из рисунков, в главном максимуме диаграммы направленности (ДН) коэффициент усиления достигает значения около 13,9 дБ а уровень боковых лепестков (УБЛ) составил  $-10,3$  дБ (см. рис. 2). Приемлемое значение коэффициента стоячей волны по напряжению (КСВН) наблюдается в диапазоне частот 62,5–64 ГГц (см. рис. 3), что обуславливает ширину рабочей полосы частот, равную 1,5 ГГц или 2,37 %.

## Инфокоммуникационные технологии и системы

Согласно определению Федеральной комиссии по связи (FCC) США, сверхширокополосной считается любая полоса частот, превышающая 500 МГц [1], что позволяет отнести рассмотренную конструкцию резонансного ВЦИ к сверхширокополосной. Дальнейшее расширение рабочей полосы частот ФАР возможно применением в качестве ее излучающих элементов нерезонансных ВЦИ. Модель разработанной конструкции нерезонансного ВЦИ представлена на рис. 4. За основу, так же как и в предыдущей конструкции, взят стандартный волновод WR-15, а геометрические параметры ВЦИ соответствуют приведенным в табл. 1. Оба конца модели излучателя открыты и на них установлены согласованные порты.

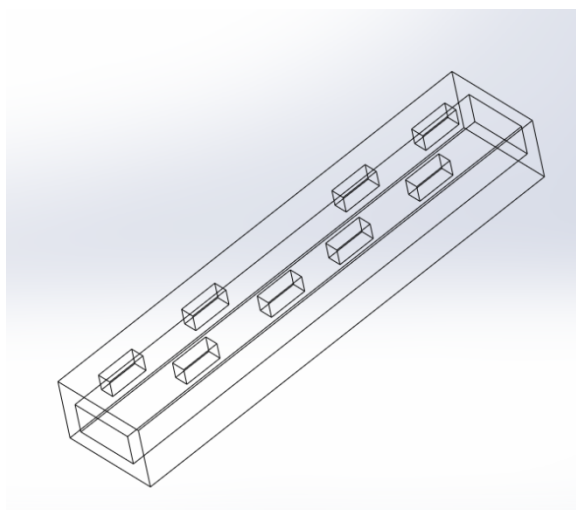


Рис. 4. Модель нерезонансного ВЦИ

Полученные результаты моделирования показывают, что разработанный нерезонансный ВЦИ может устойчиво работать в диапазоне частот 50–61 ГГц (рис. 5). Это обеспечивает ширину рабочей полосы частот, равную 11 ГГц или 19,82 %.

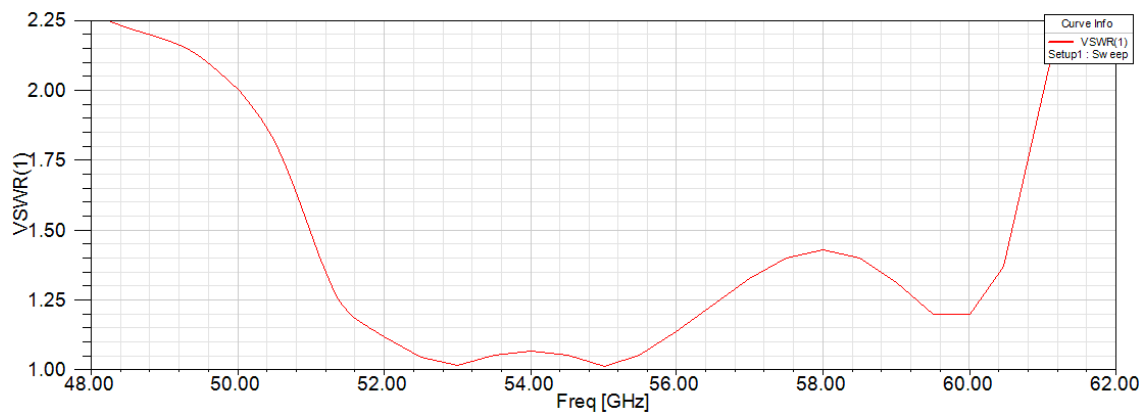


Рис. 5. Зависимость КСВН нерезонансного ВЦИ от частоты

Результаты моделирования ДН в рабочей полосе частот с шагом 1 ГГц сведены в табл. 2. Как видно из табл. 2, коэффициент усиления рассматриваемого излучателя во всем своем рабочем диапазоне практически повторяет коэффициент усиления резонансного ВЦИ и стабильно возрастает с увеличением частоты (рис. 6). Средний УБЛ составляет  $-8$  дБ, что немного хуже, чем у резонансного ВЦИ, однако такое их увеличение можно считать незначительным, поскольку этот параметр не является критичным для телекоммуникационной антенны. Угол раскрыва ДН по уровню  $-3$  дБ во всей рабочей полосе частот также стабилен и немного сужается с увеличением рабочей частоты.

Таблица 2

Результаты моделирования ДН нерезонансного ВЦИ

Рабочая частота, ГГц	Максимальный коэффициент усиления, дБ	Уровень боковых лепестков, дБ	Ширина раскрытия диаграммы направленности по уровню -3 дБ, град.
50	13,2	-8,7	11
51	13,4	-8,5	10,7
52	13,7	-8,2	10,4
53	14,0	-8,3	9,5
54	14,2	-8,5	10
55	14,5	-8,4	10
56	14,7	-8,2	10
57	14,9	-8,1	10
58	14,9	-7,7	10
59	15,0	-7,5	9,6
60	15,1	7,5	9
61	15,1	-7,4	9

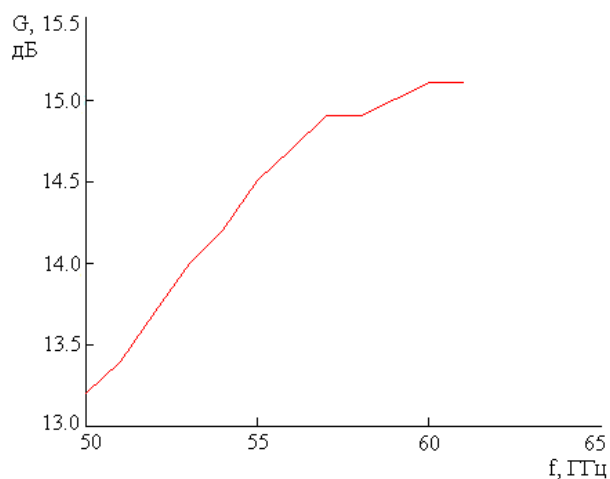


Рис. 6. Зависимости максимального коэффициента усиления ( $G$ ) нерезонансного ВЦИ от частоты ( $f$ )

Нормированные ДН для крайних частот рабочего диапазона представлены на рис. 7 и 8.

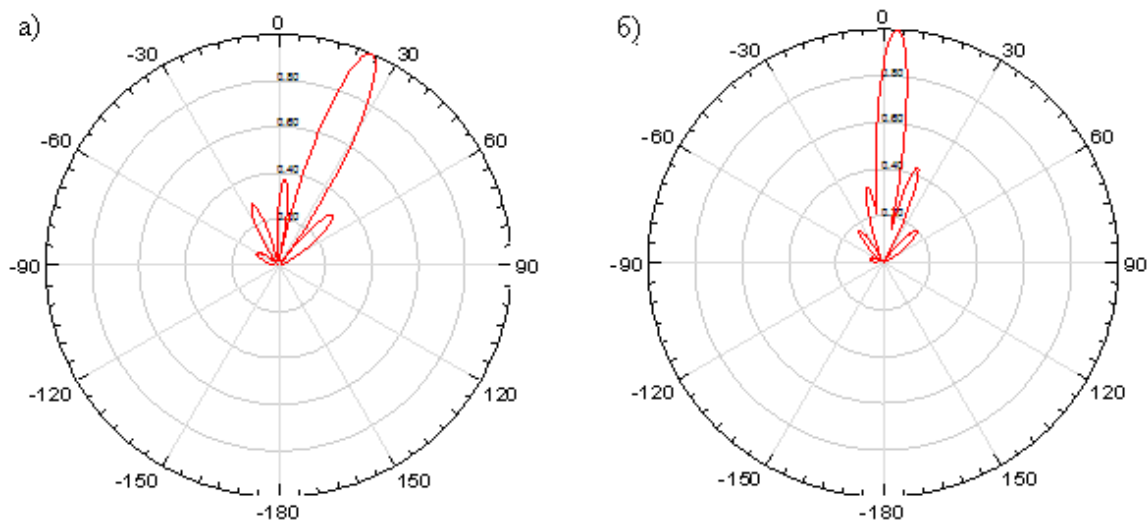


Рис. 7. Диаграммы направленности нерезонансного ВЦИ в Н-плоскости:  
а – на частоте 50 ГГц; б – на частоте 61 ГГц

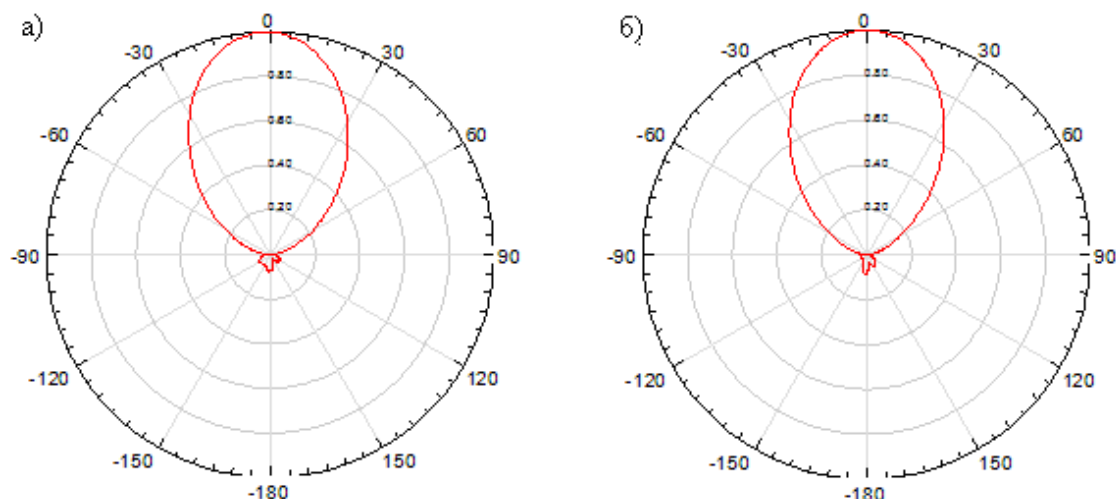


Рис. 8. Диаграммы направленности нерезонансного ВЦИ в Е-плоскости:  
а – на частоте 50 ГГц; б – на частоте 61 ГГц

Как видно из рис. 7, 8, ДН хорошо выдерживают свою форму в крайних точках рабочей полосы частот. Поведение положения максимума ДН в Н-плоскости при изменении частоты совпадает с классическим дисперсионным – за счет длины фидера между соседними излучателями.

### Заключение

Разработанная конструкция широкополосного ВЦИ, работающего в миллиметровом диапазоне длин волн на частотах 50–61 ГГц, демонстрирует широкие технические возможности по использованию данного перспективного диапазона частот. Показано, что на основе простых конструкций возможен синтез многофункциональных широкополосных антенных устройств.

### Литература

1. Вишнеvский, В. Миллиметровый диапазон как промышленная реальность. Стандарт IEEE 802.15.3c и спецификация WirelessHD / В. Вишнеvский, С. Фролов, И. Шахнович // *Электроника: НТБ*. – 2010. – № 3. – С. 70–79.
2. Вишнеvский, В. Радиорелейные линии связи в миллиметровом диапазоне: новые горизонты скоростей / В. Вишнеvский, С. Фролов, И. Шахнович // *Электроника: НТБ*. – 2011. – № 1 (107). – С. 90–97.
3. Ashraf, N. Substrate integrated waveguide antennas array for 60 GHz wireless communication systems / N. Ashraf, H. Vettikalladi, M.A.S. Alkanhal // *Proceedings of the IEEE International RF and Microwave Conference (RFM '13), December 2013*. – P. 56–61. DOI: 10.1109/rfm.2013.6757217
4. Wu, X.Y. Antenna design and channel measurements for on-body communications at 60 GHz / X.Y. Wu, Y. Nechayev, P.S. Hall // *Proceedings of the 30th URSI General Assembly and Scientific Symposium, Istanbul, Turkey, August 2011*. – P. 1–4. DOI: 10.1109/URSIGASS.2011.6123717
5. Vettikalladi, H. High-efficient and high-gain superstrate antenna for 60 GHz indoor communication / H. Vettikalladi, O. Lafond, M. Himdi // *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*. – 2009. – Vol. 8. – P. 1422–1425. DOI: 10.1109/LAWP.2010.2040570
6. Драч, В.Е. Разработка антенных систем для высокоскоростного обмена данными / В.Е. Драч, И.В. Чухраев, Р.О. Бут // *Инновационная наука*. – 2015. – № 8–2 (8). – С. 27–31.
7. Моделирование волноводно-щелевого излучателя с асимметричным амплитудным распределением / В.Е. Драч, А.А. Ларин, А.В. Родионов, И.В. Чухраев // *Электромагнитные волны и электронные системы*. – 2014. – Т. 19, № 10. – С. 45–49.
8. Драч, В.Е. Волноводно-щелевой излучатель с несимметричным амплитудным распределением / В.Е. Драч, А.А. Ларин, И.В. Чухраев // *Радиопромышленность*. – 2014. – № 4 (4). – С. 137–150.
9. Устройства СВЧ и антенны. Проектирование фазированных антенных решеток / под ред. Д.И. Воскресенского. – М.: Радиотехника, 2012. – 744 с.

**Драч Владимир Евгеньевич**, канд. техн. наук, доцент кафедры конструирования и производства электронной аппаратуры, Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, Калужский филиал, г. Калуга; drach@kaluga.org.

**Чухраев Игорь Владимирович**, канд. техн. наук, доцент, заведующий кафедрой компьютерных систем и сетей, Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, Калужский филиал, г. Калуга; igor.chukhraev@mail.ru.

**Бут Роман Олегович**, студент кафедры конструирования и производства электронной аппаратуры, Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, Калужский филиал, г. Калуга; madara\_40\_rus@mail.ru.

Поступила в редакцию 21 января 2016 г.

DOI: 10.14529/ctcr160205

## PHASED ARRAY IRRADIATOR FOR A NEW GENERATION OF WIRELESS DATA TRANSMISSION SYSTEM

V.E. Drach, drach@kaluga.org,

I.V. Chukhraev, igor.chukhraev@mail.ru,

R.O. But, madara\_40\_rus@mail.ru

Bauman Moscow State Technical University, Kaluga Branch, Kaluga, Russian Federation

Nowadays, a necessity to increase, in the first place, the communication channel capacity and data rate is caused by a continuous increase in the needs of the users of the telecommunications companies in the resource-intensive exchange of content (e.g. streaming high quality video), what is frequently reported. Mobile communication systems of 3<sup>rd</sup> and 4<sup>th</sup> generation (3G and 4G) are practically depleted in terms of rise of data transmission speed. To find the solution, it is necessary to make a jump from traditional centimeter radio waves range to the millimeter range. In this regard, the construction development of waveguide-slot radiators for building the phased array of equipment of 60 GHz wireless transmission is being discussed. Waveguide-slot radiator is based on the standard WR-15 waveguide of millimeter range. The Ansys HFSS software was used for electromagnetic modeling of resonant and nonresonant waveguide-slot radiators. The radiation patterns of noted radiator types, the frequency dependencies of the standing wave ratio and the gain frequency dependencies are shown. The frequency passband of proposed designs was determined. The acquired results show that synthesis of multi-functional wideband antenna devices is possible by simple constructions usage.

*Keywords: antenna array, waveguide-slotted radiator, waveguide, radiation pattern, modeling.*

### References

1. Vishnevskiy V., Frolof S., Shakhnovich I. [Millimeter Range as Industrial Reality. IEEE 802.15.3c Standard and WirelessHD Specification]. *Electronics: STL*, 2010, no. 3, pp. 70–79. (in Russ.)
2. Vishnevskiy V., Frolof S., Shakhnovich I. [Radio-Relay Communication Lines in the Millimeter Range, New Horizons of Speeds]. *Electronics: STL*, 2011, no. 1 (107), pp. 90–97. (in Russ.)
3. Ashraf N., Vettikalladi H., and Alkanhal M. A. S. Substrate Integrated Waveguide Antennas Array for 60 GHz Wireless Communication Systems. *Proceedings of the IEEE International RF and Microwave Conference (RFM '13)*, December 2013, pp. 56–61. DOI: 10.1109/rfm.2013.6757217
4. Wu X.Y., Nechayev Y., Hall P.S. Antenna Design and Channel Measurements for On-Body Communications at 60 GHz. *Proceedings of the 30<sup>th</sup> URSI General Assembly and Scientific Symposium*, Istanbul, Turkey, August 2011, pp. 1–4. DOI: 10.1109/URSIGASS.2011.6123717
5. Vettikalladi H., Lafond O., and Himdi M. High-Efficient and High-Gain Superstrate Antenna for

60 GHz Indoor Communication. *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, 2009, vol. 8, pp. 1422–1425. DOI: 10.1109/LAWP.2010.2040570

6. Drach V.E., Chukhraev I.V., But R.O. [Development of Antenna Systems for High-Speed Data Exchange]. *Innovative Science*, 2015, no. 8–2 (8), pp. 27–31. (in Russ.)

7. Drach V.E., Larin A.A., Rodionov A.V., Chukhraev I.V. [Modelling of the Asymmetric Amplitude Distribution Waveguide-Slotted Radiator]. *Electromagnetic Waves and Electronic Systems*, 2014, vol. 19, no. 10, pp. 45–49. (in Russ.)

8. Drach V.E., Larin A.A., Chukhraev I.V. [Waveguide-Slotted Radiator with Asymmetric Amplitude Distribution]. *Radioindustry*, 2014, no. 4 (4), pp. 137–150. (in Russ.)

9. *Ustroystva SVCH I antenny. Proektirovanie fazirovannykh antennykh reshetok* [RF Devices and Antennas. Development of Phased Antenna Arrays]. Moscow, Radiotechnics Publ., 2012. 744 p.

*Received 21 January 2016*

---

### ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Драч, В.Е. Излучатель ФАР системы беспроводной передачи данных нового поколения / В.Е. Драч, И.В. Чухраев, Р.О. Бут // Вестник ЮУрГУ. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». – 2016. – Т. 16, № 2. – С. 55–62. DOI: 10.14529/ctcr160205

### FOR CITATION

Drach V.E., Chukhraev I.V., But R.O. Phased Array Irradiator for a New Generation of Wireless Data Transmission System. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Computer Technologies, Automatic Control, Radio Electronics*, 2016, vol. 16, no. 2, pp. 55–62. (in Russ.) DOI: 10.14529/ctcr160205