

МОДЕЛИРОВАНИЕ ИЗЛУЧАТЕЛЯ И АНТЕННОЙ РЕШЕТКИ ДЛЯ СИСТЕМ V2V

Д. Р. ТАЛИПОВА¹, Е. П. ГРАХОВА²

¹ talipova-daria@mail.ru, ² grakhova.ep@ugatu.su

ФГБОУ ВО «Уфимский университет науки и технологий» (УУНИТ)

Аннотация. В данной статье представлена модель нового микрополоскового излучателя для приложений «vehicle-to-vehicle» (V2V). Габаритные размеры составляют 52,5x52,4 мм. Подложка излучателя выполнена из стеклотекстолита российского производства ФАФ-4Д толщиной 1,5 мм и диэлектрической проницаемостью $\epsilon=2,7$. Излучающий элемент антенны состоит из четырехугольника. Такая конструкция обеспечивает хорошее согласование в полосе частот 5,725–5,875 ГГц, выделенной для телематических устройств на транспорте. Предлагаемая антенна удовлетворяет требованию коэффициента отражения –10 дБ (S11) на центральной частоте 5,81 ГГц. Максимальное усиление антенны составило 13,36 дБи.

Ключевые слова: V2V, V2X, V2I, ITS, микрополосковая технология, фазированная антенная решетка, коэффициент стоячей волны по напряжению, диаграмма направленности, угол сканирования, излучатель.

ВВЕДЕНИЕ

С быстрым развитием автотранспорта также возрастает и количество дорожных происшествий. Только за 10 месяцев 2022 г. в России произошло 103,9 тыс. аварий, в которых погибло 11,5 тыс. человек, ранено 130,6 тыс. человек. Количество ДТП и пострадавших стало меньше на 5,5% и 5,1%, если сравнивать с тем же периодом 2021 г. [1]. Работа по снижению аварийности ведется: устанавливают новые светофоры, освещение и дорожные камеры, ужесточают наказание за езду в нетрезвом виде, увеличивают штрафы за превышение скорости. В том числе это связано с быстрым развитием технологий, к примеру, беспилотные автомобили, позволяющие сделать дорожную обстановку намного безопасней.

Благодаря беспилотному транспорту значительно снижается количество ДТП, происходит разгрузка дорог, что приводит к уменьшению пробок, в дополнение, беспилотные авто позволяют самостоятельно передвигаться людям, у которых есть проблемы со зрением или опорно-двигательной системой. Однако гораздо более комплексным решением являются интеллектуальные транспортные системы (ИТС), которые разрешают объединить все объекты дорожного движения в единую систему для обмена информацией и данными. В данный момент в мире идет активная разработка ИТС нового поколения. Функции ИТС включают, но не ограничиваются алгоритмами для контроля трафика, бесконтактной оплаты парковки, предупреждения об аварии или дорожных работах, оповещения о смене сигнала светофора и так далее. Следующим этапом будет интеграция в ИТС беспилотных автомобилей.

Одним из наиболее продвинутых семейств технологий для взаимодействия всех участников дорожного движения и интеллектуальной дорожной инфраструктуры является V2X (*vehicle-to-everything*) – «автомобиль-подключенный-ко-всему». В частности, одним из сценариев является V2I (*vehicle-to-infrastructure*) – «дорожная инфраструктура – транспортное средство», с помощью которого транспортные средства внутри зоны обслуживания интеллектуального трансивера, установленного на объекте инфраструктуры, могут получать информацию о дорожной обстановке, погодных условиях и т.д.

Другой ключевой технологией является V2V (*vehicle-to-vehicle*) – «транспортное средство – транспортное средство». V2V играет критически важную роль на протяженных сегментах трассы особенно вне городской застройки, где количество объектов дорожной инфраструктуры снижается, а также местами может отсутствовать подключения к сетям мобильной связи и сетям широкополосного доступа. Прямое подключение транспортных средств друг к другу обеспечивает безопасное передвижение на сложных участках дорог, например, на перекрестках с плохой видимостью. Транспортные средства, находящиеся не в поле зрения друг друга, могут обмениваться друг с другом своими локационными данными и значениями скоростей, благодаря чему предотвратят столкновение. Аналогично, автомобиль приближающийся к концу пробки может получить информацию о скорости ближайших авто и их местонахождении, чтобы водитель мог понять стоит ему ехать по данному маршруту или лучше его поменять.

Очевидно, что для реализации технологии V2V необходим высоконадежный и эффективный канал связи. Поэтому важную роль при развертывании данных систем играют антенно-фидерные устройства, располагаемые на транспортных средствах. Расположение антенной системы в автомобиле должно обеспечивать максимальный круговой охват, для регистрации сигналов как попутных, обгоняющих, так и встречных транспортных средств. Для своевременного обнаружения приближающегося автомобиля в передней и задней частях машины обычно устанавливают несколько излучателей, с разным углом поворота, что позволяет увеличить длину волны луча. Чтобы предупредить водителя об обгоняемом транспорте достаточно поставить пару антенн по краям машины. Передние и задние антенные системы будут охватывать, к примеру, 113°, а боковые – 67. В итоге все антенны в сумме откроют угол обзора в 360°. При этом габариты составляют чуть более 50 мм.

Так, известна гексагональная антенна-бабочка с увеличенной полосой пропускания. Эта антенна охватывает диапазоны сетей пятого поколения (5G) (3,15-3,95 ГГц) и диапазон *Wi-Fi* – 2,4 ГГц. Полоса пропускания антенны увеличивается за счет частичного заземления [2].

Чтобы повысить эффективность использования спектра один канал может быть повторно использован во всех каналах связи V2V, так как он может быть легко заблокирован окружающими препятствиями. Именно поэтому важно также рассматривать взаимосвязь между скоростью передачи данных и скоростью транспортного средства. Доказано, что максимальная поддерживаемая скорость связи V2V на частоте 60 ГГц с полосой пропускания 2,16 ГГц составляет около 80 км/ч [3]. Чтобы гарантировать, что практическая пропускная способность V2V постоянно превышает требуемую скорость передачи данных, нужно создать такую антенну, которая будет подавлять сильные помехи.

Для того чтобы антенна на машине могла своевременно принять волну впередиидущей машины или подъезжающей сзади, и система успела обработать данные, дальность волны должна составлять около 800 метров. Чтобы обнаружить обгоняющий транспорт достаточно волны длиной 1-1,75 метров. Поэтому целесообразно предложить две антенны с большой дальностью и две с дальностью поменьше.

По решению Государственной комиссии по радиочастотам на территории Российской Федерации разрешено использовать частоты 5,725-5,875 ГГц для телематических устройств на транспорте [4].

Так, существует вариант антенны с несколькими входами и несколькими выходами (MIMO), которая охватывает диапазон 2,4 ГГц и 3,2-15 ГГц [5]. Коэффициент корреляции огибающей составляет менее 0,15, коэффициент усиления – 9,85 дБ, коэффициент активного отражения менее – 10дБ и потеря пропускной способности канала менее 0,2 бит/с/Гц. Помимо этого, предложена антенная система с переключаемым лучом для связи V2V, включающая определение оптимальной ширины луча половинной мощности антенны в условиях городских дорог, для этого выбран метод оптимизации *SQP* (*Sequential quadratic programming*) [6].

МОДЕЛИРОВАНИЕ ИЗЛУЧАТЕЛЯ И АНТЕННОЙ РЕШЕТКИ ДЛЯ СИСТЕМ V2V

В ходе подготовки к моделированию был проведен анализ стеклотекстолитов российских образцов, схожих по характеристикам с стеклотекстолитом *Rogers 4350B*, который ранее всегда использовался в аналогичных работах. Было принято решение использовать в качестве подложки излучателя ФАФ-4Д с диэлектрической проницаемостью $\epsilon = 2,7$. Преимуществами использования данного стеклотекстолита являются:

- хорошие диэлектрические свойства;
- невысокая цена;
- высокая устойчивость к воздействию неблагоприятных климатических условий;
- высокая механическая прочность;
- хорошая гигроскопичность.

Имитационное моделирование поведения излучателя было проведено в программной среде *CST Studio Suite*. В качестве построения была использована микрополосковая технология, так как она имеет множество достоинств. Во-первых, она позволяет реализовать низкопрофильные малогабаритные антенны, во-вторых, данная технология подходит для СВЧ диапазона. Для создания антенны была применена плоская металлизированная подложка с излучателем на верхней плоскости и экраном на нижней. Излучатель выполнен в виде четырехугольной металлической пластины, его накоротко замкнули на экран. Толщина медного слоя металлизации составляла 35 мкм. Питание излучателя осуществляется с помощью микрополоскового фидера длиной 13,34 мм и шириной 4,46 мм. Плоскость заземления располагается на обратной стороне подложки и совпадает с ней по площади. Внешний вид и размеры излучателя приведены на рис. 1 и 2.

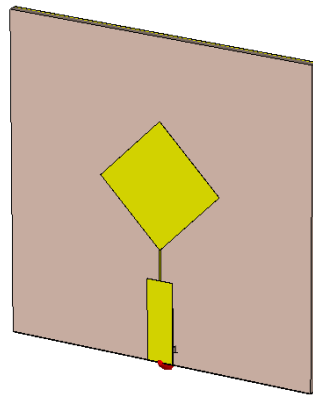


Рис. 1. Имитационная модель микрополоскового излучателя на подложке ФАФ-4Д, изометрия.

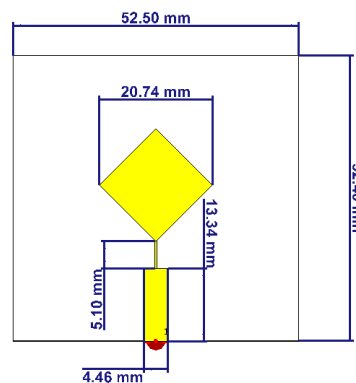


Рис. 2. Имитационная модель микрополоскового излучателя.

За основу был взят излучатель в форме половины восьмиугольника. В качестве целевой функции было выбрано значение коэффициента S_{11} в полосе частот 5,725–5,875 ГГц на уровне ниже минус 10 дБ. Переменными оптимизации выступали параметры, приведенные в табл. 1.

Таблица 1

| Параметры оптимизации | Описание | Итоговое значение |
|-----------------------|----------------------|-------------------|
| fl | Длина фидера | 13,34 мм |
| h | Толщина подложки | 1,5 мм |
| t | Толщина металлизации | 35 мкм |
| w | Ширина фидера | 4,46 мм |
| sw | Ширина подложки | 52,40 мм |
| sl | Длина подложки | 52,50 мм |
| k_1 | Коэф. ширины антенны | 1,1 |
| k_2 | Коэф. длины антенны | 0,5 |
| la | Длина волны | 32,6 мм |

Согласно полученным результатам, рабочая полоса излучателя составила 170 МГц (5,72–5,89 ГГц) с резонансом на частоте 5,81 ГГц (рис. 3).

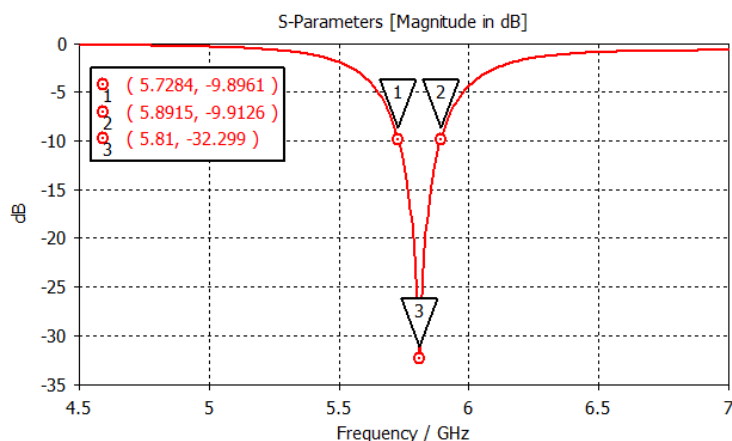


Рис. 3. Обратные потери излучателя.

Коэффициент стоячей волны по напряжению (КСВН) представлен на рис.4 и изменяется в диапазоне 5.72–5.89 ГГц в пределах рабочей полосы антенны.

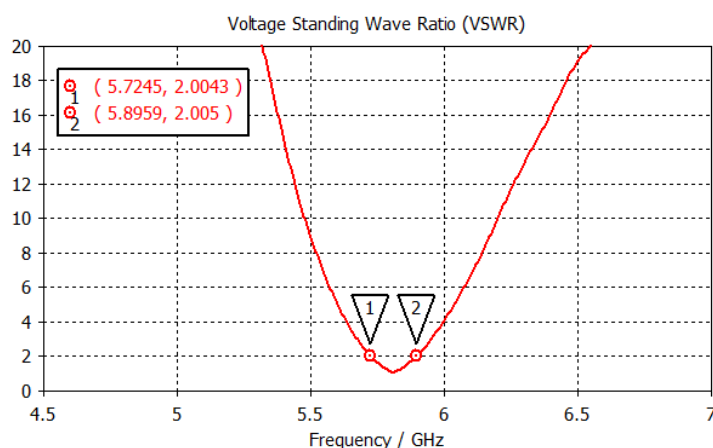


Рис. 4. КСВН излучателя

ДН излучателя в горизонтальной плоскости имеет ширину главного максимума $86,5^\circ$ с усилением 3,1 дБи (рис. 5).

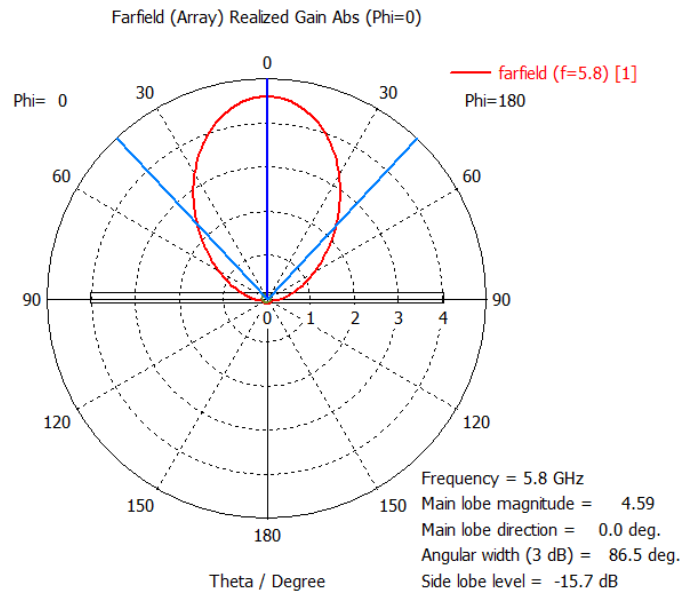


Рис. 5. ДН излучателя на частоте 5,8 ГГц, в горизонтальной плоскости.

На рис. 6 представлена 3D-модель диаграммы направленности ФАР. Коэффициент усиления ФАР составляет 6,61 дБи.

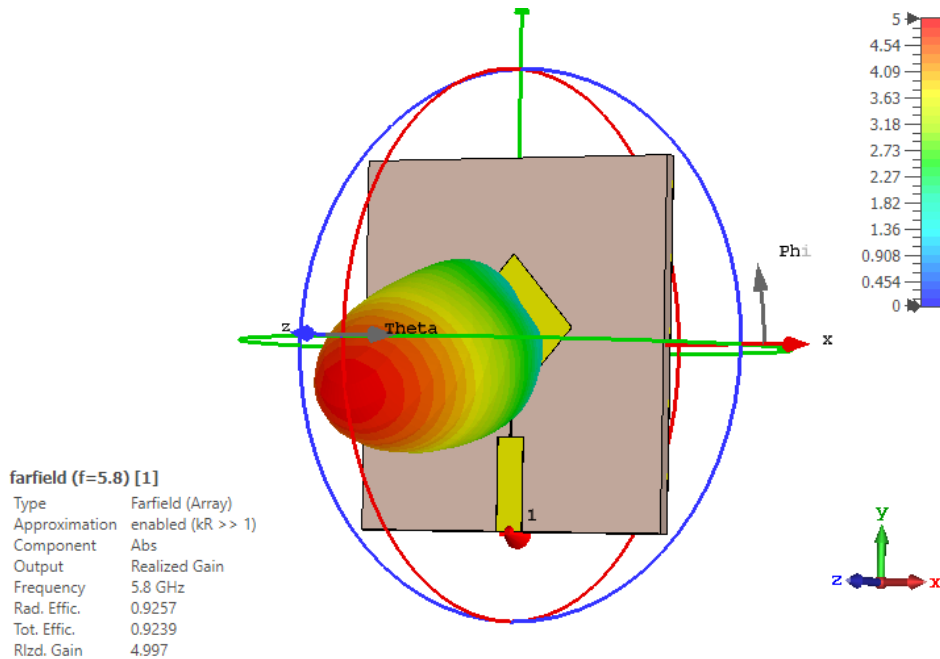


Рис. 6. Диаграмма направленности 1 излучателя, 3D-модель.

На основе разработанного излучателя была составлена линейная фазированная антенная решётка (ФАР) для сектора сканирования 80° . Антенная решётка состоит из 4-х элементов. Габариты ФАР составляют 83,41 мм, что позволяет ее установить на автомобиль так, чтобы она вписалась в общую фурнитуру транспортного средства.

На рис.7 показана ДН ФАР из 4 элементов. ДН излучателя имеет ширину главного максимума $23,3^\circ$ с усилением 11,67 дБи.

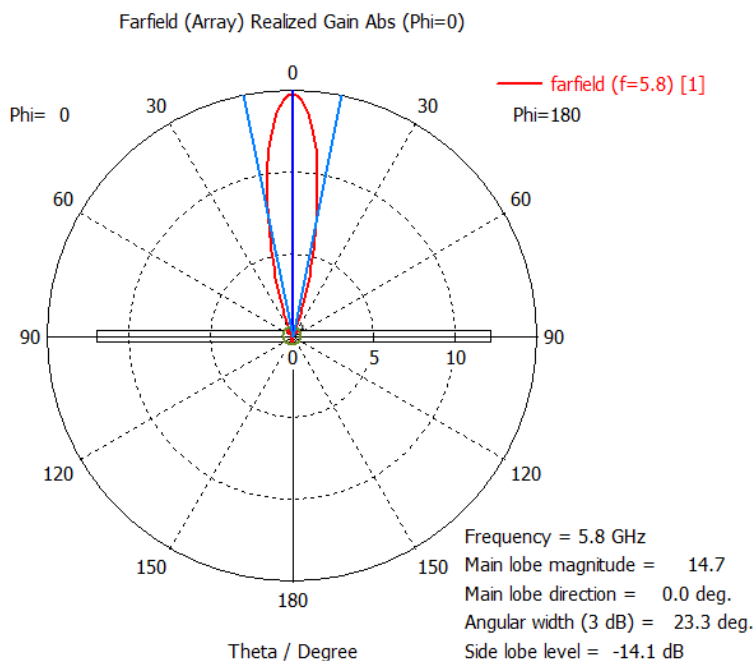
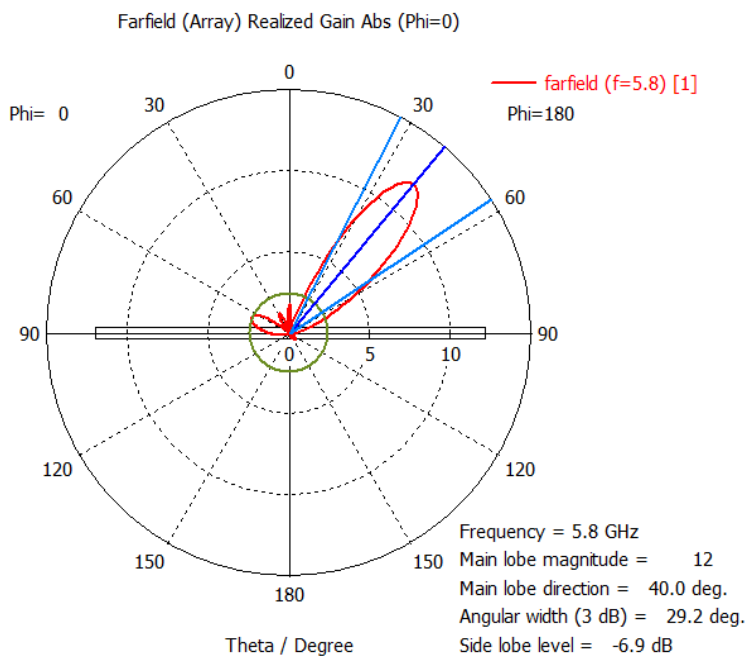


Рис. 7. ДН ФАР из 4-х элементов.

На рис. 8 представлена решетка 4-го элемента, с разницей фаз в 140° , ее усиление равно 6,9 дБи. Угол сканирования всех 4-х элементов составил 80° .

Рис. 8. ДН ФАР 4-го элемента, разница фаз между элементами – 140° , угол сканирования – 80° .

На рис.9а показана ДН ФАР 6-го элемента, ее усиление составляет 13,36 дБи, что немного больше по сравнению с ФАР из 4 элементов, так как увеличение количества излучателей увеличивает также и длину волны луча. Габариты шестиэлементной ФАР составляют 125,19мм.

На рис.9б представлена ДН ФАР 6-го элемента с разницей фаз в 140° .

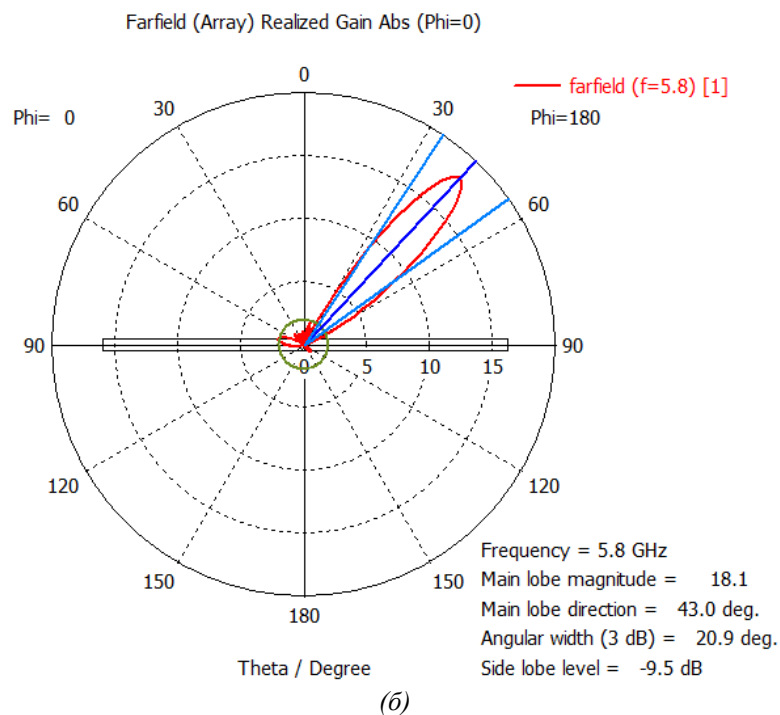
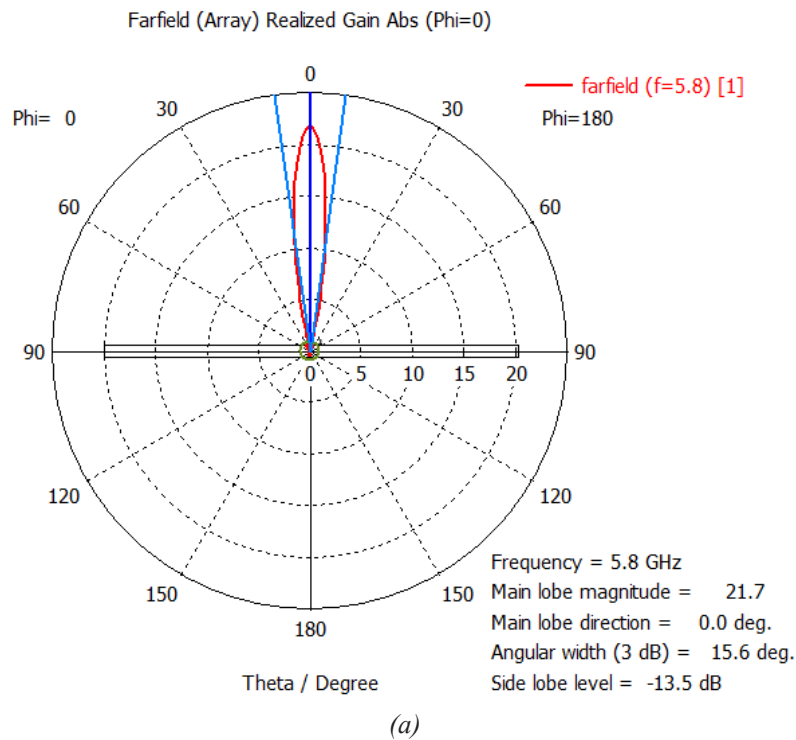


Рис. 9. ДН ФАР 6-го элемента: а) – ДН ФАР 6-го элемента разность фаз между элементами – 0; б) – разность фаз между элементами – 140°, угол сканирования: 86°.

На рис.10 показана ДН ФАР из 6 элементов, где разность фаз между элементами равняется 160°. Угол сканирования всех элементов составляет 102°, что практически достигает идеала для ФАР, которая будет располагаться в передней или задней части автомобиля, так как по бокам в дополнение к основным ФАР будут установлены модели из 2-3 излучателей.

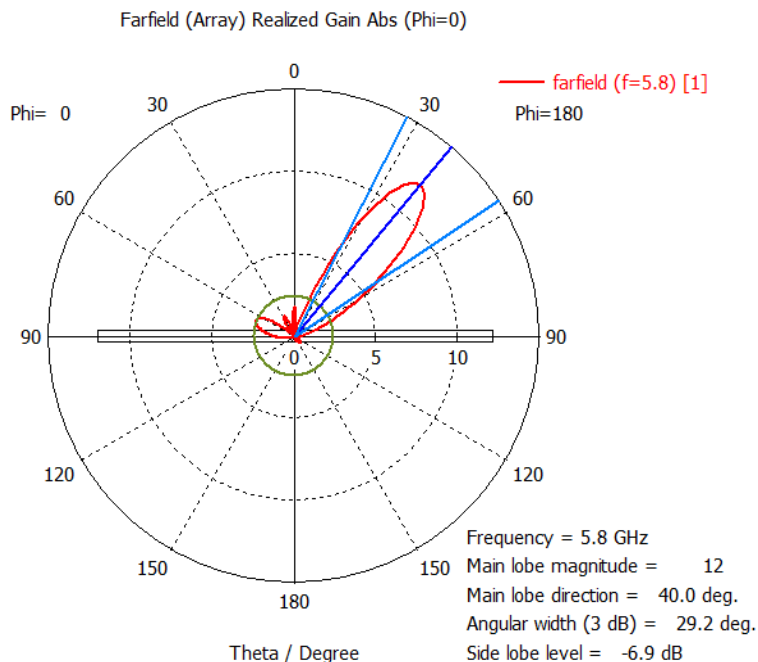


Рис. 10. ДН ФАР 6-го элемента, разница фаз между элементами – 160° , угол сканирования: 102° .

Полученные результаты разработки антенного устройства для систем ИТС полностью удовлетворяют поставленным целям для реализации высокоскоростных и надежных каналов связи между транспортными средствами в системах V2V.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статье представлены результаты проектирования микрополосковых излучателей для фазированных антенных решеток, обладающих широкой перестройкой луча диаграммы направленности, для приложений V2X. Был предложен прототип излучателя на основе подложки ФАФ-4Д. Диапазон рабочих частот соответствует диапазону, выделенному в РФ для телематических устройств на транспорте: 5725 – 5875 МГц.

Дальнейшие исследования предполагается продолжить в направлении исследования места установки антенной решетки на автомобиле.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Tadviser: [Электронный ресурс]. URL: [https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:ДТП_в_России#:~:text=По%20данным%20ГИБДД%2C%20за%2010,\(%20%25\)](https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:ДТП_в_России#:~:text=По%20данным%20ГИБДД%2C%20за%2010,(%20%25)).
2. Alsisi R.H., Vallappil A.K., Wajid H.A. Двухдиапазонная шестиугольная антенна-бабочка с высоким коэффициентом усиления, нагруженная комплементарным резонатором с разветвленным кольцом (CSRR), с расширенной полосой пропускания для приложений связи «автомобиль-автомобиль» (V2V) [Электронный ресурс]. URL: https://www.researchgate.net/publication/366501691_A_dual-band_high_gain_complementary_splitring_resonator_CSRR_loaded_hexagonal_bowtie_antenna_with_enhanced_bandwidth_for_Vehicle-to-Vehicle_V2V_communication_applications (дата обращения: 10.02.2023).
3. Yin Y., Yu T., Sagaguchi K. Конфигурация антенны ZigZag для контроля помех в системах связи V2V миллиметрового диапазона. [Электронный ресурс]. URL: https://www.researchgate.net/publication/343817874_ZigZag_Antenna_Configuration_for_Interference_Control_in_Millimeter-wave_V2V_Communication_Systems (дата обращения: 15.02.2023).
4. Таблица распределения полос радиочастот между радиослужбами Российской Федерации от 18 сентября 2019 г. №1203-47. URL: <https://digital.gov.ru/ru/activity/advisories/7/>.
5. Kannappan L., Palaniswamy S.K., Kanagasabai M. Проектирование и анализ двухдиапазонной полупрозрачной антенны MIMO для автомобильных приложений. URL: https://www.researchgate.net/publication/366490259_Design_and_Analysis_of_a_Dual-Band_Semitransparent_MIMO_Antenna_for_Automotive_Applications (дата обращения: 22.02.2023).
6. Poochaya S., Uthansakul P. Отслеживание луча в антенной системе с переключаемым лучом для связи V2V. URL: https://www.researchgate.net/publication/295684912_Beam_Tracking_in_Switched-Beam_Antenna_System_for_V2V_Communication (дата обращения: 28.02.2023).

ОБ АВТОРАХ

ТАЛИПОВА Дарья Рамилевна, маг. каф. ТС. Бакалавр по напр. Приборостроение (УГАТУ, 2022). Готовит дис. о системе V2X в применении на территории РФ.

ГРАХОВА Елизавета Павловна, зав. НИЛ «Сенсорные системы на основе устройств интегральной фотоники», доцент каф. ТС. Дипл. инженер (УГАТУ, 2012). Доцент техн. наук по сист., сетям и уст-вам телеком. (УГАТУ, 2016). Иссл. в обл. интег. фотоники и сист. Интернета вещей.

METADATA

Title: Modeling of the radiator and antenna array for systems V2V.

Authors: D.R. Talipova¹, E.P. Grakhova²

Affiliation:

Ufa I University of Science and Technology (UUST), Russia.

Email: ¹ talipova-daria@mail.ru, ² grakhova.ep@ugatu.su.

Language: Russian.

Source: Molodezhnyj Vestnik UGATU (scientific journal of Ufa University of Science and Technology), no. 2 (27), pp. 123-131, 2023. ISSN 2225-9309 (Print).

Abstract: This article presents a model of a new microstrip emitter for vehicle-to-vehicle (V2V) applications. The antenna is designed for small size and low profile, which ensures ease of manufacture. Overall dimensions are 52.5x52.4 mm. The emitter substrate is made of Russian-made FAF-4D fiberglass with a thickness of 1.5 mm and a dielectric constant $\epsilon=2.7$. The radiating element of the antenna consists of half an octagon. This design provides good matching in the frequency band 5.725-5.875 GHz allocated for telematics devices in transport. The proposed antenna satisfies the requirement of a reflection coefficient of -10 dB (S_{11}) at a center frequency of 5.81 GHz with a resonance depth of up to minus 45 dB. Radiator DN, maximally non-directional with a main lobe width of 102° . The antenna gain is 4.1 dBi.

Key words: V2V, V2X, V2I, ITS, microstrip technology.

About authors:

TALIPOVA, Daria Ramilevna, Master of the dept. TS. Bachelor in dir. Instrumentation (UGATU, 2022). Preparing a dissertation on the V2X system in use on the territory of the Russian Federation.

ГРАХОВА, Elizaveta Pavlovna, Head of the scientific research laboratory "Sensor systems based on integrated photonics devices", associate professor of the dep. of TS. Certified Engineer (UGATU, 2012). Associate professor of technical sciences in the system, networks and devices of telecommunications. (UGATU, 2016). Researcher in the field of integrated photonics and Internet of things systems.