

Секция – **Методы, системы и средства обработки и моделирования физических сигналов, полей и процессов**

УДК 621.396.677.3

Игнатович Владислав Олегович, Кисель Наталья Николаевна

МОДЕЛИРОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК МИКРОПОЛОСКОВЫХ АНТЕНН ПРИ ПРИМЕНЕНИИ В ТЕХНОЛОГИЯХ MIMO И BEAMFORMING

В ходе проведения данного исследования ставилась задача создать антенную систему для задач 5G и проанализировать работу технологий MIMO и Beamforming. Разработана и проанализирована микрополосковая MIMO-антенна. Проанализированы способы управления диаграммой направленности антенны, наглядно продемонстрирован принцип формирования луча. Далее, в ходе исследования была создана решетка на основе ранее созданной MIMO-антенны, проанализированы её направленные и частотные свойства. Сделан вывод о целесообразности применения микрополосковых антенн в фазированных антенных решетках 5G назначения.

Ignatovich Vladislav Olegovich, Kisel Natalia Nikolaevna

MODELLING OF MICROSTRIP ANTENNA CHARACTERISTICS WITH USING IN MIMO AND BEAMFORMING TECHNOLOGIES

During this research, the task was to create an antenna system for 5G tasks and analyze the operation of MIMO and Beamforming technologies. A microstrip MIMO antenna is designed and analyzed. Methods for controlling the antenna radiation pattern are analyzed. Further, during the study, an array was created based on a previously created MIMO antenna, and its directional and frequency properties were analyzed. A conclusion is made about the feasibility of using microstrip antennas in 5G phased array antennas.

Введение

Пятое поколение стандартов мобильной связи (пришло на смену LTE в 2010-х годах) начало внедряться в быт во время расцвета промышленных автоматизаций, прогресса в области Интернета вещей и развития робото-

техники. Так же в данное время активно развивается съемка и публикация в Интернете видеоматериалов разрешением 4K и выше. Это ставит перед разработчиками проводных и беспроводных сетей высокие требования к пропускной способности каналов связи и скорости передачи данных. Активное развитие киберспорта, повышение качества и степени погруженности участников в игровой процесс, в свою очередь, ставит перед разработчиками задачу снизить до минимума задержку сети при взаимодействии «клиент – сервер». Одновременно с этим, на волне развития технологий «Умного дома» происходит повышение числа электронных устройств, для работы которых необходимо подключение к Интернету (в большинстве случаев подключение осуществляется по беспроводным каналам, таким как Wi-Fi, Bluetooth или Zigbee). Это, в свою очередь, накладывает на разработчиков требования по обеспечению бесперебойной работы всех устройств, подключаемых к одной сети; следовательно, необходимо обеспечение высокой помехоустойчивости. Все эти задачи полностью или частично решаются путем реализации стандарта 5G.

Основная часть

Для решения задач 5G связи могут использоваться различные типы антенн. В литературе встречаются образцы линзовых антенн, антенн на основе метаматериалов, фотодетекторные и иные антенны. Отдельное место среди антенн 5G занимают микрополосковые антенны, антенны на чипе и отражательные решетки на базе всё тех же микрополосковых антенн. Данный тип антенн максимально подходит под развивающиеся технологии мобильной связи, поскольку удовлетворяет современным требованиям к антенне – тот же уровень усиления и способность к управляемому изменению формы диаграммы направленности при малых габаритных размерах и малой мощности питания.

Темой проводимых исследований было моделирование и исследование микрополосковых антенн и микрополосковых антенных решеток, исследование тех параметров, которые наиболее актуальны в существующих задачах мобильной связи.

В качестве основы для анализа была выбрана микрополосковая антенна, состоящая из шести элементов прямоугольной формы и имеющая выход к двум боковым граням подложки. Далее было принято решение модифицировать топологию, получив в итоге MIMO-антенну, с двумя портами под источник питания и двумя портами под нагрузку. Далее, в целях улучшения согласования антенны было принято решение модифицировать

слой заземления. Традиционно, в теории микрополосковых антенн принято размещать слой металла под подложкой, причем форма этого заземляющего слоя повторяет форму подложки. Но при исследовании микрополосковых антенн специалистами было замечено, что изменение формы слоя заземления оказывает влияние как на направленные свойства антенны, так и на частотные свойства.

Результаты моделирования итогового образца показали, что во всей полосе $n79$ значения КСВ не превышает 1.8. Минимум зафиксирован на отметке 1.14. Диаграмма направленности имеет внешнее сходство с цифрой 8, максимум излучения в плоскости xOz составил 3.26 dBi. КПД антенны определяется в диапазоне от 0.91 до 0.94, что приводит к отличному значению коэффициента корреляции (0.001 при нормальном значении в 0.3).

В процессе исследования одиночной ММО-антенны были проведены исследования её поляризационных свойств. Изменение диаграммы направленности достигалось путем изменения разности фаз между двумя напряжениями питания. Удалось выяснить, что мгновенные значения фаз питания не имеют влияния на свойства антенны, влияние оказывает только их разность. С помощью изменения знака разности фаз питания на противоположный осуществляется поворот диаграммы направленности на 180 градусов. Данный эксперимент, среди прочего, является демонстрацией и ответом на вопрос, почему в ММО-антеннах чаще всего отдают предпочтение разности фаз 90 градусов между двумя портами питания. Антенна с таким возбуждением наиболее близка к ненаправленной, что может являться наиболее предпочтительным для использования.

Отдельно были проведены исследования чувствительности антенны к параметрам диэлектрика и к толщине подложки. Необходимость проведения таких исследований заключается в несовершенстве производственных линий в изготовлении диэлектрических подложек. Производители фиксируют флуктуации основных параметров изделия в документации. Было проведено несколько исследований, которые позволяют учесть степень влияния отдельных факторов на характеристики антенны. Результаты представлены на рис. 1.

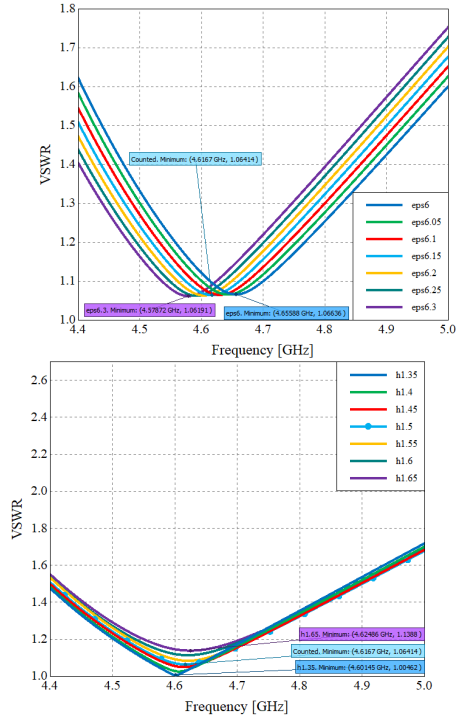


Рис. 1. График зависимости КСВ антенны от частоты при семи значениях диэлектрической проницаемости подложки и график зависимости КСВ антенны от частоты семи значениях толщины подложки

Зафиксировано, что флуктуация диэлектрической проницаемости подложки в пределах, отведенных заводом-изготовителем, приводят к смещению минимума КСВ (который фиксируется на резонансной частоте) в полосу 77 МГц (меньшее значение диэлектрической проницаемости соответствует крайнему левому графику) и флуктуации максимумов диаграммы направленности на 0.2 дВi. Флуктуация толщины подложки оказывает влияние непосредственно на значения минимумов КСВ, разность минимального и максимального зафиксированного значения составила 0.13 дВi, значение максимума ДН изменялось в пределах 0.15 дВi от расчетного значения. Влияние этих параметров на форму ДН не зафиксировано. Влияние флуктуаций толщины подложки на итоговый КПД антенны –

от 1 до 3 процентов, как и в случае флюктуаций диэлектрической проницаемости.

Далее на основе этой антенны было собрано несколько решеток различных размеров для исследования процессов формирования и управления диаграммой направленности в микрополосковых антенных решетках. Управление осуществляется с помощью изменения фаз питающих напряжений. Примеры таких изменений представлены на рис. 2.

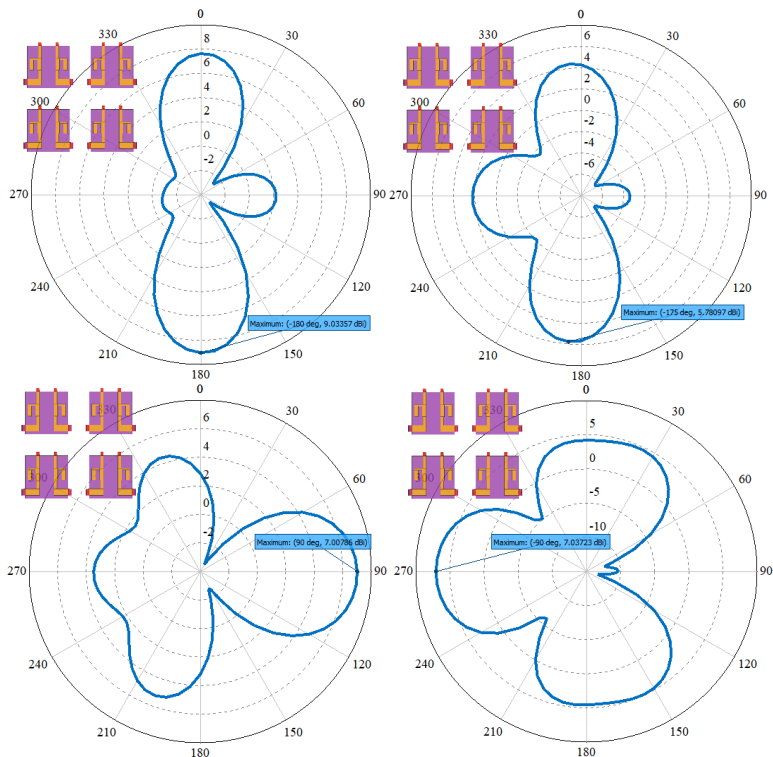


Рис. 2. Диаграммы направленности решетки 2x2 при различных фазовых соотношениях

Результаты моделирования показывают, что излучением решетки можно управлять путем манипуляций фазами питания на излучателях. Решетка имеет от двух до трех локальных максимума излучения, которые можно поворачивать в направлении абонента. Данное свойство имеет

название beamforming, или формированием диаграммы направленности. В целом, при манипуляциях с фазами антенной системы любых размеров наблюдается снижение согласования (был зафиксирован рост КСВ на отдельных портах, изменение частот, на которых входной импеданс был бы равен 50 Ом). Но при этом удалось зафиксировать управляемый поворот диаграммы направленности без потерь коэффициента усиления, таким образом, итоговый КПД антенны снижается не более чем на 0.05.

Выводы

В ходе проведения данного исследования ставилась задача создать антенную систему для задач 5G и проанализировать работу технологий MIMO и Beamforming. Разработана и проанализирована микрополосковая MIMO-антенна. Проанализированы способы управления диаграммой направленности антенны. Выведено эмпирическое соотношение, позволяющее предсказать угловое направление максимума ДН по разности фаз двух питающих напряжений. Далее, в ходе исследования была создана решетка на основе ранее созданной MIMO-антенны, проанализированы её направленные и частотные свойства. Сделан вывод о целесообразности применения микрополосковых антенн в фазированных антенных решетках 5G назначения.

Возможности, представляемые фазированными антенными решетками, будут находить широкое применение в 5G. В ходе исследования продемонстрирован принцип управления лучом (beamforming). Данный принцип позволяет менять диаграмму направленности решетки без изменения конструкции излучателей и их положения в пространстве. Изменение фаз питания антенн может быть реализовано программно и автоматизировано таким образом, чтобы максимумы излучения были направлены на абонента.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *William Stallings*. 5G Wireless A Comprehensive Introduction // 2021 г.
2. *Balanis C. A.* Antenna Theory - Analysis and Design, 4th Edition // 2016 г.
3. *Вэнь Тонг, Пейин Чжу*. Сети 6G. Путь от 5G к 6G глазами разработчиков // 2022 г.
4. *S.-G. Park, Y. Choi, Y.-J. Oh, and K.-H. Jeong*, Terahertz photoconductive antenna with metal nanoislands, Optics Express, vol. 20, no. 23, pp. 25 530–25 535, 2012.

5. *J. Grzyb and U. Pfeiffer*, Thz direct detector and heterodyne receiver arrays in silicon nanoscale technologies, *Journal of Infrared, Millimeter, and Terahertz Waves*, vol. 36, no. 10, pp. 998–1032, 2015.

6. *E. O. Polat, G. Mercier, I. Nikitskiy, E. Puma, T. Galan, S. Gupta, M. Montagut, J. J. Piqueras, M. Bouwens, T. Durduran et al.*, Flexible graphene photodetectors for wearable fitness monitoring, *Science Advances*, vol. 5, no. 9, p. eaaw7846, 2019.

7. *Z. Zhao, G. Xie, L. Li, H. Song, C. Liu, K. Pang, R. Zhang, C. Bao, Z. Wang, S. Sajuyigbe et al.*, Performance of using antenna arrays to generate and receive mm-wave orbital-angular-momentum beams, in *Proc. IEEE Global Communications Conference (GLOBECOM)*. IEEE, 2017, pp. 1–6.

8. NTT DoCoMo, DOCOMO conducts worlds first successful trial of transparent dynamic metasurface // Tokyo, 2020.

9. *D. Suzuki, S. Oda, and Y. Kawano*, A flexible and wearable terahertz scanner, *Nature Photonics*, vol. 10, no. 12, pp. 809–813, 2016.

10. *D. Suzuki, Y. Ochiai, and Y. Kawano*, Thermal device design for a carbon nanotube terahertz camera, *ACS Omega*, vol. 3, no. 3, pp. 3540–3547, 2018.

Игнатович Владислав Олегович, преподаватель Научно-образовательного центра «Перспективные решения в образовании» Южного федерального университета, Россия, город Таганрог, улица Петровская 81, 347900, телефон: +7 (918) 553-02-67, email: vignatovich@sfnedu.ru.

Кисель Наталья Николаевна, кандидат технических наук, доцент кафедры Антенн и радиопередающих устройств Южного федерального университета, Россия, город Таганрог, переулок Некрасовский 44, 347900, телефон: +7(863) 218-40-00 доб. 30020, email: nnkisel@sfnedu.ru.

Ignatovich Vladislav Olegovich, teacher, Scientific and Educational Center "Perspective Decisions in Education" Southern Federal University, 347900, Russia, Taganrog, 44 Nekrasovky lane, phone: +7 (918) 553-02-67, email: vignatovich@sfnedu.ru.

Kisel Natalia Nikolaevna, Candidate of Technical Sciences (Ph.D.), assistant professor, Department of Antennas and Radio Transmitting Devices, Southern Federal University, 347900, Russia, Taganrog, 44 Nekrasovky lane, phone: +7(863) 218-40-00 add. 30020, email: nnkisel@sfnedu.ru.