

Цельнометаллическая двухполяризационная антенная решётка диапазона 4.8–4.99 ГГц

Л. М. Любина, М. И. Сугак

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет
«ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)

lmlyubina@etu.ru

Аннотация. Представлены результаты экспериментального исследования цельнометаллической антенной решётки диапазона 4.8–4.99 ГГц, определённого в РФ для развёртывания сетей связи 5G. Антенна выполнена на основе резонатора Фабри–Перо и изготовлена с использованием технологии лазерной резки, может быть использована для применения в МИМО-системах. Максимальный измеренный КУ в полосе рабочих частот составил 18.2 дБ, коэффициент развязки между каналами не превышает -18 дБ.

Ключевые слова: антенная решётка; резонатор Фабри–Перо; 5G; МИМО

I. ВВЕДЕНИЕ

Для антенных решёток с внутренним питанием в случаях, когда требуется высокий КНД, становится острым вопрос минимизации потерь при построении ДОС [1]–[4]. В этой связи в последние годы повысился интерес к антеннам на основе резонатора Фабри–Перо – в простейшем случае состоящего из источника поля и двух параллельных поверхностей, одна из которых является непрозрачным для электромагнитных волн экраном, вторая – полупрозрачным экраном, разнесённых на расстояние $\lambda/2$ [5]. Преимуществом таких антенн является сочетание высокой направленности и простоты организации схемы питания, что особо важно в мм- и субТГц-диапазонах, где велико влияние среды распространения на затухание сигнала при передаче.

Несмотря на то, что использование принципа резонатора Фабри–Перо для построения ДОС антенных решёток известно достаточно давно, в рамках данной статьи рассмотрена возможность построения такого рода антенны в цельнометаллическом исполнении. Ранее авторами было показано, что возможно реализовать на апертурных элементах антенную решётку на основе резонатора Фабри–Перо для случая линейной поляризации [6]. Однако в связи с активным развитием систем связи нового поколения и, соответственно, с ростом потребности в антеннах для МИМО- и massive-МИМО-систем, гораздо больший интерес представляет реализация антенной решётки билинейной поляризации [7].

II. КОНСТРУКЦИЯ АНТЕННЫ

Макет предлагаемой антенны представлен на рис. 1, схематическое изображение поперечного сечения – на

рис. 2. Питание решётки осуществляется с помощью патч-антенны, выполненного на поливинилхлоридной подложке (ПВХ) с двумя точками питания, полупрозрачный экран состоит из двух перфорированных слоёв – в качестве излучающего элемента выбран апертурный круглой формы. Общее количество отверстий составляет 5×5 , расположение и радиус которых были оптимизированы с использованием FEM-метода в пакете ANSYS Electronics. Фазовая ошибка на краях резонатора достигает 80 градусов, а распределение амплитуды спадает к краям антенной решётки.

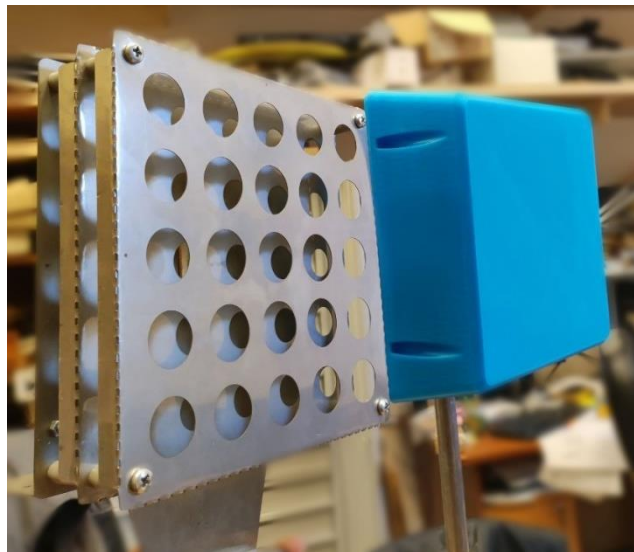


Рис. 1. Макет двухполяризационной антенной решётки на основе резонатора Фабри–Перо

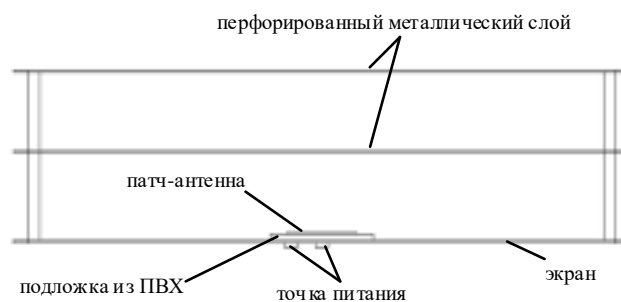


Рис. 2. Схема поперечного сечения двухполяризационной антенной решётки на основе резонатора Фабри–Перо

Использование двухслойной структуры АР с различными (оптимизированными) диаметрами отверстий в разных слоях позволило значительно расширить полосу рабочих частот разрабатываемой антенны (рис. 3–4), при этом коэффициент усиления в пределах полосы рабочих частот не меньше, чем у однослойной антенной решетки аналогичной конфигурации. Здесь также показана зависимость коэффициента усиления от частоты для двухслойной антенной решетки Фабри–Перо с неоптимальным соотношением (1,5) диаметров отверстий в двух перфорированных металлических экранах и расстоянием между перфорированными металлическими экранами $0,45\lambda$ и другими размерами, идентичными предлагаемой антенной решетке.

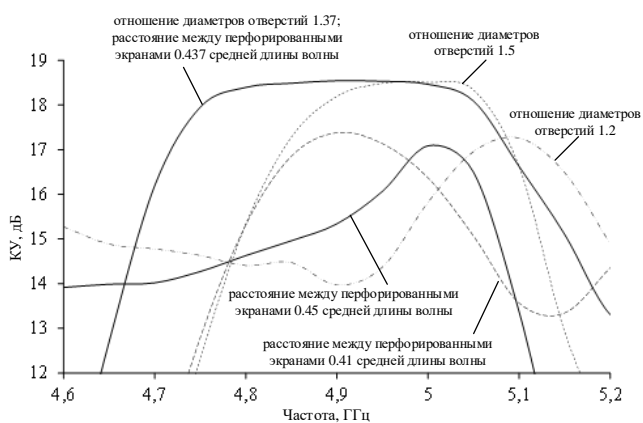


Рис. 3. Численные частотные зависимости КУ различных геометрий двухполяризованной антенной решетки на основе резонатора Фабри–Перо в сравнении с оптимальным случаем

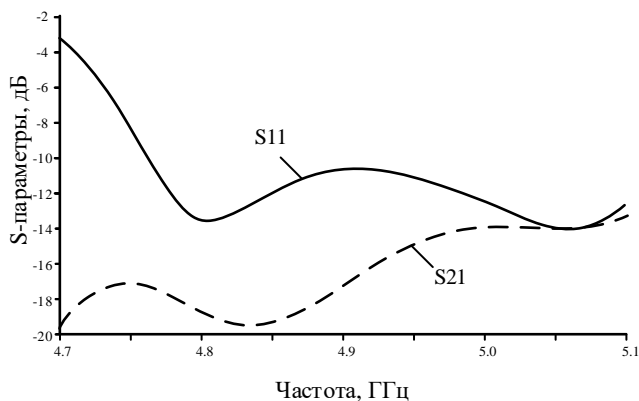


Рис. 4. Численные частотные зависимости S-параметров оптимизированной двухполяризованной антенной решетки на основе резонатора Фабри–Перо

Сужение рабочей полосы частот и снижение уровня усиления иллюстрируют эффективность процедуры оптимизации. Частотные зависимости S11 и S21 для предлагаемой антенной решетки Фабри–Перо демонстрируют работоспособность антенны в требуемом диапазоне частот 4,8–4,99 ГГц по уровню $S_{11} < -10$ дБ, при этом $S_{21} < -14$ дБ.

III. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТА

Конструкция макета была оптимизирована для изготовления с использованием технологии лазерной резки. В качестве материала подложки для микрополоскового излучателя квадратной формы был выбран поливинилхлорид толщиной 3 мм, разъемы – SMA. Прототип антенной решетки на основе резонатора Фабри–Перо показан на рис. 1.

Измерения проводились в ЦКП «БЭК» СПбГЭТУ «ЛЭТИ» с использованием сканера ближнего поля Antest B3-1 и ВАЦ Agilent N5230A PNA-L.

Для обеспечения жесткости в предложенную конструкцию антенной решетки Фабри–Перо были внесены некоторые изменения. В частности, элементы полупрозрачной стены дополнены дополнительными угловыми элементами. В результате некоторые размеры прототипа (межслойное расстояние и микрополосковый излучатель квадратной формы) были уточнены экспериментально. Тем не менее, численные и измеренные данные совпадают с высокой точностью (рис. 5). Небольшое снижение экспериментального значения усиления по отношению к численному (17–18,2 дБ и 18,4 дБ соответственно) связано с использованием идеализированного металла в качестве проводника в численной модели.

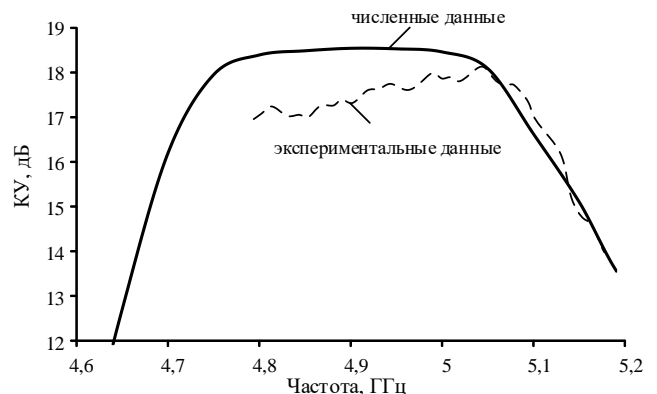


Рис. 5. Численная и экспериментальная частотные зависимости КУ двухполяризованной антенной решетки на основе резонатора Фабри–Перо

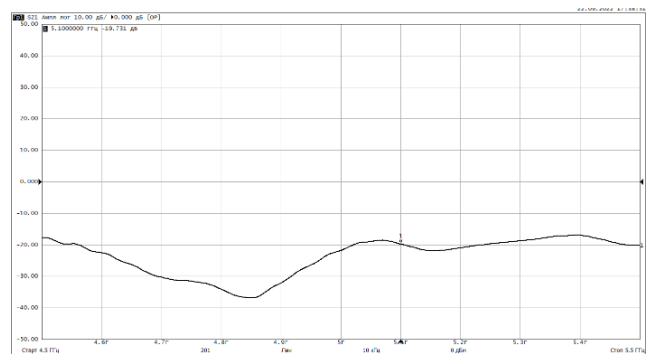


Рис. 6. Экспериментальная частотная зависимость S21 двухполяризованной антенной решетки на основе резонатора Фабри–Перо

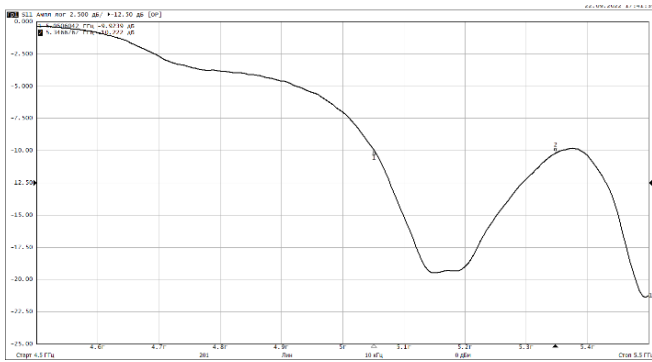


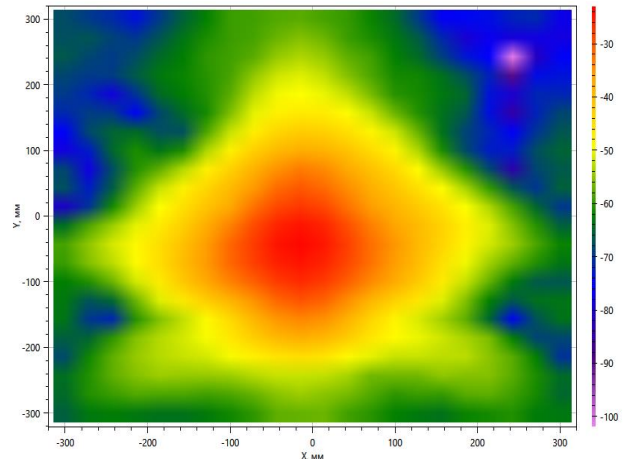
Рис. 7. Экспериментальная частотная зависимость S_{11} двухполяризованной антенной решётки на основе резонатора Фабри–Перо

Измеренные частотные зависимости S_{12} и S_{11} показаны на рис. 6 и рис. 7 соответственно, нормированные диаграммы направленности в Е- и Н-плоскостях показаны на рис. 8.

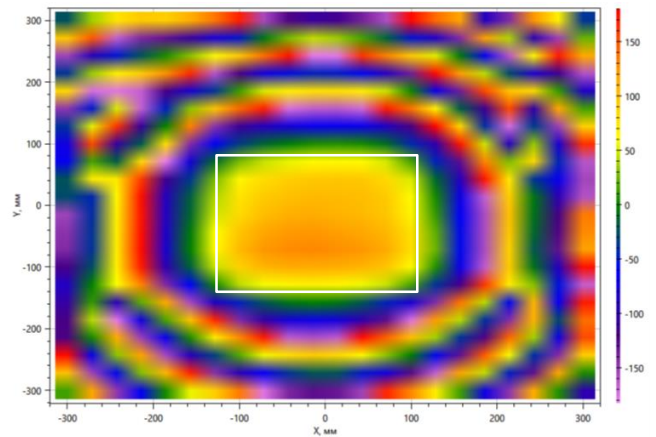


Рис. 8. Экспериментальные нормированные диаграммы направленности в Е- и Н-плоскостях двухполяризованной антенной решётки на основе резонатора Фабри–Перо

На рис. 9а,б показаны результаты измерения амплитудного и фазового распределения прототипа антенной решетки. В результате последующей математической обработки этих данных были получены амплитудные диаграммы направленности. Из детального анализа данных, представленных на рис. 9а, можно сделать вывод, что существует довольно значительный уровень затухания амплитуды к краям антенной решетки. Это положительно влияет на уровень боковых лепестков, но в то же время приводит к снижению эффективности излучения. Кроме того, характер этого распределения выявляет заметный «отток» поля через открытые боковые стенки резонатора Фабри–Перо.



а)



б)

Рис. 9. Измеренные распределения а) амплитуд, б) фаз для двухполяризованной антенной решётки на основе резонатора Фабри–Перо

На рис. 9б показана определенная область исследуемой апертуры антенной решетки, где поле можно считать синфазным с некоторым приближением. В то же время детальная количественная оценка установленного распределения фаз указывает на то, что существует резерв для улучшения конструкции антенны с точки зрения минимизации фазовой ошибки, что может привести к незначительному повышению эффективности излучения антенной решетки.

IV. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представлены результаты численного и экспериментального исследования характеристик дешевой цельнометаллической антенной решетки на основе резонатора Фабри–Перо. Отличительной особенностью предлагаемой антенной решетки является ее высокая технологичность и минимизация затрат при массовом производстве. Диапазон рабочих частот 4,8–4,99 ГГц соответствует диапазону, который в настоящее время определен в России в качестве приоритетного для развертывания систем 5G.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] N. Guerin, S. Enoch, G. Tayeb, P. Sabouroux, P. Vincent and H. Legay, "A metallic Fabry-Perot directive antenna," in *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 54, no. 1, pp. 220-224, Jan. 2006, doi: 10.1109/TAP.2005.861578.
- [2] Y. Ge, K.P. Esselle and T.S. Bird, "The Use of Simple Thin Partially Reflective Surfaces With Positive Reflection Phase Gradients to Design Wideband, Low-Profile EBG Resonator Antennas," in *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 60, no. 2, pp. 743-750, Feb. 2012, doi: 10.1109/TAP.2011.2173113.
- [3] A.M. Alexandrin et al., "Ku-band antenna array element based on Fabry-Perot cavity," 2016 Asia-Pacific Microwave Conference (APMC), 2016, pp. 1-4, doi: 10.1109/APMC.2016.7931338.
- [4] K. Konstantinidis, A.P. Feresidis and P.S. Hall, "Multilayer Partially Reflective Surfaces for Broadband Fabry-Perot Cavity Antennas," in *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 62, no. 7, pp. 3474-3481, July 2014, doi: 10.1109/TAP.2014.2320755.
- [5] *Encyclopedia of RF and microwave engineering* / Kai Chang, editor. Published: Hoboken N.J. : John Wiley, 2005.
- [6] Сугак М.И., Журавлёв А.Г., Щелевая антенная решетка Ку-диапазона на базе резонатора Фабри-Перо // XI Всероссийская научно-техническая конференция "Электроника и микроэлектроника СВЧ". Сборник докладов. Санкт-Петербург. 30 мая - 3 июня 2022 г. СПб.: СПбГЭТУ «ЛЭТИ», с. 484-488.
- [7] E. Basar, M. Di Renzo, J. De Rosny, M. Debbah, M. -S. Alouini and R. Zhang, "Wireless Communications Through Reconfigurable Intelligent Surfaces," in *IEEE Access*, vol. 7, pp. 116753-116773, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2935192.