

11.1

Двухдиапазонный излучающий элемент круговой поляризации на связанных резонаторах для работы в миллиметровом диапазоне длин волн

© А.Д. Полигина^{1,2}, А.В. Таганов²¹ Сибирский федеральный университет, Красноярск, Россия² АО „Научно-производственное предприятие „Радиосвязь“, Красноярск, Россия

E-mail: anastasia0711@mail.ru

Поступило в Редакцию 11 октября 2023 г.

В окончательной редакции 2 ноября 2023 г.

Принято к публикации 9 ноября 2023 г.

Исследована возможность реализации технологичного двухдиапазонного излучающего элемента с круговой поляризацией для применения в низкопрофильных антенных решетках, в том числе миллиметрового диапазона длин волн. Приведены результаты моделирования полученной структуры. Предложенный излучатель представляет собой систему связанных резонаторов, коэффициент эллиптичности которых превышает 0.8 в обоих диапазонах рабочих частот. Системы связанных резонаторов возбуждаются через полосковую линию передачи посредством щелевого перехода. Коэффициент усиления элементов составляет 6 и 12 dBi в приемном и передающем диапазонах соответственно.

Ключевые слова: микрополосковая антенная решетка, связанные резонаторы, щелевой переход, круговая поляризация.

DOI: 10.61011/PJTF.2024.04.57092.19765

Наиболее часто в антенных системах для спутниковой и тропосферной связи применяются параболические рефлекторы и антенные решетки (АР). Для реализации дуплексной спутниковой связи используются два разнесенных частотных диапазона. При решении вопроса о совмещении приемо-передающих антенн применяется несколько подходов:

- использование двух однодиапазонных параболических антенн;
- использование двухдиапазонного совмещенного облучателя [1];
- использование двух однодиапазонных АР;
- использование совмещенной приемо-передающей АР [2].

В тех приложениях, где предъявляются жесткие требования к массогабаритным параметрам, например в носимых и мобильных станциях связи, наиболее целесообразно использование низкопрофильных антенных решеток. АР с совмещенными диапазонами дает возможность минимизировать размер станции связи в 2 раза, так как в данном случае понадобится применение лишь одной приемо-передающей антенны. Важной задачей при разработке двухдиапазонной АР является выбор эффективного излучающего элемента, от параметров которого зависят итоговые энергетические характеристики антенны.

Для проектирования низкопрофильных АР традиционно используются микрополосковые печатные излучатели [3], основным недостатком которых является их узкая полоса рабочих частот (менее 5%) в силу резонансного характера работы. Для расширения рабочей полосы частот применяются многослойные структуры [4], представляющие собой два или более связанных резонатора,

один из которых служит первичным источником энергии для возбуждения остальных.

Одним из частых требований к системам связи выступает работа на круговой поляризации, где для возможности использования антенны в системах с поляризационным уплотнением коэффициент эллиптичности должен быть достаточно высоким (более 0.8).

Для реализации печатного микрополоскового резонатора с круговой поляризацией необходимо ввести асимметрию продольных и поперечных токов. Чаще всего это достигается реализацией способа питания, где имеются две точки запитки, возбуждающие две ортогональные поляризации со сдвигом фаз в 90° [5]. Для реализации этого необходим делитель мощности, обеспечивающий необходимый фазовый сдвиг, что усложняет конструкцию антенной решетки, если говорить о многослойных печатных платах.

Другим способом получения элемента с круговой поляризацией является его перфорация отверстиями различной формы, что смещает направление токов [6].

Повысить коэффициент эллиптичности позволяет применение различной формы излучающих элементов (например, у квадратных резонаторов срезаются углы, расположенные на одной диагонали [7]).

В настоящей работе возбуждение круговой поляризации достигается за счет использования прямоугольного патча. Каждый такой излучатель будет иметь две резонансные частоты: вдоль длинной и короткой сторон. В этой конфигурации излучатель возбуждается одной точкой запитки, расположенной ближе к краю относительно обеих сторон.

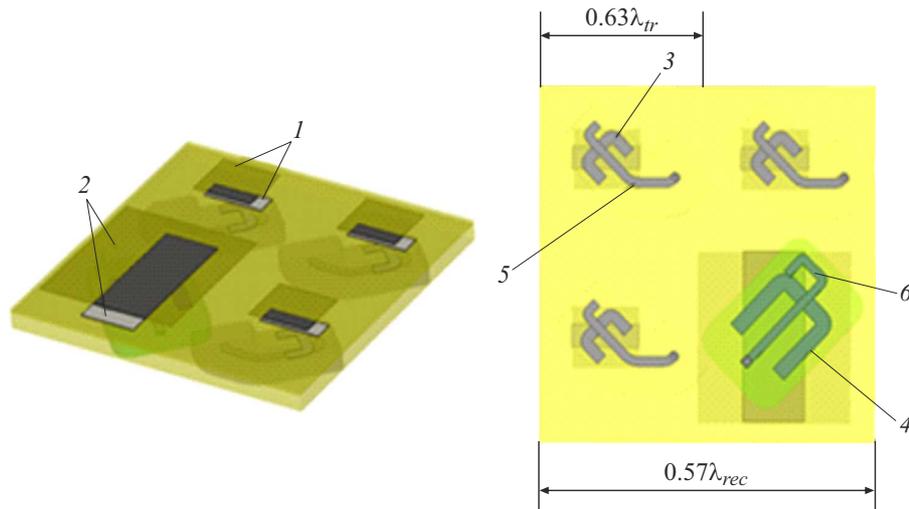


Рис. 1. Структура двухдиапазонного излучающего элемента на связанных резонаторах. 1 — излучатель передающего диапазона, 2 — излучатель приемного диапазона, 3 — запитывающая щель передающего диапазона, 4 — запитывающая щель приемного диапазона, 5 — возбуждающий полосок передающего диапазона, 6 — возбуждающий полосок приемного диапазона.

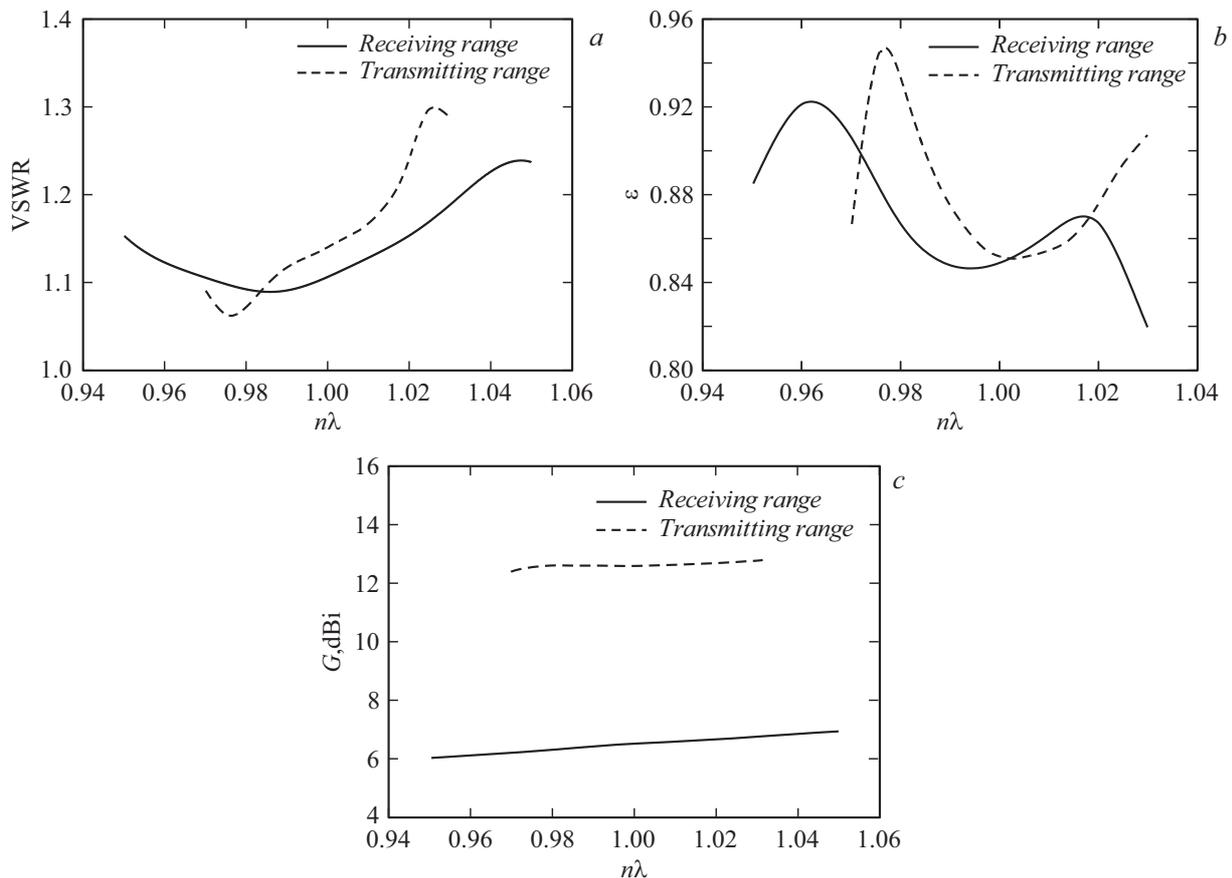


Рис. 2. Частотные зависимости коэффициента стоячей волны по напряжению (VSWR) (a), коэффициента эллиптичности ε (b) и коэффициента усиления G (c).

Для повышения технологичности изготовления был рассмотрен случай возможной реализации, где возбуждение резонаторов осуществлено через щелевой переход, запитываемый полосковой линией передачи. Длина щели выбирается около половины длины волны. Для

обеспечения компактности разводки реализована щель U -образной формы.

На рис. 1 показана структура полученного излучателя, представляющего собой систему связанных резонаторов, работающих каждый в своем частотном диапазоне.

Система излучателей представляет собой многослойную плату, выполненную на фторопласте марки F4BM. Материал между двумя резонаторами имеет диэлектрическую проницаемость, равную 2.2. Материал подложки активного резонатора обладает диэлектрической проницаемостью, равной 3.0. Из этого же материала выполнена полосковая система возбуждения элементов на симметричной линии. Шаг решетки для данного излучающего элемента в диапазоне приема равен $0.57\lambda_{rec}$, в диапазоне передачи — $0.63\lambda_{tr}$, где λ_{rec} и λ_{tr} — центральные частоты приемного и передающего диапазонов соответственно. Полученная конфигурация может применяться для построения эффективной совмещенной AP без дифракционных максимумов диаграммы направленности, так как этому соответствует шаг решетки.

На рис. 2 представлены основные характеристики, полученные при моделировании. Частотные диапазоны предложенного излучателя разнесены в 2 раза. Коэффициент стоячей волны по напряжению (VSWR) (рис. 2, *a*) в обоих диапазонах не превышает 1.3. Коэффициент эллиптичности ϵ в двух частотных диапазонах (рис. 2, *b*) выше 0.8, этого на текущий момент достаточно для обеспечения эффективного излучения в режиме повышенного поляризационного уплотнения. Коэффициент усиления G для приемного элемента составляет 6 dBi, для системы передающих элементов — около 12 dBi.

Таким образом, исследования показывают, что имеется возможность создания эффективного технологичного излучающего двухдиапазонного элемента для применения в низкопрофильных AP миллиметрового диапазона длин волн. С помощью данной структуры можно создать многослойную печатную AP за меньшее количество этапов прессования за счет использования щелевого перехода вместо классического коаксиального, что повышает технологичность изготовления. Высокий уровень коэффициента эллиптичности элемента позволяет упростить систему возбуждения за счет применения синфазной и равноамплитудной разводки платы. Это в свою очередь также повышает технологичность с точки зрения разработки и проектирования AP.

Финансирование работы

Исследование выполнено в рамках государственного задания ФГАОУ ВО „Сибирский федеральный университет“ (номер FSRZ-2023-0008).

Конфликт интересов

Авторы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

Список литературы

- [1] С.В. Поленга, А.М. Александрин, Ю.П. Саломатов, К.В. Лемберг, А.А. Попович, Успехи современной радиоэлектроники, № 11, 43 (2016).
- [2] Д.И. Воскресенский, Е.В. Овчинникова, В.В. Фам, С.Г. Кондратьева, П.А. Шмачилин, Антенны, № 3, 8 (2018).
- [3] R. Rajitha, K. Nishitha, R.M. Mandeep, G.L. Priya, in *2019 IEEE Int. Conf. on innovations in communication, computing and instrumentation (ICCI)* (Chennai, India, 2019), p. 8–11. DOI: 10.1109/ICCI46240.2019.9404482
- [4] А.Д. Полигина, А.В. Таганов, Ю.П. Саломатов, в сб. *Материалы XXIII Всерос. науч.-техн. конф. с международным участием, посвященной 127-й годовщине Дня радио* (Красноярск, 2022), с. 237–242.
- [5] M.A. Rahman, Q. Delwar Hossain, M.A. Hossain, in *2014 Int. Conf. on electronic engineering and information & communication technology* (Dhaka, Bangladesh, 2014), p. 1–4. DOI: 10.1109/ICEEICT.2014.6919074
- [6] L.C. Paul, R.K. Pramanik, M.M. ur Rashid, M.N. Hossain, M.Z. Mahmud, M.T. Islam, in *2019 Joint 8th Int. Conf. on informatics, electronics & vision (ICIEV) and 2019 3rd Int. Conf. on imaging, vision & pattern recognition (icIVPR)* (Spokane, WA, USA, 2019), p. 79–84. DOI: 10.1109/ICIEV.2019.8858553
- [7] H.J. Kim, S.M. Kim, J.M. Son, W.G. Yang, in *2005 Asia-Pacific Microwave Conf. Proc.* (Suzhou, 2005), p. 4–7. DOI: 10.1109/APMC.2005.1606902