

DOI: <https://doi.org/10.30898/1684-1719.2023.12.22>

УДК: 621.396.67

ШИРОКОПОЛОСНЫЙ ЭЛЕМЕНТ АНТЕННОЙ РЕШЕТКИ СВЧ ДИАПАЗОНА С УПРАВЛЯЕМОЙ ПОЛЯРИЗАЦИЕЙ

Р.О. Рязанцев, Ю.П. Саломатов, С.В. Поленга,
А.А. Ерохин, Е.Р. Гафаров

Сибирский Федеральный Университет
660041, г. Красноярск, пр. Свободный, 79

Статья поступила в редакцию 13 октября 2023 г.

Аннотация. В настоящее время наблюдается возрастающий интерес к отечественным спутниковым системам связи и широкополосного доступа [1]. При этом неотъемлемой частью таких систем являются наземные терминалы, рабочие частоты которых включают сантиметровый и миллиметровый диапазоны. Указанные обстоятельства требуют своевременной разработки антенн клиентских терминалов. Данная статья посвящена исследованию компактного ортомодового селектора, совмещенного с излучателем относительно малых электрических размеров (до $\approx 1 \lambda$), который может быть использован в составе антенной решетки (АР) наземного терминала спутниковой связи. Предлагаемое решение позволит создать АР с управляемой поляризацией в широкой полосе частот. По результатам моделирования, достижимым является коэффициент перекрытия 1,4, что соответствует 93% полосы частот одного стандартного волноводного диапазона.

Ключевые слова: антенная решетка, терминал спутниковой связи, ортомодовый селектор.

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

Автор для переписки: Рязанцев Роман Олегович, ryazantsevro@mail.ru

Введение

При построении АР терминала спутниковой связи необходимо обеспечить работу с соответствующим типом поляризации электромагнитной волны в системно-заданных диапазонах частот приема и передачи, желательно в пределах одной и той же апертуры. Например, для обеспечения двухсторонней связи в Ku-диапазоне необходимо обеспечить работу антенной системы на прием и передачу с ортогональными круговыми либо с произвольными линейными поляризациями, при этом центральные значения соответствующих частотных полос отстоят друг от друга, и обычно находятся около значений в 11 и 14 ГГц [2].

Для одновременной работы с различными поляризациями электромагнитных волн используются ортомодовые селекторы. Известна классическая реализация ортомодового селектора с четырьмя волноводными ответвлениями от общего круглого волновода [3, 4, 5], удовлетворяющая по параметрам широкополосности. Однако, такой вариант имеет значительные поперечные габариты и не подходит для применения в АР. Известны также Септум-поляризаторы, которые являются устройствами, одновременно выполняющими роль селекторов поляризации и поляризаторов. Однако, такие устройства, как правило, имеют рабочую полосу частот $\approx 15\%$ при наличии упоминаний о достижимости 20% [6, 7], что не подходит под вышеописанные параметры системы.

В данной работе рассматривается излучатель АР, построенный на основе модификации классической реализации ортомодового селектора. При этом, представленный вариант реализации селектора в составе излучателя отличается меньшими габаритами и лишь незначительно уступает классической реализации в параметрах широкополосности. Подобно классической реализации, структура содержит регулярный осесимметричный волновод, к которому со стороны короткозамкнутой стенки подключаются четыре ответвления. Отличие состоит в том, что подключаемые волноводы ориентированы в том же направлении, что и основной, по сравнению с ортогональной ориентацией в классической

реализации. В связи с указанной модификацией, основной волновод вблизи места подключения должен иметь в сечении форму квадрата, а для сближения частотных рабочих полос основного волновода и ответвлений (в пределах низшего типа колебания) необходимо сблизить их ширины, что достигается при уменьшении высоты подключаемых волноводов. На рисунке 1 представлено изображение предлагаемого решения ортомодового селектора в сечении и в изометрическом виде (со стороны основного волновода и подключаемых).

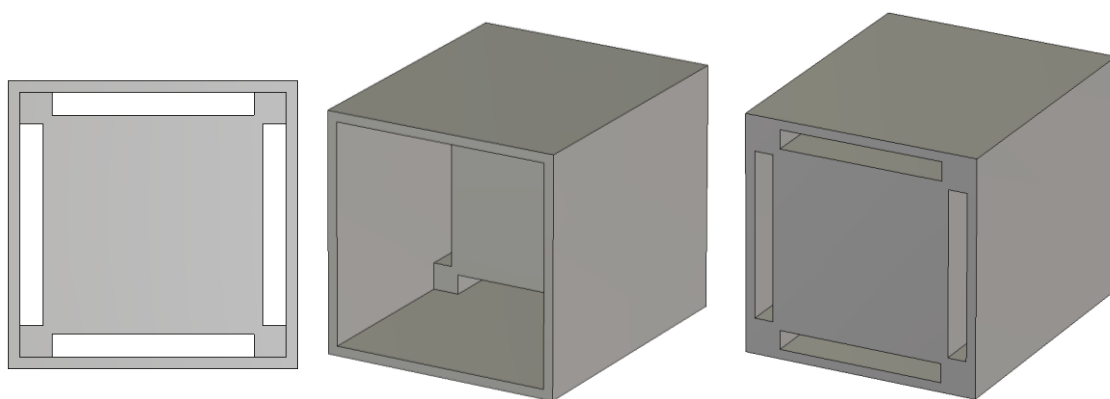


Рис. 1. Структура предлагаемого ортомодового селектора в сечении и в изометрическом виде.

Для обеспечения согласования подключаемых волноводов с основным предлагается использование ступенчатого трансформатора. В результате расчетов и оптимизации параметров, согласующая ступенчатая структура принимает пирамидальный вид. Продольное сечение ортомодового селектора с согласующей структурой ступенчатого трансформатора приведено на рисунке 2.

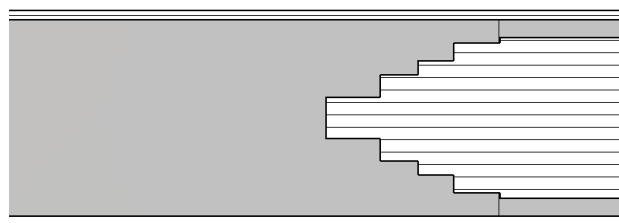


Рис. 2. Продольное сечение ортомодового селектора с согласующей структурой ступенчатого трансформатора.

Необходимым элементом исследуемого единичного излучателя АР также являются делители/сумматоры, предназначенные для питания излучателя

по двум ортогональным поляризациям. На рисунке 3 представлены сечения излучателя с ортомодовым селектором в двух ортогональных плоскостях.

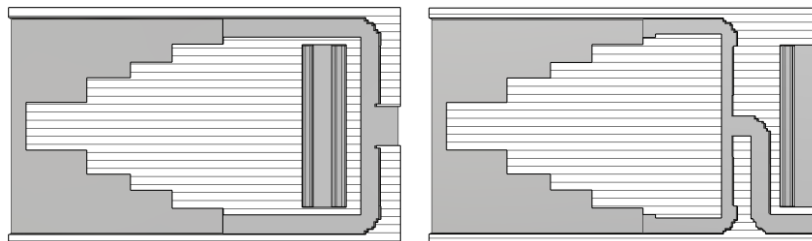


Рис. 3. Сечения излучателя с ортомодовым селектором в двух ортогональных плоскостях.

Таким образом, предлагаемая структура излучателя состоит из короткого отрезка волновода с квадратным сечением, ортомодового селектора и двух сумматоров/делителей.

На рисунке 4 представлен изометрический вид излучателя со стороны открытого пространства и со стороны подключения диаграммо-образующей схемы АР.

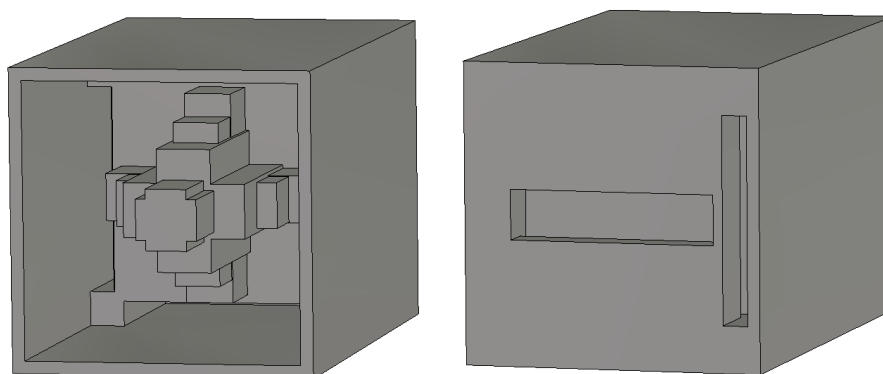


Рис. 4. Изометрический вид излучателя со стороны открытого пространства и со стороны подключения диаграммо-образующей схемы АР.

Излучатель имеет два входа для ортогональных линейных составляющих сигнала. При использовании предлагаемого излучателя, блок-схема АР с управляемой поляризацией для работы в двух отдельных поддиапазонах (рисунок 5), должна содержать сеть деления, диплексоры и поляризаторы.

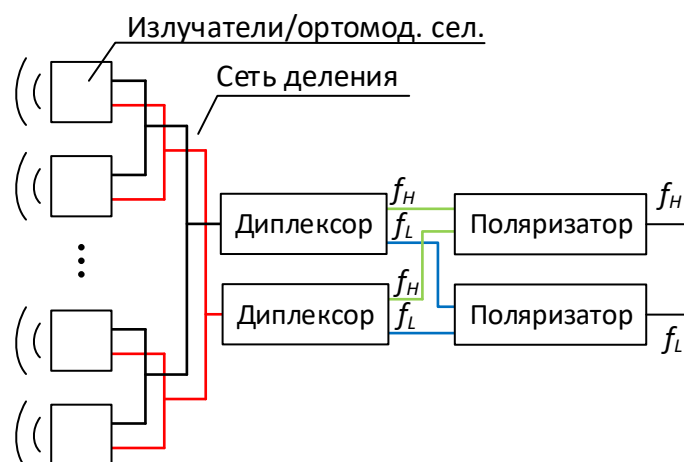


Рис. 5. блок-схема АР с управляемой поляризацией для работы в двух отдельных поддиапазонах.

При работе с управляемой линейной поляризацией, функция поляризатора должна заключаться в изменении соотношения амплитуд ортогональных составляющих сигналов, остающихся синфазными. При работе с управляемой круговой поляризацией – требуется менять соотношение фаз при равенстве амплитуд составляющих.

С целью учета взаимного влияния соседних элементов, был проведен расчет диаграммы направленности центрального излучателя в составе решетки излучателей размерностью 3x3 элемента, при условии согласования выходов смежных излучателей.

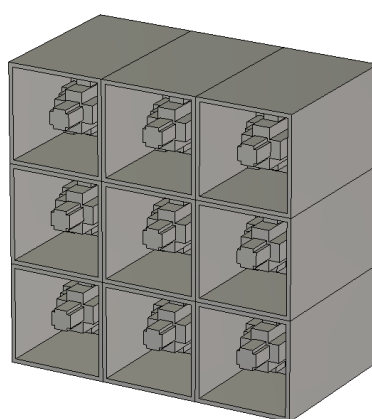


Рис. 6. Решетка излучателей размерностью 3x3 элемента.

Сечения диаграмм направленности предлагаемого излучателя при рассмотрении только одной составляющей поляризации (с одного входа), на частотах 11 и 14ГГц, приведены на рисунках 7 и 8 соответственно.

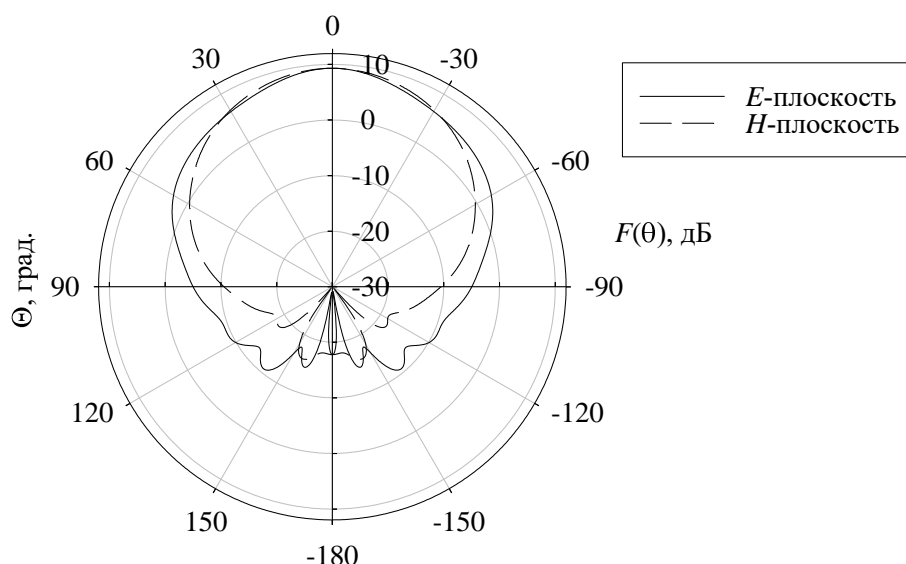


Рис. 7. Сечения диаграммы направленности предлагаемого излучателя на частоте 11 ГГц.

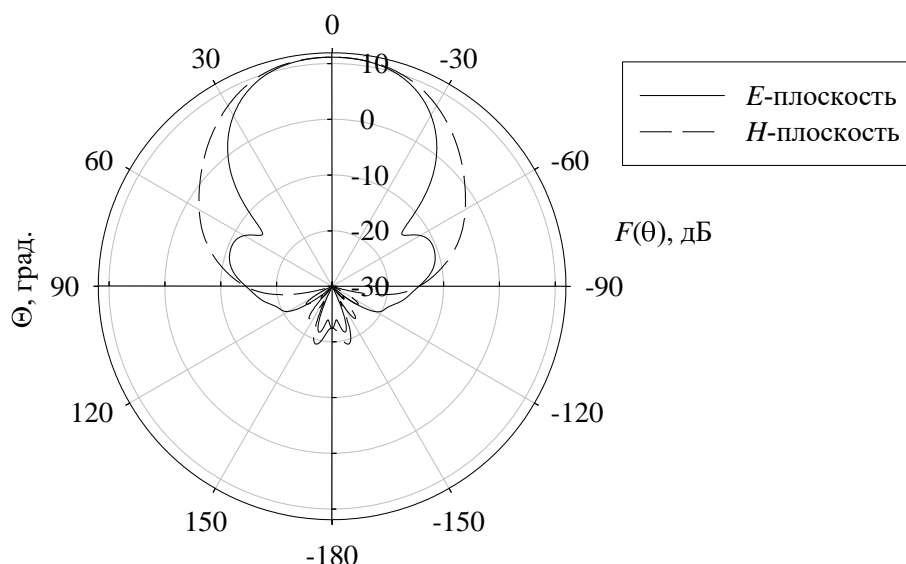


Рис. 8. Сечения диаграммы направленности предлагаемого излучателя на частоте 14 ГГц.

КНД единичного излучателя на частоте 11 ГГц составил 9,5 дБ, на частоте 14 ГГц – 11,1 дБ. Диаграммы направленности со второго входа качественно не отличаются, с той лишь разницей что вышеприведенные сечения соответствуют ортогональным в пространстве плоскостям.

Зависимость коэффициента отражения для излучателя в вышеуказанной конфигурации, для каждого из входов, представлена на рисунке 9.

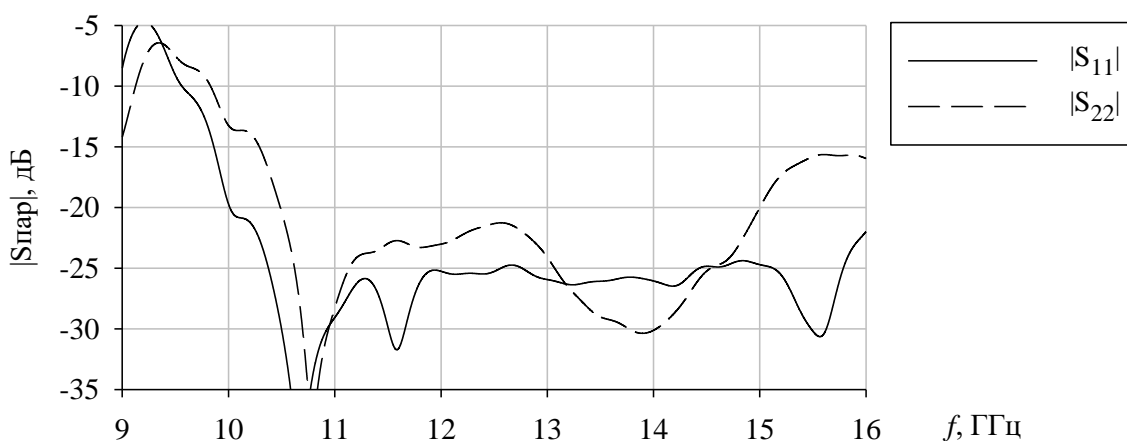


Рис. 9. Зависимость коэффициента отражения исследуемого излучателя каждого из входов.

Может быть отмечено, что низкий уровень коэффициента отражения (< -20 дБ) для наихудшей из характеристик сохраняется на частотах от 10,5 до 15 ГГц, что удовлетворяет требуемым рабочим частотам АР для спутниковой связи в Ku-диапазоне.

Диаграмма направленности решетки 16x16 элементов, на частоте 14 ГГц приведена на рисунке 10. Расчет ДН АР осуществлен с использованием множителя решетки с учетом ДН центрального излучателя из сегмента размерностью 3x3.

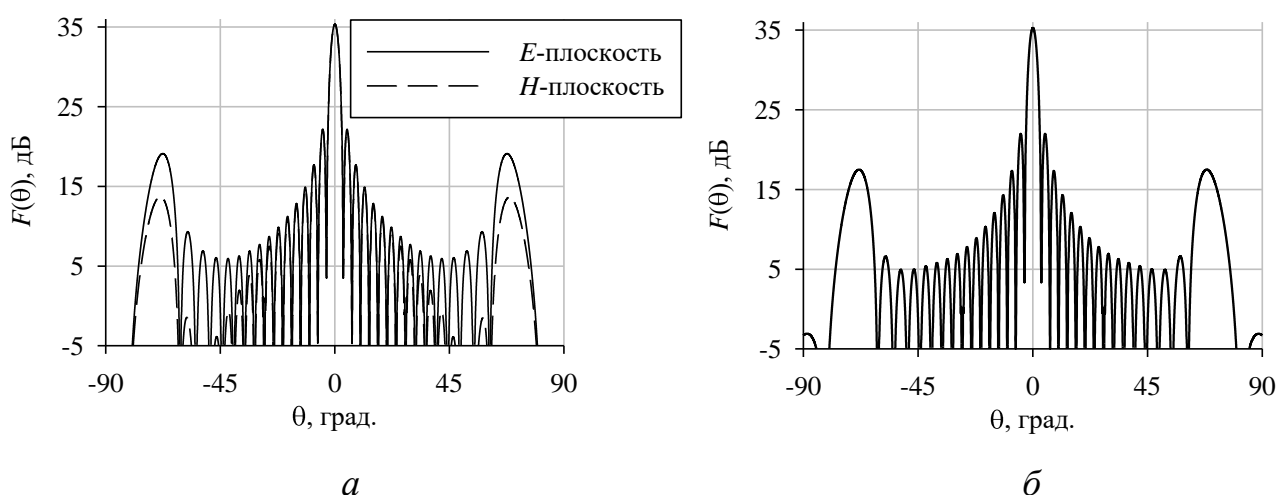


Рис. 10. Сечения диаграммы направленности АР 16x16 на частоте 14 ГГц, где (а) – для линейной поляризации, (б) – для круговой.

Уровень первого бокового лепестка соответствует теоретическому для равноамплитудного распределения. При рассмотрении только одной составляющей поляризации (с одного входа), ожидаемо большая амплитуда

дифракционных лепестков наблюдается в плоскости H , которая составляет 13,3дБ. В случае формирования круговой поляризации, амплитуда дифракционного максимума: – 17,6 дБ. Направление дифракционных максимумов на указанной частоте, для используемого шага AP , составило ≈ 64 градуса от нормали. На частотах поддиапазона 11ГГц, в связи с меньшим электрическим расстоянием между соседними излучателями, дифракционные максимумы отсутствуют.

При применении предлагаемой структуры в составе AP для работы с геостационарными спутниковыми системами, требуется выдерживать требования по боковому излучению по направлению на геостационарную орбиту. Наличие вышеуказанных дифракционных максимумов мешает такому применению. Является известным [8], что в одной из плоскостей ДН возможно осуществить подавление дифракционных максимумов за счет размещения облучателей в узлах треугольной (гексагональной) сетки. Построение AP такого типа возможно осуществить при сдвиге элементов в смежных рядах (строках) на половину шага решетки относительно ранее рассмотренной конфигурации. На рисунке 11 представлена иллюстрация структуры AP со сдвигом смежных строк.

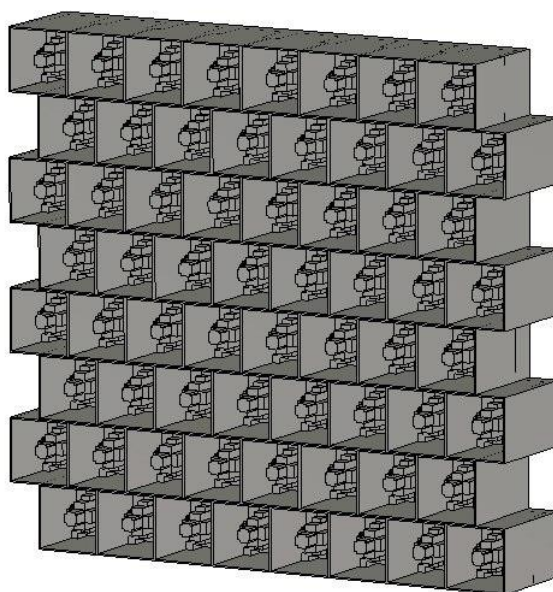


Рис. 11. Решетка излучающих элементов 8×8 с чересстрочным сдвигом.

ДН в плоскости подавления дифракционных максимумов, при различных случаях возбуждения портов, когда данная плоскость может являться плоскостью E либо плоскостью H , представлена на рисунке 12:

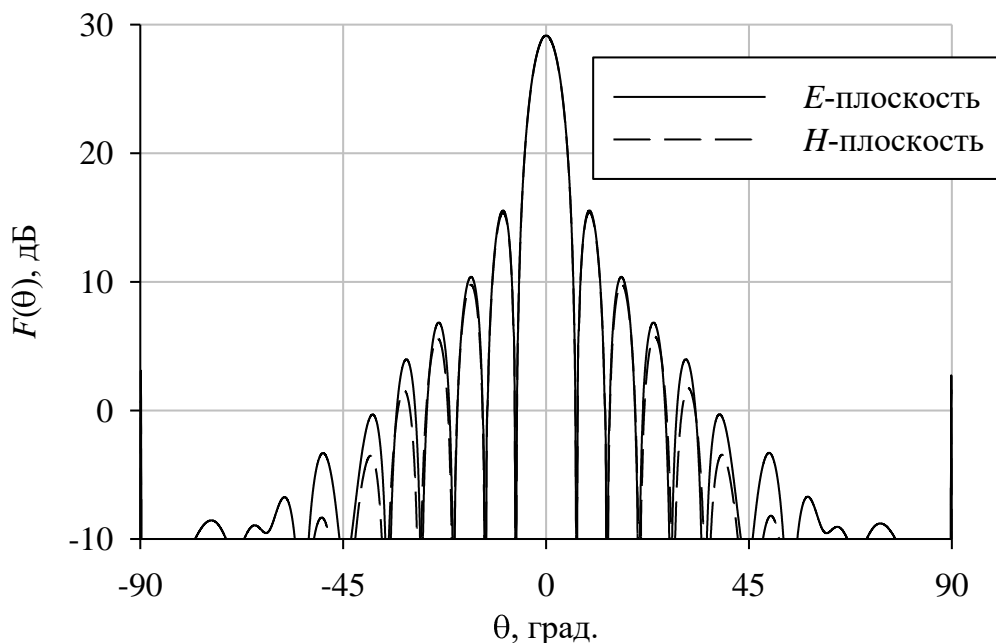


Рис. 12. ДН АР в плоскости подавления дифракционных максимумов.

Вышеприведенные ДН демонстрируют успешное подавление дифракционных максимумов. В ортогональной же плоскости их подавление, ожидаемо, не происходит.

Кроме основного предлагаемого применения, при дополнении рупором, исследуемая структура может быть рассмотрена к применению в качестве облучателя зеркальных антенн либо в качестве отдельной антенны с управляемой поляризацией.

Заключение

Предлагаемая структура излучателя АР демонстрирует работу в широкой полосе частот с коэффициентом перекрытия не менее 1,4. Во всей рабочей полосе частот обеспечивается низкий уровень коэффициента отражения и возможность управления вектором поляризации. При этом тип и направление поляризации будут зависеть только от амплитуд и фаз возбуждающих колебаний. Чересстрочное построение АР, с использованием излучающего

элемента предлагаемого типа, позволяет подавлять дифракционные максимумы. Таким образом, предлагаемая структура может являться основой для разработки АР наземных терминалов спутниковой связи.

Финансирование: исследование выполнено в рамках государственного задания ФГАОУ ВО Сибирский федеральный университет (номер FSRZ-2023-0008).

Литература

1. Москвич Е. Гендиректор ИСС Решетнева: мы разрабатываем пять спутниковых группировок для «Сферы» // Информационное агентство ТАСС, интервью. 11 ноября 2022. URL: <https://tass.ru/interviews/16292261> (дата обращения: 02.10.2023).
2. Станции земные вида ВИСАТ (VSAT) спутниковых сетей связи. Основные технические требования. Стандарт отрасли: ОСТ 45.98-98. – Введ. 1999-07-01. – М.: ЦНТИ «Информсвязь», 1999. – 22 с.
3. Navarrini A., Plambeck R.L. «A turnstile junction waveguide orthomode transducer,» in IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, vol. 54, no. 1, pp. 272-277, Jan. 2006, <https://doi.org/10.1109/TMTT.2005.860505>.
4. Tribak A., Cano J.L., Mediavilla A., Boussouis M. «Octave Bandwidth Compact Turnstile-Based Orthomode Transducer,» in IEEE Microwave and Wireless Components Letters, vol. 20, no. 10, pp. 539-541, Oct. 2010, <https://doi.org/10.1109/LMWC.2010.2060261>.
5. Заргано Г.Ф., Ляпин В.П., Михалевский В.С., и д. Волноводы сложных сечений. – М.: Радио и связь, 1986. – 124 с.
6. Dubrovka F.F., Piltyay S.I., Dubrovka R.R., Lytvyn M.M., Lytvyn S.M. «Optimum septum polarizer design for various fractional bandwidths», Radioelectronics and Communications Systems, vol. 63, pp. 15-23, January 2020.
7. Dubrovka F., Piltyay S., Sushko O., Dubrovka R., Lytvyn M., Lytvyn S. «Compact X-band Stepped-Thickness Septum Polarizer,» 2020 IEEE Ukrainian Microwave Week (UkrMW), Kharkiv, Ukraine, 2020, pp. 135-138, <https://doi.org/10.1109/UkrMW49653.2020.9252583>.

8. Сазонов Д.М. Антенны и устройства СВЧ: Учеб. для радиотехнич. спец. вузов.
– М.: Высш. шк., 1988.– 432 с.

Для цитирования:

Рязанцев Р.О., Саломатов Ю.П., Поленга С.В., Ерохин А.А., Гафаров Е.Р. Широкополосный элемент антенной решетки СВЧ диапазона с управляемой поляризацией. // Журнал радиоэлектроники. – 2023. – №. 12. <https://doi.org/10.30898/1684-1719.2023.12.22>