

[0000-0002-6927-8663] **С. И. Пильтай**¹, к.т.н., доцент,

e-mail: s.piltiai@kpi.ua

[0000-0002-4987-4978] **А. В. Булашенко**¹, ст. преподаватель,

e-mail: a.bulashenko@kpi.ua

[0000-0003-3895-8807] **И. В. Фесюк**¹, студентка,

e-mail: irinkafes255@gmail.com

[0000-0002-56486658] **А. В. Булашенко**², студент

e-mail: alex.bulashenko2020@gmail.com

¹Национальный технический университет Украины
«Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»,
просп. Победы, 37, г. Киев, 03056, Украина

²Шосткинский профессиональный колледж имени Ивана Кожедуба
Сумского государственного университета
ул. Институтская, 1, г. Шостка, Сумская обл., 41100, Украина

КОМПАКТНЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ПОЛЯРИЗАЦИИ ДЛЯ СПУТНИКОВЫХ АНТЕННЫХ СИСТЕМ

В статье приведена методика разработки и оптимизации поляризационного устройства на основе квадратного волновода. Внутренняя структура предложенного устройства поляризации состоит из реактивных элементов в виде трех диафрагм на основе квадратного волновода. Было выполнено оптимизацию поляризатора для его применения в рабочем диапазоне частот от 13,0 ГГц до 14,4 ГГц. Сконструированный поляризатор на основе квадратного волновода поддерживает дифференциальный фазовый сдвиг $90^\circ \pm 4,4^\circ$, коэффициент стоячей волны по напряжению менее 2,04, коэффициент эллиптичности менее 0,6 дБ, кроссполяризационную развязку выше 29,5 дБ. В результате разработанное устройство преобразования поляризации обеспечивает достаточно хорошие электромагнитные характеристики в рабочем К-диапазоне частот 13,0–14,4 ГГц.

Ключевые слова: поляризатор, волноводный поляризатор, диафрагма, волновод, дифференциальный фазовый сдвиг, коэффициент эллиптичности, кроссполяризационная развязка.

Введение. Широкое распространение сегодня получили беспроводные мобильные и спутниковые системы связи. Они все чаще используют новые технологии для увеличения емкости каналов связи, что дает возможность повторно использовать частотные ресурсы [1]. В системах связи 5G для увеличения информационной емкости систем используются технологии D2D, M2M, OFDM и технологии пространственного разнесения [2–8].

Поляризационная обработка сигналов применяется для повторного использования частотного ресурса в спутниковых системах. Применение сигналов с круговой поляризацией уменьшает эффект замирания и устраняет интерференционные помехи сигналов, которые появляются за счет многолучевого распространения. Для каждого отражения сигнала, что отражаются от поверхности Земли или от других объектов, изменяют свою поляризацию на ортогональную. В результате уро-

вень искажений сигналов с непарным числом отражений в приемные антенны будет несущественным. В случае использования ортогональных поляризаций информационная емкость беспроводного канала связи в два раза увеличивается.

Тип поляризации электромагнитной волны имеет важное влияние на особенности процесса ее распространения в беспроводном канале связи. Поляризационная обработка сигналов используется в антенных системах. Такие системы дают возможность передавать и принимать одновременно сигналы с разными типами поляризации. Базовым элементом таких систем являются устройства обработки поляризации. Характеристики поляризаторов оказывают существенное влияние на работу всей системы. Таким образом, разработка и оптимизация характеристик новых волноводных поляризаторов для излучателей спутниковых антенн является

важным инженерным заданием, что решается в предложенной статье.

Цель исследования – разработка нового волноводного поляризатора с диафрагмами и оптимизация его электромагнитных характеристик для спутникового диапазона частот 13,0–14,4 ГГц.

Анализ последних исследований. Поляризаторы с перегородками являются одним из распространенных типов волноводных поляризаторов [9–10]. Главным преимуществом таких поляризаторов является компактная конструкция, которая объединяет ортомодовый преобразователь и поляризатор, а главным недостатком – узкая полоса пропускания, которая ограничивает сферу его использования в современных системах спутниковой связи. В [9] получено, что относительная ширина полосы пропускания устройства может достигнуть лишь 20 % при условии, что система питания антенн должна обеспечить одновременно изоляцию более 25 дБ и кроссполяризационную изоляцию больше 30 дБ.

Альтернативные конструкции поляризаторов – конструкции с реактивными элементами в виде диафрагм [11–25]. Причинами являются более широкая полоса пропускания и лучшие электромагнитные характеристики таких устройств. В антенных системах двойной поляризации вместе с волноводными поляризаторами используют ортомодовый преобразователь [11]. Более того, архитектура поляризационного устройства с диафрагмами имеет осевую симметрию и две зеркальные плоскости симметрии. Эта особенность позволяет улучшить качество поляризации и дает возможность конструировать такие поляризаторы с помощью фрезерования на станках с числовым управлением.

В работах [12, 13] даны результаты разработки компактных волноводных поляризаторов с двухгранной симметрией. В конструкции содержатся резонансные диафрагмы с прорезями. Для определения наилучших электромагнитных характеристик применяется многопараметрическая оптимизация в различных частотных диапазонах.

Аналитический метод анализа фазовых, согласующих и поляризационных характеристик волноводных поляризаторов с диафрагмами был предложен в работе [14]. Предложенная методика базируется на основе микроволновых матриц рассеивания и пере-

дачи. Для проверки представленного метода на их основе был разработан поляризатор с двумя диафрагмами на основе квадратного волновода. Для этого устройства в рабочем диапазоне частот от 7,4 ГГц до 8,5 ГГц были получены электромагнитные характеристики. Его дифференциальный фазовый сдвиг изменяется в пределах $90^\circ \pm 8^\circ$. Максимальное значение коэффициента эллиптичности составляет 1,6 дБ, а минимальное значение кроссполяризационной развязки – 21,5 дБ. В научных статьях [15–18] были разработаны поляризационные устройства на основе квадратного волновода с разным количеством диафрагм. Наилучшие характеристики обеспечил поляризатор с пятью диафрагмами в рабочем Ku-диапазоне частот. В статье [19] показана возможность использования «оптической активности», которая возникает при взаимодействии полей на связанных диафрагмах. Такая конструкция позволяет изменять положение плоскости поляризации за счет изменения положения диафрагм. Параметрический метод синтеза волноводных поляризаторов с диафрагмами был представлен в [20]. Разработанный метод синтеза был верифицирован в рабочем S-диапазоне частот 3,4–4,2 ГГц. Предложенный преобразователь поляризации поддерживает дифференциальный фазовый сдвиг $90^\circ \pm 4,0^\circ$. Максимальное значение коэффициента эллиптичности принимает значение 1,6 дБ, а минимальное значение уровня кроссполяризационной развязки – 28 дБ.

Авторы статьи [21] предложили новую методику расчета перестраиваемых волноводных поляризаторов со штырями. Разработанная методика использует теорию волновых матриц рассеивания и передачи. Для проверки корректности предложенной модели был разработан поляризатор с тремя штырями на основе квадратного волновода [22]. В рабочем диапазоне частот 8,0–8,5 ГГц устройство поддерживает дифференциальный фазовый сдвиг $90^\circ \pm 5,4^\circ$. При этом коэффициент стоячей волны по напряжению не превышает 1,3. Максимальное значение кроссполяризационной развязки составляет 26,5 дБ. В [23] был разработан волноводный поляризатор с тремя штырями в диапазоне частот 7,7–8,5 ГГц. В предложенном устройстве диапазон изменения дифференциального фазового сдвига составляет $90^\circ \pm 2,2^\circ$. Кроме того, макси-

мальное значение коэффициента эллиптичности составляет 0,4 дБ, а минимальное значение кроссполяризационной развязки излучения – 29 дБ.

Метод расчета волноводных поляризаторов с диафрагмами и штырями был разработан в [24]. Предложенный метод может широко применяться для разработки новых перестраиваемых волноводных фильтров, фазосдвигателей и устройств обработки поляризации. Разработанные секции волновода можно настраивать благодаря изменению длины штырей. В результате были сконструированы две волноводные секции, которые обеспечивали следующие дифференциальные фазовые сдвиги: $30^\circ \pm 0,7^\circ$ и $45^\circ \pm 1,75^\circ$. В [25] на их основе были разработаны настраиваемые поляризаторы на основе квадратного волновода. Представленные устройства преобразования поляризации в рабочем X-диапазоне частот поддерживают следующие электромагнитные характеристики. Дифференциальный фазовый сдвиг поддерживается в пределах $90^\circ \pm 3,25^\circ$. Максимальный уровень коэффициента эллиптичности составляет 0,5 дБ, а минимальный уровень кроссполяризационного излучения – 31 дБ. Недостатком предложенных поляризационных устройств являются большие габариты и сложность конструкции.

Более того, рассмотренные методы разработки поляризаторов также широко применяются для анализа различных фильтров и фазосдвигающих устройств СВЧ [26–27].

Волновод с осевой симметрией имеет лучшую симметрию структуры и меньшие поляризационные искажения. Примером таких структур являются волноводы с четырьмя ребрами [28]. Коаксиальные и ортомодовые преобразователи [29–31] основаны на таких структурах. В [29] дана конструкция ортомодового преобразователя с четырьмя ребрами для С-диапазона. Архитектура состоит из двух наборов одинаковых ортогональных ребер, которые находятся в круглом волноводе. Представленное устройство поддерживает обратные потери не более -15 дБ при кроссполяризационном излучении –40 дБ в рабочей полосе частот 4,0–8,5 ГГц. Конструкция устройства поляризации с двумя диагональными гребнями и выходной диафрагмой на основе отрезка квадратного волновода представлена в [31]. Устройство поддерживает полосу про-

пускания 13 %. Максимальный уровень коэффициента эллиптичности составляет 1 дБ, а минимальное значение уровня кроссполяризационного излучения – 27 дБ. В [32] представлен численный алгоритм анализа и оптимизации поляризационных устройств с большой полосой пропускания. Такие поляризаторы состоят из симметрично расположенных прямоугольных гребней в коаксиальном волноводе. Был предложен метод поэтапного приближения. В результате были определены факторы, что влияют на точность расчетов. Математическая модель секторальных коаксиально-ребристых волноводов предложена в [33]. Такие устройства применяются в двухдиапазонных устройствах обработки поляризации. В [34] были получены математические модели с помощью метода интегральных уравнений. Анализ характеристик собственных волн коаксиальных волноводов с четырьмя ребрами осуществлен в работах [35–37]. В результате были разработаны двухдиапазонные коаксиальные ортомодовые преобразователи. В [37] была представлена конструкция системы питания антенн на основе цилиндрического волновода. Разработанная система имеет встроенную структуру устройства преобразования поляризации, которая обеспечивает симметричную схему излучения круговой поляризации. Конструкция состоит из девяти пар каналов, которые обеспечивают формирование поляризованных волн. Рассмотренная система питания антенны поддерживает максимальное значение коэффициента эллиптичности 1,2 дБ в рабочем диапазоне частот 79,5–88 ГГц. Ключевым недостатком предложенного устройства является сложность изготовления.

Поэтому целью статьи является разработка нового простого поляризатора с диафрагмами на основе квадратного волновода и оптимизация его электромагнитных характеристик для телекоммуникационных систем диапазона частот 13,0–14,4 ГГц.

Модель поляризатора. Трехмерная модель поляризатора с тремя диафрагмами на основе квадратного волновода представлена на рисунке 1. Тут представлены обозначения всех размеров конструкции. Две внутренние диафрагмы имеют одинаковую высоту h_1 . Они должны быть ниже центральной диафрагмы, что имеет высоту h_2 . Толщина всех диафрагм составляет w , а расстояние между ними – L_1 .

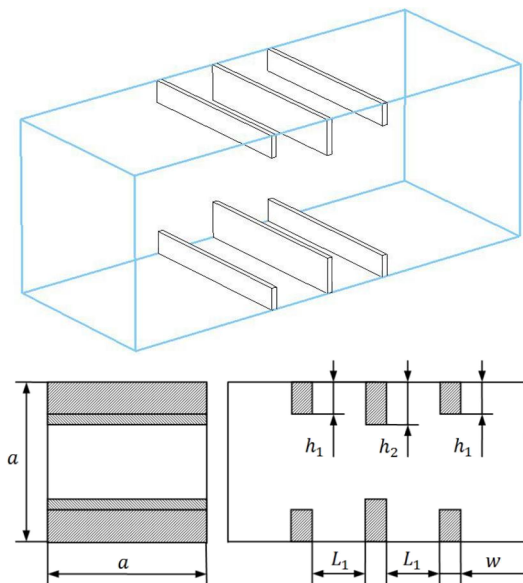


Рисунок 1 – Трехмерная модель квадратного волноводного поляризатора с тремя диафрагмами

С помощью метода эквивалентных цепей СВЧ [38, 39] и метода волновых матриц рассеивания и передачи [20] были рассчитаны элементы матрицы рассеивания разработанного устройства. Основные электромагнитные характеристики были выражены через элементы этой матрицы.

Базовыми электромагнитными характеристиками являются фазовая, согласующая и поляризационные характеристики. Среди них необходимо выделить дифференциальный фазовый сдвиг, максимальный уровень коэффициента стоячей волны по напряжению (КСВН) для вертикальной и горизонтальной поляризаций, максимальный уровень коэффициента эллиптичности, минимальный уровень кроссполяризационной развязки (КПР).

На выходе устройства поляризации дифференциальный фазовый сдвиг определяется выражением

$$\Delta\varphi = \arg(S_{21\Sigma L}) - \arg(S_{21\Sigma C}), \quad (1)$$

где $S_{21\Sigma L}$ и $S_{21\Sigma C}$ – элементы общей матрицы рассеивания для индуктивной и емкостной диафрагм соответственно.

Аналитическое выражение для расчета КСВН имеет следующий вид:

$$КСВН = \frac{1 + |S_{\Sigma 11}|}{1 - |S_{\Sigma 11}|}. \quad (2)$$

Математическое выражение для коэффициента эллиптичности будет следующим:

$$k = 10 \lg \frac{A^2 + B^2 + \sqrt{A^4 + B^4 + 2A^2B^2 \cos(2\Delta\varphi)}}{A^2 + B^2 - \sqrt{A^4 + B^4 + 2A^2B^2 \cos(2\Delta\varphi)}},$$

где $A = |S_{21\Sigma L}|$, $B = |S_{21\Sigma C}|$.

Математическая формула для расчета КПР примет следующий вид:

$$КПР = 20 \lg \left(\frac{10^{0,05k} + 1}{10^{0,05k} - 1} \right). \quad (3)$$

На первом этапе процесса оптимизации поляризационного устройства начальные значения геометрических размеров определяем по методике [39]. Поскольку разрабатываемое устройство должно работать в рабочем диапазоне частот 13,0–14,4 ГГц, то размер стенки квадратного волновода будет в диапазоне от 14 мм до 29 мм. Центральной частотой диапазона является 11,75 ГГц. На этой частоте длина волны в волноводе рассчитывается по формуле

$$\lambda_B = \frac{c/f_0}{\sqrt{1 - \left(\frac{c/f_0}{2a}\right)^2}}. \quad (4)$$

Начальное значение расстояния между диафрагмами определяется выражением

$$L = \frac{\lambda_B}{4}. \quad (5)$$

Размер окна диафрагмы определяется выражением

$$d = a - 2h. \quad (6)$$

Начальное значение высот диафрагм определяется из соотношения

$$h = (0.1 \div 0.3) \cdot a. \quad (7)$$

Процесс оптимизации осуществляется по следующей методике [40]. На начальном этапе благодаря изменению размера стенки волновода достигаем значения производной дифференциальной фазы по частоте, равной нулю. Потом за счет изменения высот диафрагм достигаем, чтобы значение дифференциального фазового сдвига было как можно ближе к 90° . Затем благодаря изменению расстояния между диафрагмами добиваемся, чтобы был минимальный уровень КСВН вертикальной и горизонтальной поляризаций.

Результаты оптимизации. Будем использовать метод волновых матриц рассеивания и метод эквивалентных микроволновых схем для моделирования и оптимизации электромагнитных характеристик поляризаторов

на основе квадратного волновода с тремя диафрагмами. В разделе представлены результаты численного моделирования предложенного метода.

Для проверки правильности полученных результатов сравним электромагнитные характеристики, которые были получены предложенным методом, с теми же характеристиками, полученными методом конечного интегрирования во временной области и методом конечных элементов [41].

На рисунке 2 представлена зависимость дифференциального фазового сдвига оптимизированного поляризатора от частоты в Ки-диапазоне для трех методов. Подчеркнем, что дифференциальный фазовый сдвиг принимает значение $90^\circ \pm 4^\circ$, $90^\circ \pm 5^\circ$ и $90^\circ \pm 3^\circ$ для предложенного метода, метода конечного интегрирования и метода конечных элементов во всем рабочем диапазоне частот соответственно.

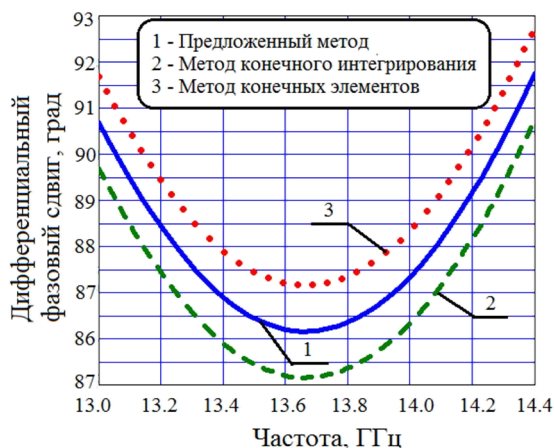


Рисунок 2 – Зависимость дифференциального фазового сдвига от частоты

Стоит отметить, что все три метода дают одинаковый результат с небольшими отклонениями. Подчеркнем, что на частотах 13,12 ГГц и 14,25 ГГц, 14,3 ГГц, 13,17 ГГц и 14,2 ГГц дифференциальный фазовый сдвиг равен 90° для трех предложенных методов соответственно. В рабочем диапазоне 13,0–14,4 ГГц дифференциальный фазовый сдвиг поляризатора изменяется от $85,0^\circ$ до $90,5^\circ$, от $86,0^\circ$ до $91,6^\circ$ и от $87,0^\circ$ до $93,0^\circ$. На частоте 11,36 ГГц можно увидеть максимальное отклонение дифференциального фазового сдвига от 90° на величины 4° , 3° и 5° для трех методов соответственно.

На рисунке 3 представлена зависимость КСВН оптимизированного поляризатора от частоты для горизонтальной поляризации в рабочем диапазоне 13,0–

14,4 ГГц для трех методов. Стоит отметить, что максимальное значение КСВН достигается на частоте 13,0 ГГц. При этом максимальный уровень КСВН принимает значения 2,04, 1,95, 2,2 для предложенного метода, метода конечного интегрирования и метода конечных элементов во всем рабочем диапазоне частот соответственно.

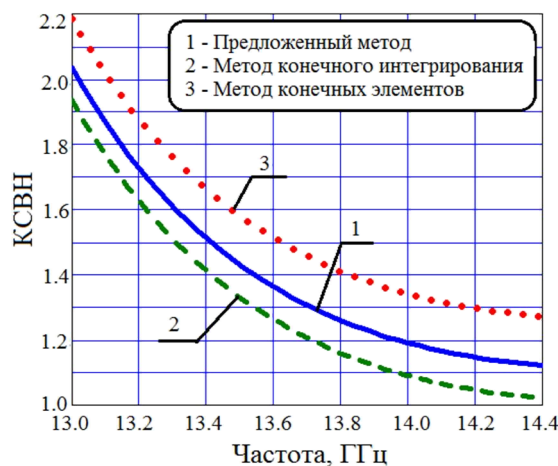


Рисунок 3 – Зависимость КСВН от частоты для горизонтальной поляризации

На рисунке 4 представлена зависимость КСВН оптимизированного поляризатора от частоты для вертикальной поляризации в рабочем диапазоне 13,0–14,4 ГГц для трех методов. Отметим, что максимальное значение КСВН достигается на частоте 13,0 ГГц. При этом максимальный уровень КСВН принимает значения 1,96, 2,06, 2,1 для предложенного метода, метода конечного интегрирования и метода конечных элементов во всем рабочем диапазоне частот соответственно.

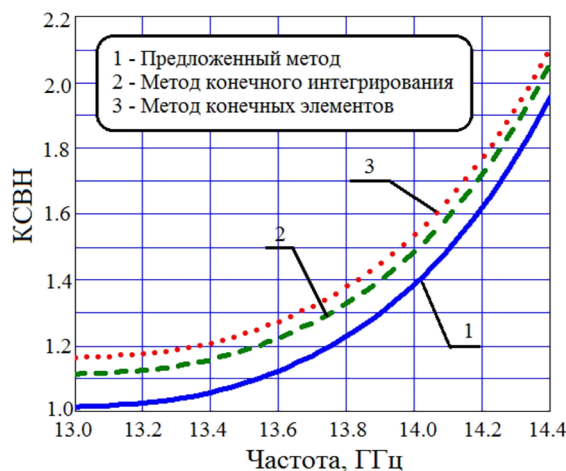


Рисунок 4 – Зависимость КСВН от частоты для вертикальной поляризации

Таким образом, для обеих поляризаций максимальные значения КСВН определяем по наибольшим значениям для вертикальной и горизонтальной поляризаций. При этом максимальный уровень КСВН принимает значения 2,04, 2,06, 2,2 для предложенного метода, метода конечного интегрирования и метода конечных элементов во всем рабочем диапазоне частот соответственно.

На рисунке 5 представлена зависимость коэффициента эллиптичности от частоты оптимизированного поляризатора для предложенного метода, метода конечного интегрирования и метода конечных элементов во всем рабочем диапазоне частот соответственно.

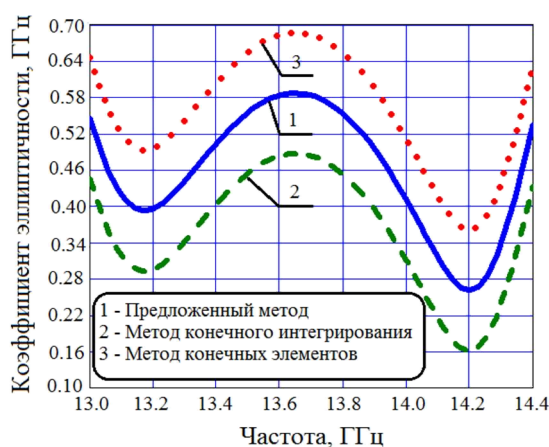


Рисунок 5 – Зависимость коэффициента эллиптичности от частоты

Отметим, что в диапазоне частот от 13,0 ГГц до 14,4 ГГц коэффициент эллиптичности разработанного поляризационного устройства принимает такие пиковые значения: 0,6 дБ, 0,5 дБ, 0,7 дБ для предложенного метода, метода конечного интегрирования и метода конечных элементов соответственно.

Зависимость кроссполяризационной развязки от частоты для разработанного устройства преобразования поляризации представлена на рисунке 6 для предложенного метода, метода конечного интегрирования и метода конечных элементов во всем рабочем диапазоне частот соответственно.

Подчеркнем, что в диапазоне частот от 13,0 ГГц до 14,4 ГГц минимальное значение кроссполяризационной развязки разработанного поляризационного устройства соответствует таким значениям: 29,5 дБ, 30,5 дБ, 27,4 дБ для предложенного метода, метода конечного интегрирования и метода конечных элементов соответственно.

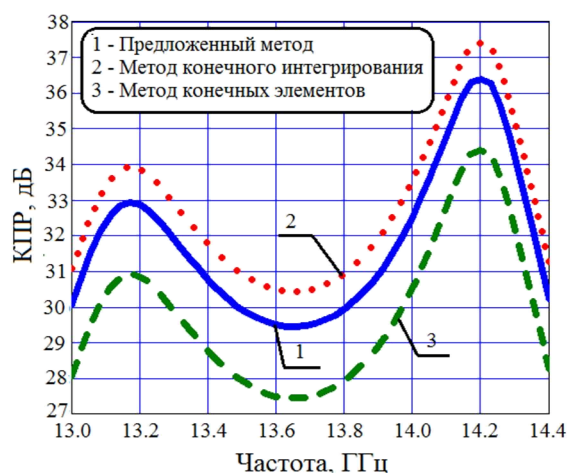


Рисунок 6 – Зависимость КПР от частоты для поляризатора с четырьмя диафрагмами

В результате в диапазоне частот от 13,0 ГГц до 14,4 ГГц разработанное устройство поляризации с тремя диафрагмами поддерживает следующие необходимые характеристики. Дифференциальный фазовый сдвиг находится в диапазоне $90^\circ \pm 4,0^\circ$. При этом максимальный уровень КСВН для вертикальной и горизонтальной поляризаций составляет 2,04. Пиковое значение коэффициента эллиптичности составляет 0,6 дБ, а минимальное значение КПР будет 29,5 дБ.

Результаты исследования и их обсуждение. Все геометрические размеры разработанного устройства обработки поляризации с тремя диафрагмами поляризатора сведены в таблицу для рабочего диапазона частот 13,0–14,4 ГГц (таблица 1).

Таблица 1 – Геометрические размеры разработанного поляризационного устройства

Размер	Значение
Величина стенки квадратного волновода	21,4 мм
Высота средней диафрагмы	3,82 мм
Высота крайних диафрагм	2,39 мм
Расстояние между диафрагмами	4,87 мм
Толщина всех диафрагм	2,75 мм

Для полученных размеров разработанного поляризационного устройства были получены базовые электромагнитные характеристики в диапазоне частот 13,0–14,4 ГГц с помощью предложенного метода, метода конечного интегрирования и метода конечных элементов соответственно, которые представлены в таблицах 2–4.

Таблица 2 – Электромагнитные характеристики устройства преобразования поляризации, полученные предложенным методом

Характеристика	Значение
Дифференциальный фазовый сдвиг	$90^\circ \pm 4,0^\circ$
Максимальный КСВН	2,04
Коэффициент эллиптичности	0,6 дБ
Минимальная КПП	29,5 дБ

Таблица 3 – Электромагнитные характеристики устройства преобразования поляризации, полученные методом конечного интегрирования

Характеристика	Значение
Дифференциальный фазовый сдвиг	$90^\circ \pm 3,0^\circ$
Максимальный КСВН	2,06
Коэффициент эллиптичности	0,5 дБ
Минимальная КПП	30,5 дБ

Таблица 4 – Электромагнитные характеристики устройства преобразования поляризации, полученные методом конечных элементов

Характеристика	Значение
Дифференциальный фазовый сдвиг	$90^\circ \pm 5,0^\circ$
Максимальный КСВН	2,2
Коэффициент эллиптичности	0,7 дБ
Минимальная КПП	27,4 дБ

Из таблиц 2–4 видно, что разработанное устройство преобразования поляризации с тремя диафрагмами обеспечивает удовлетворительное согласование в телекоммуникационных системах. Отметим, что разница в максимальном отклонении значения дифференциального фазового сдвига для всех методов не превышает 1° . Кроме того, значение КСВН, которое получено тремя методами, не отличается больше, чем на 1,4, а разница между максимальными значениями коэффициента эллиптичности составляет 0,1 дБ. Поэтому, сконструированный преобразователь поляризации с тремя диафрагмами поддерживает удовлетворительное согласование, хорошие фазовые и поляризационные характеристики во всем рабочем диапазоне частот.

Выводы. В статье предложена методика оптимизации поляризационных устройств с диафрагмами. С помощью этой методики было создано устройство обработки поляри-

зации с тремя диафрагмами для спутниковых антенных систем в диапазоне частот 13,0–14,4 ГГц.

Представленное устройство поддерживает следующие электромагнитные характеристики. Поляризатор обеспечивает дифференциальный фазовый сдвиг $90^\circ \pm 3,5^\circ$. При этом пиковое значение коэффициента стоячей волны по напряжению составляет 2,04. Максимальный уровень коэффициента эллиптичности составляет 0,6 дБ, а минимальный уровень КПП – 29,5 дБ. Более того, результаты расчетов были проведены с помощью метода конечного интегрирования и метода конечных элементов, которые хорошо согласуются с разработанным методом.

Список использованных источников

- [1] W. L. Stutzman, *Polarization in electromagnetic systems*. Artech House, Norwood, 2018.
- [2] A. Bulashenko, S. Piltyay, A. Polishuk, and O. Bulashenko, "New traffic model of M2M technology in 5G wireless sensor networks", in *IEEE 2nd Int. Conf. on Advanced Trends in Information Theory*, Kyiv, 2020, pp. 125-131. doi: 10.1109/ATIT50783.2020.9349305.
- [3] A. V. Bulashenko, S. I. Piltyay, and I. V. Demchenko, "Energy efficiency of the D2D direct connection system in 5G network", in *IEEE Int. Conf. on Problems of Infocommunications. Science and Technology*, Kharkiv, 2020, pp. 324-329.
- [4] S. I. Piltyay, A. V. Bulashenko, and I. V. Demchenko, "Wireless sensor networks connectivity in heterogeneous 5G mobile systems", in *IEEE Int. Conf. on Problems of Infocommunications. Science and Technology*, Kharkiv, 2020, pp. 508-513.
- [5] А. В. Булашенко, "Оцінка зв'язності D2D комунікацій у мережах 5G", *Вісник НТУУ "КПІ". Серія: Радіотехніка, Радіоапаратобудування*, № 81, с. 21-29, 2020. doi: 10.20535/RADAP.2020.81.21-29.
- [6] А. В. Булашенко, "Розподіл ресурсів для пристроїв малої потужності технології M2M в мережах 5G", *Наукові вісті КПІ*, вип. 3, с. 7-13, 2020. doi: 10.20535/kpi-sn.2020.3.203863.
- [7] O. Yu. Myronchuk, A. A. Shpylka, and S. Ya. Zhuk, "Two-stage method for joint estimation of information symbols and channel frequency response in OFDM com-

- munication systems", *Radioelectron. Commun. Syst.*, vol. 63, no. 1, pp. 418-429, 2020. doi: 10.3103/S073527272008004X.
- [8] O. Myronchuk, O. Shpylka, and S. Zhuk, "Algorithm of channel frequency response estimation in orthogonal frequency division multiplexing systems based on Kalman filter", in *IEEE 15th Int. Conf. on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering*. Lviv-Slavske, 2020. doi: 10.1109/TCSET49122.2020.235385.
- [9] F. Dubrovka, S. Piltyay, O. Sushko, R. Dubrovka, M. Lytvyn, and S. Lytvyn, "Compact X-band stepped-thickness septum polarizer", in *IEEE Ukrainian Microwave Week*, Kharkiv, 2020, pp. 135-138. doi: 10.1109/UkrMW49653.2020.9252583.
- [10] F. Dubrovka, S. Martunyuk, R. Dubrovka, M. Lytvyn, S. Lytvyn, Yu. Ovsianyk, S. Piltyay et al., "Circularly polarised X-band H11- and H21-modes antenna feed for monopulse autotracking ground station", in *IEEE Ukrainian Microwave Week*, Kharkiv, 2020, pp. 196-202. doi: 10.1109/UkrMW49653.2020.9252600.
- [11] F. F. Dubrovka, and S. I. Piltyay, "A novel wideband coaxial polarizer", in *IEEE Int. Conf. on Antenna Theory and Techniques*, Odessa, 2013, pp. 473-474. doi: 10.1109/ICATT.2013.6650816.
- [12] D. Yu. Kulik, L. P. Mospan, A. O. Perov, and N. G. Kolmakova, "Compact-size polarization rotators on the basis of irises with rectangular slots", *Telecom. and Radio Engineering*, vol. 75, no. 1, pp. 1-9, 2016. doi: 10.1615/TelecomRadEng.v75.i1.10.
- [13] D. Yu. Kulik, S. A. Steshenko, and A. A. Kirilenko, "Compact polarization plane rotator at a given angle in the square rectangular waveguide", *Telecom. and Radio Engineering*, vol. 76, no. 1, pp. 855-864, 2017. doi: 10.1615/TelecomRadEng.v76.i10.20
- [14] A. V. Bulashenko, S. I. Piltyay, and I. V. Demchenko, "Analytical technique for iris polarizers development", in *IEEE Int. Conf. on Problems of Infocommunications. Science and Technology*, Kharkiv, 2020, pp. 464-469.
- [15] S. I. Piltyay, A. V. Bulashenko, and I. V. Demchenko "Compact polarizers for satellite information systems", in *IEEE Int. Conf. on Problems of Infocommunications. Science and Technology*, Kharkiv, 2020, pp. 350-355.
- [16] С. И. Пильтяй, А. В. Булашенко, Е. И. Калиниченко, и А. В. Булашенко, "Высокоэффективный волноводный поляризатор для спутниковых информационных систем", *Вісник Черкаського державного технологічного університету*, № 4. с. 14-26, 2020. doi: 10.24025/2306-4412.4.2020.217129.
- [17] S. I. Piltyay, O. Yu. Sushko, A. V. Bulashenko, and I. V. Demchenko, "Compact Ku-band iris polarizers for satellite telecommunication systems", *Telecommunications and Radio Engineering*, vol. 79, no. 19, pp. 1673-1690, 2020. doi: 10.1615/TelecomRadEng.v79.i19.10.
- [18] S. I. Piltyay, A. V. Bulashenko, and I. V. Demchenko, "Waveguide iris polarizers for Ku-band satellite antenna feeds", *Journal of Nano- and Electronic Physics*, vol. 12, no. 5, p. 05024, 2020. doi: 10.21272/jnep.12(5).05024.
- [19] A. A. Kirilenko, S. O. Steshenko, V. N. Derkach, and Y. M. Ostryzhnyi, "A tunable compact polarizer in a circular waveguide", *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, vol. 67, no. 2, pp. 592-596, 2019. doi: 10.1109/TMTT.2018.2881089.
- [20] S. I. Piltyay, A. V. Bulashenko, and I. V. Demchenko, "Analytical synthesis of waveguide iris polarizers", *Telecommunications and Radio Engineering*, vol. 79, no. 18, pp. 1579-1597, 2020. doi: 10.1615/TelecomRadEng.v79.i18.10.
- [21] S. Piltyay, A. Bulashenko, H. Kushnir, and O. Bulashenko, "Information resources economy in satellite systems based on new microwave polarizers with tunable posts", *Path of Science*, vol. 6, no. 11, pp. 5001-5010, 2020. doi: 10.22178/pos.55-1.
- [22] А. В. Булашенко, С. І. Пільтяй, Г. С. Кушнір, та О. В. Булашенко, "Компактний хвилевідний поляризатор із трьома протифазними штирями", *Вісник Вінницького політехнічного інституту*, вип. 5, с. 97-104, 2020. doi: 10.31649/1997-9266-2020-151-5-97-104.
- [23] А. В. Булашенко, С. І. Пільтяй, Є. І. Калініченко, та О. В. Булашенко, "Регульований поляризатор на основі квадратного хвилеводу із діафрагмами та штирями", *Технічна інженерія*, вип. 86, № 2, с. 108-116, 2020. doi: 10.26642/ten-2020-2(86)-108-116.

- [24] A. Bulashenko, S. Piltyay, Ye. Kalinichenko, and O. Bulashenko, "Mathematical modeling of iris-post sections for waveguide filters, phase shifters and polarizers", in *IEEE 2nd Int. Conf. on Advanced Trends in Information Theory*, Kyiv, 2020, pp. 330-336. doi: 10.1109/ATIT50783.2020.9349321.
- [25] S. Piltyay, A. Bulashenko, H. Kushnir, and O. Bulashenko, "New tunable iris-post square waveguide polarizers for satellite information systems", in *IEEE 2nd Int. Conf. on Advanced Trends in Information Theory*, Kyiv, 2020, pp. 132-137. doi: 10.1109/ATIT50783.2020.9349357.
- [26] J. R. Sanchez, C. Bachiller, M. Julia, B. Nova, H. Esteban, and V. E. Boria, "Microwave filter based on substrate integrated waveguide with alternating dielectric line sections", *IEEE Microwave and Wireless Components Letters*, vol. 28, no. 11, pp. 990-992, 2018. doi: 10.1109/LMWC.2018.2871644.
- [27] Y.-P. Lyu, L. Zhu, and C.-H. Cheng, "Proposal and synthesis design of differential phase shifters with filtering function", *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, vol. 65, no. 8, pp. 2906-2917, 2017. doi: 10.1109/TMTT.2017.2673819.
- [28] A. W. Pollak, and M. E. Jones, "A compact quad-ridge orthogonal mode transducer with wide operational bandwidth", *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, vol. 17, no. 3, pp. 422-425, 2018. doi: 10.1109/LAWP.2018.2793465.
- [29] F. F. Dubrovka, and S. I. Piltyay, "Prediction of eigenmodes cutoff frequencies of sectoral coaxial ridged waveguides", in *Int. Conf. on Modern Problem of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science*, Lviv-Slavske, 2012, p. 191.
- [30] S. I. Piltyay, "Numerically effective basis functions in integral equation technique for sectoral coaxial ridged waveguides", in *14-th Int. Conf. on Math. Methods in Electromagnetic Theory*, Kyiv, 2012, pp. 492-495. doi: 10.1109/MMET.2012.6331195.
- [31] L. A. Rud, and K. S. Shpachenko, "Polarizers on a segment of square waveguide with diagonally ridges and adjustment iris", *Radioelectronics and Communications Systems*, vol. 55, no. 10, pp. 458-463, 2012. doi: 10.3103/S0735272712100044.
- [32] A. A. Kirilenko, D. Yu. Kulik, and L. A. Rud, "Stepped approximation technique for designing coaxial waveguide polarizers", in *IX IEEE Int. Conf. on Antenna Theory and Techniques*, Odessa, 2013, pp. 470-472. doi: 10.1109/ICATT.2013.6650815.
- [33] F. F. Dubrovka, and S. I. Piltyay, "Eigenmodes of coaxial quad-ridged waveguides. Numerical results", *Radioelectronics and Comm. Systems*, vol. 57, no. 2, pp. 59-69, 2014. doi: 10.3103/S0735272714020010.
- [34] S. I. Piltyay, and F. F. Dubrovka, "Eigenmodes analysis of sectoral coaxial ridged waveguides by transverse field-matching technique. Part 1. Theory", *Visnyk NTUU KPI. Seriya: Radiotekhnika, Radioaparaturbuduvannia*, vol. 54, pp. 13-23, 2013. doi: 10.20535/RADAP.2013.54.13-23.
- [35] S. I. Piltyay, "Enhanced C-band coaxial orthomode transducer", *Visnik NTUU KPI. Seriya: Radiotekhnika, Radioaparaturbuduvannia*, vol. 58, pp. 27-34, 2014. doi: 10.20535/RADAP.2014.58.27-34.
- [36] F. F. Dubrovka, and S. I. Piltyay, "Boundary problem solution for eigenmodes in coaxial quad-ridged waveguides", *Information and Telecommunication Sciences*, vol. 5, no. 1, pp. 48-61, 2014.
- [37] G. Mishra, S. K. Sharma, and J.-C. Chieh, "A circular polarized feed horn with inbuilt polarizer for offset reflector antenna for W-band CubeSat applications", *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 67, no. 3, pp. 1904-1909, 2018. doi: 10.1109/TAP.2018.2886704.
- [38] A. V. Bulashenko, S. I. Piltyay, and I. V. Demchenko, "Optimization of a polarizer based on a square waveguide with irises", *Science-Based Technologies*, vol. 47, no. 3, pp. 287-297, 2020. doi: 10.18372/2310-5461.47.14878.
- [39] A. V. Bulashenko, S. I. Piltyay, and I. V. Demchenko, "Equivalent microwave circuit technique for waveguide iris polarizers development", *Visnik NTUU KPI. Seriya: Radiotekhnika, Radioaparaturbuduvannia*, vol. 83, pp. 17-28, 2020. doi: 10.20535/RADAP.2020.83.17-28.
- [40] A. V. Bulashenko, S. I. Piltyay, and I. V. Demchenko, "Waveguide iris polarizers for Ku-band satellite antenna feeds", *Journal of Nano- and Electronic Physics*, vol. 12, no. 6, p. 06026, 2020. doi: 10.21272/jnep.12(6).06026.

- [41] S. Piltyay, A. Bulashenko, Ye. Herhil, and O. Bulashenko, "FDTD and FEM simulation of microwave waveguide polarizers", in *IEEE 2nd Int. Conf. on Advanced Trends in Information Theory*, Kyiv, 2020, pp. 132-137. doi: 10.1109/ATIT50783.2020.9349339.

References

- [1] W. L. Stutzman, *Polarization in electromagnetic systems*. Artech House, Norwood, 2018.
- [2] A. Bulashenko, S. Piltyay, A. Polishuk, and O. Bulashenko, "New traffic model of M2M technology in 5G wireless sensor networks", in *IEEE 2nd Int. Conf. on Advanced Trends in Information Theory*, Kyiv, 2020, pp. 125-131. doi: 10.1109/ATIT50783.2020.9349305.
- [3] A. V. Bulashenko, S. I. Piltyay, and I. V. Demchenko, "Energy efficiency of the D2D direct connection system in 5G network", in *IEEE Int. Conf. on Problems of Infocommunications. Science and Technology*, Kharkiv, 2020, pp. 324-329.
- [4] S. I. Piltyay, A. V. Bulashenko, and I. V. Demchenko, "Wireless sensor networks connectivity in heterogeneous 5G mobile systems", in *IEEE Int. Conf. on Problems of Infocommunications. Science and Technology*, Kharkiv, 2020, pp. 508-513.
- [5] A. V. Bulashenko, "Evaluation of D2D communications in 5G networks", *Visnyk NTUU "KPI". Seriya: Radiotekhnika, Radioaparaturbuduvannia*, no. 81, pp. 21-29, 2020 [in Ukrainian]. doi: 10.20535/RADAP.2020.81.21-29.
- [6] A. V. Bulashenko, "Resource allocation for low-power devices of M2M technology in 5G networks", *Naukovi visti KPI*, vol. 3, pp. 7-13, 2020 [in Ukrainian]. doi: 10.20535/kpi-sn.2020.3.203863.
- [7] O. Yu. Myronchuk, A. A. Shpylka, and S. Ya. Zhuk, "Two-stage method for joint estimation of information symbols and channel frequency response in OFDM communication systems", *Radioelectron. Commun. Syst.*, vol. 63, no. 1, pp. 418-429, 2020. doi: 10.3103/S073527272008004X.
- [8] O. Myronchuk, O. Shpylka, and S. Zhuk, "Algorithm of channel frequency response estimation in orthogonal frequency division multiplexing systems based on Kalman filter", in *IEEE 15th Int. Conf. on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering*. Lviv-Slavske, 2020. doi: 10.1109/TCSET49122.2020.235385.
- [9] F. Dubrovka, S. Piltyay, O. Sushko, R. Dubrovka, M. Lytvyn, and S. Lytvyn, "Compact X-band stepped-thickness septum polarizer", in *IEEE Ukrainian Microwave Week*, Kharkiv, 2020, pp. 135-138. doi: 10.1109/UkrMW49653.2020.9252583.
- [10] F. Dubrovka, S. Martunyuk, R. Dubrovka, M. Lytvyn, S. Lytvyn, Yu. Ovsianyk, S. Piltyay et al., "Circularly polarised X-band H11- and H21-modes antenna feed for monopulse autotracking ground station", in *IEEE Ukrainian Microwave Week*, Kharkiv, 2020, pp. 196-202. doi: 10.1109/UkrMW49653.2020.9252600.
- [11] F. F. Dubrovka, and S. I. Piltyay, "A novel wideband coaxial polarizer", in *IEEE Int. Conf. on Antenna Theory and Techniques*, Odessa, 2013, pp. 473-474. doi: 10.1109/ICATT.2013.6650816.
- [12] D. Yu. Kulik, L. P. Mospan, A. O. Perov, and N. G. Kolmakova, "Compact-size polarization rotators on the basis of irises with rectangular slots", *Telecom. and Radio Engineering*, vol. 75, no. 1, pp. 1-9, 2016. doi: 10.1615/TelecomRadEng.v75.i1.10.
- [13] D. Yu. Kulik, S. A. Steshenko, and A. A. Kirilenko, "Compact polarization plane rotator at a given angle in the square rectangular waveguide", *Telecom. and Radio Engineering*, vol. 76, no. 1, pp. 855-864, 2017. doi: 10.1615/TelecomRadEng.v76.i1.0.20
- [14] A. V. Bulashenko, S. I. Piltyay, and I. V. Demchenko, "Analytical technique for iris polarizers development", in *IEEE Int. Conf. on Problems of Infocommunications. Science and Technology*, Kharkiv, 2020, pp. 464-469.
- [15] S. I. Piltyay, A. V. Bulashenko, and I. V. Demchenko "Compact polarizers for satellite information systems", in *IEEE Int. Conf. on Problems of Infocommunications. Science and Technology*, Kharkiv, 2020, pp. 350-355.
- [16] S. I. Piltyay, A. V. Bulashenko, Ye. I. Kalnichenko, and O. V. Bulashenko, "High performance waveguide polarizer for satellite information systems", *Visnyk Cherkaskogo derzhavnogo tekhnolohichnogo universytetu*, no. 4, pp. 14-26, 2020 [in Russian]. doi: 10.24025/2306-4412.4.2020.217129.
- [17] S. I. Piltyay, O. Yu. Sushko, A. V. Bulashenko, and I. V. Demchenko,

- "Compact Ku-band iris polarizers for satellite telecommunication systems", *Telecommunications and Radio Engineering*, vol. 79, no. 19, pp. 1673-1690, 2020.
doi: 10.1615/TelecomRadEng.v79.i19.10.
- [18] S. I. Piltyay, A. V. Bulashenko, and I. V. Demchenko, "Waveguide iris polarizers for Ku-band satellite antenna feeds", *Journal of Nano- and Electronic Physics*, vol. 12, no. 5, p. 05024, 2020.
doi: 10.21272/jnep.12(5).05024.
- [19] A. A. Kirilenko, S. O. Steshenko, V. N. Derkach, and Y. M. Ostryzhnyi, "A tunable compact polarizer in a circular waveguide", *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, vol. 67, no. 2, pp. 592-596, 2019.
doi: 10.1109/TMTT.2018.2881089.
- [20] S. I. Piltyay, A. V. Bulashenko, and I. V. Demchenko, "Analytical synthesis of waveguide iris polarizers", *Telecommunications and Radio Engineering*, vol. 79, no. 18, pp. 1579-1597, 2020.
doi: 10.1615/TelecomRadEng.v79.i18.10.
- [21] S. Piltyay, A. Bulashenko, H. Kushnir, and O. Bulashenko, "Information resources economy in satellite systems based on new microwave polarizers with tunable posts", *Path of Science*, vol. 6, no. 11, pp. 5001-5010, 2020.
doi: 10.22178/pos.55-1.
- [22] A. V. Bulashenko, S. I. Piltyay, H. S. Kushnir, and O. V. Bulashenko, "Compact waveguide polarizer with three antiphase posts", *Visnyk Vinnytskoho politekhnichnoho institutu*, vol. 5, pp. 97-104, 2020 [in Ukrainian].
doi: 10.31649/1997-9266-2020-151-5-97-104.
- [23] A. V. Bulashenko, S. I. Piltyay, Ye. I. Kalinichenko, and O. V. Bulashenko, "Tunable square waveguide polarizer with irises and posts", *Tekhnichna inzheneriia*, vol. 86, no. 2, pp. 108-116, 2020 [in Ukrainian].
doi: 10.26642/ten-2020-2(86)-108-116.
- [24] A. Bulashenko, S. Piltyay, Ye. Kalinichenko, and O. Bulashenko, "Mathematical modeling of iris-post sections for waveguide filters, phase shifters and polarizers", in *IEEE 2nd Int. Conf. on Advanced Trends in Information Theory*, Kyiv, 2020, pp. 330-336.
doi: 10.1109/ATIT50783.2020.9349321.
- [25] S. Piltyay, A. Bulashenko, H. Kushnir, and O. Bulashenko, "New tunable iris-post square waveguide polarizers for satellite information systems", in *IEEE 2nd Int. Conf. on Advanced Trends in Information Theory*, Kyiv, 2020, pp. 132-137.
doi: 10.1109/ATIT50783.2020.9349357.
- [26] J. R. Sanchez, C. Bachiller, M. Julia, B. Nova, H. Esteban, and V. E. Boria, "Micro-wave filter based on substrate integrated waveguide with alternating dielectric line sections", *IEEE Microwave and Wireless Components Letters*, vol. 28, no. 11, pp. 990-992, 2018.
doi: 10.1109/LMWC.2018.2871644.
- [27] Y.-P. Lyu, L. Zhu, and C.-H. Cheng, "Proposal and synthesis design of differential phase shifters with filtering function", *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, vol. 65, no. 8, pp. 2906-2917, 2017.
doi: 10.1109/TMTT.2017.2673819.
- [28] A. W. Pollak, and M. E. Jones, "A compact quad-ridge orthogonal mode transducer with wide operational bandwidth", *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, vol. 17, no. 3, pp. 422-425, 2018.
doi: 10.1109/LAWP.2018.2793465.
- [29] F. F. Dubrovka, and S. I. Piltyay, "Prediction of eigenmodes cutoff frequencies of sectoral coaxial ridged waveguides", in *Int. Conf. on Modern Problem of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science*, Lviv-Slavske, 2012, p. 191.
- [30] S. I. Piltyay, "Numerically effective basis functions in integral equation technique for sectoral coaxial ridged waveguides", in *14-th Int. Conf. on Math. Methods in Electromagnetic Theory*, Kyiv, 2012, pp. 492-495.
doi: 10.1109/MMET.2012.6331195.
- [31] L. A. Rud, and K. S. Shpachenko, "Polarizers on a segment of square waveguide with diagonally ridges and adjustment iris", *Radioelectronics and Communications Systems*, vol. 55, no. 10, pp. 458-463, 2012.
doi: 10.3103/S0735272712100044.
- [32] A. A. Kirilenko, D. Yu. Kulik, and L. A. Rud, "Stepped approximation technique for designing coaxial waveguide polarizers", in *IX IEEE Int. Conf. on Antenna Theory and Techniques*, Odessa, 2013, pp. 470-472.
doi: 10.1109/ICATT.2013.6650815.
- [33] F. F. Dubrovka, and S. I. Piltyay, "Eigenmodes of coaxial quad-ridged waveguides. Numerical results", *Radioelectronics and Comm. Systems*, vol. 57, no. 2, pp. 59-69, 2014.
doi: 10.3103/S0735272714020010.

- [34] S. I. Piltyay, and F. F. Dubrovka, "Eigenmodes analysis of sectoral coaxial ridged waveguides by transverse field-matching technique. Part 1. Theory", *Visnyk NTUU KPI. Seriya: Radiotekhnika, Radioaparotobuduvannia*, vol. 54, pp. 13-23, 2013.
doi: 10.20535/RADAP.2013.54.13-23.
- [35] S. I. Piltyay, "Enhanced C-band coaxial orthomode transducer", *Visnik NTUU KPI. Seriya: Radiotekhnika, Radioaparotobuduvannia*, vol. 58, pp. 27-34, 2014.
doi: 10.20535/RADAP.2014.58.27-34.
- [36] F. F. Dubrovka, and S. I. Piltyay, "Boundary problem solution for eigenmodes in coaxial quad-ridged waveguides", *Information and Telecommunication Sciences*, vol. 5, no. 1, pp. 48-61, 2014.
- [37] G. Mishra, S. K. Sharma, and J.-C. Chieh, "A circular polarized feed horn with inbuilt polarizer for offset reflector antenna for W-band CubeSat applications", *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 67, no. 3, pp. 1904-1909, 2018.
doi: 10.1109/TAP.2018.2886704.
- [38] A. V. Bulashenko, S. I. Piltyay, and I. V. Demchenko, "Optimization of a polarizer based on a square waveguide with irises", *Science-Based Technologies*, vol. 47, no. 3, pp. 287-297, 2020.
doi: 10.18372/2310-5461.47.14878.
- [39] A. V. Bulashenko, S. I. Piltyay, and I. V. Demchenko, "Equivalent microwave circuit technique for waveguide iris polarizers development", *Visnik NTUU KPI. Seriya: Radiotekhnika, Radioaparotobuduvannia*, vol. 83, pp. 17-28, 2020.
doi: 10.20535/RADAP.2020.83.17-28.
- [40] A. V. Bulashenko, S. I. Piltyay, and I. V. Demchenko, "Waveguide iris polarizers for Ku-band satellite antenna feeds", *Journal of Nano- and Electronic Physics*, vol. 12, no. 6, p. 06026, 2020.
doi: 10.21272/jnep.12(6).06026.
- [41] S. Piltyay, A. Bulashenko, Ye. Herhil, and O. Bulashenko, "FDTD and FEM simulation of microwave waveguide polarizers", in *IEEE 2nd Int. Conf. on Advanced Trends in Information Theory*, Kyiv, 2020, pp. 132-137.
doi: 10.1109/ATIT50783.2020.9349339.

S. I. Piltyay¹, *Ph.D., associate professor,*

e-mail: s.piltai@kpi.ua

A. V. Bulashenko¹, *senior lecturer,*

e-mail: a.bulashenko@kpi.ua

I. V. Fesyuk¹, *student,*

e-mail: irinkafes255@gmail.com

O. V. Bulashenko², *student*

e-mail: alex.bulashenko2020@gmail.com

¹National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute",
Peremohy ave., 37, Kyiv, 03056, Ukraine

²Ivan Kozhedub Shostka professional college of Sumy State University
Institutska st., 1, Shostka, Sumy region, 41100, Ukraine

COMPACT POLARIZATION CONVERTER FOR SATELLITE ANTENNA SYSTEMS

The article proposes a simple method of optimization and development of polarization devices with diaphragms using the method of equivalent microwave circuits. The principle of the method consists in the separation of the network of the waveguide polarization processing device into simple equivalent circuits. Each circuit is described by its scattering and transmission matrices. Next, the main characteristics of the presented device are expressed through the elements of the general wave scattering matrix. The basic electromagnetic characteristics of the device include the following: phase, matching and polarization. A polarization processing device with three diaphragms based on a square waveguide has been developed. In the frequency range 13.0-14.4 GHz a procedure of optimization of the electromagnetic characteristics has been performed. In the operating frequency band the designed waveguide device provides the phase difference within the range of $90^\circ \pm 4.0^\circ$. The peak value of its level of voltage standing wave equals to the value of 2.04. The maximum value of the ellipticity factor is 0.6 dB, and the minimum level of cross-polarization isolation is 29.5 dB. To verify the correctness of the obtained results, numerical simulation of the device has been performed using the finite

integration method in the frequency domain and the finite element method in the time domain. The simulation results have shown that the presented method has a slight discrepancy with the known electromagnetic methods of analysis of microwave devices. Therefore, the developed new waveguide polarization device with three diaphragms presents consistent and high-quality electromagnetic characteristics in the entire operating frequency range of 13.0–14.4 GHz. The developed polarization converter can be used in antenna systems, in which the polarization signal processing is carried out.

Keywords: polarizer; waveguide polarizer; diaphragm; waveguide; phase difference; ellipticity factor; crosspolar isolation.

С. І. Пільтяй¹, к.т.н., доцент,
e-mail: s.piltiai@kpi.ua

А. В. Булашенко¹, ст. викладач,
e-mail: a.bulashenko@kpi.ua

І. В. Фесюк¹, студентка,
e-mail: irinkafes255@gmail.com

О. В. Булашенко², студент
e-mail: alex.bulashenko2020@gmail.com

¹Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»,
просп. Перемоги, 37, м. Київ, 03056, Україна

²Шосткинський фаховий коледж імені Івана Кожедуба Сумського державного університету
вул. Інститутська, 1, м. Шостка, Сумська обл., 41100, Україна

КОМПАКТНИЙ ПЕРЕТВОРЮВАЧ ПОЛЯРИЗАЦІЇ ДЛЯ СУПУТНИКОВИХ АНТЕННИХ СИСТЕМ

У статті запропоновано простий метод оптимізації та розробки поляризаційних пристроїв з діафрагмами за допомогою методу еквівалентних мікрохвильових схем. Принцип методу полягає у розбитті схеми хвилеводного пристрою обробки поляризації на прості еквівалентні схеми. Кожна схема описується своїми матрицями розсіювання та передачі. Далі основні характеристики представленого пристрою виражаємо через елементи загальної хвильової матриці розсіювання. До базових електромагнітних характеристик пристрою належать такі: фазові, узгоджувачі та поляризаційні. Було розроблено поляризаційний пристрій із трьома діафрагмами на основі квадратного хвилеводу. У діапазоні частот 13,0–14,4 ГГц було здійснено процедуру оптимізації електромагнітних характеристик. Сконструйований хвилевідний пристрій у робочому діапазоні частот підтримує диференційний фазовий зсув у межах $90^\circ \pm 4,0^\circ$. Пікове значення його коефіцієнта стійної хвилі за напругою набуває значення 2,04. Максимальне значення коефіцієнта еліптичності становить 0,6 дБ, а мінімальний рівень кросполяризаційної розв'язки – 29,5 дБ. Для перевірки правильності отриманих результатів було здійснено числове моделювання пристрою із використанням методу скінченного інтегрування в частотній області та методу скінчених елементів у часовій області. Результати моделювання показали, що представлений метод має невелику розбіжність із відомими електродинамічними методами аналізу мікрохвильових пристроїв. Тому розроблений новий хвилевідний поляризаційний пристрій з трьома діафрагмами представляє узгоджені та якісні електромагнітні характеристики в усьому робочому діапазоні частот 13,0–14,4 ГГц. Розроблений поляризаційний пристрій може використовуватися в антенних системах, де здійснюється поляризаційна обробка сигналів.

Ключові слова: поляризатор, хвилевідний поляризатор, діафрагма, хвилевід, диференційний фазовий зсув, коефіцієнт еліптичності, кросполяризаційна розв'язка.

Стаття надійшла 12.02.2021

Прийнято 03.03.2021