

[0000-0002-6927-8663] С. И. Пильтяй¹, к.т.н., доцент,

e-mail: s.piltiai@kpi.ua

[0000-0002-4987-4978] А. В. Булашенко¹, ст. преподаватель,

e-mail: a.bulashenko@kpi.ua

[0000-0001-9085-1201] Е. И. Калиниченко¹, студентка,

e-mail: kaliza@ukr.net

[0000-0002-56486658] А. В. Булашенко², студент

e-mail: alex.bulashenko2020@gmail.com

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

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

ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫЙ ВОЛНОВОДНЫЙ ПОЛЯРИЗАТОР ДЛЯ СПУТНИКОВЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Статья содержит результаты анализа и оптимизации нового волноводного поляризатора для спутниковых информационных систем. Конструкция разработанного поляризатора состоит из волновода квадратного сечения с четырьмя диафрагмами. Была выполнена оптимизация поляризатора для его применения в рабочем диапазоне частот от 10,7 ГГц до 12,8 ГГц. Разработанный волноводный поляризатор обеспечивает дифференциальный фазовый сдвиг $90^\circ \pm 3,5^\circ$, коэффициент стоячей волны по напряжению менее 1,24, коэффициент эллиптичности менее 0,53 дБ, кроссполяризационную развязку выше 30,3 дБ. Таким образом, созданный новый поляризатор на основе квадратного волновода с четырьмя диафрагмами обеспечивает качественную работу во всем рабочем Ки-диапазоне частот 10,7–12,8 ГГц.

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

Введение. На сегодняшний день увеличение информационной емкости каналов связи и повышение их энергетической эффективности являются важными задачами современных исследователей. В развивающихся системах связи 5G с этой целью применяются технологии прямого соединения D2D, технологии M2M, технологии OFDM [1-5]. В спутниковых информационных системах и радарах для повторного использования частотного ресурса применяют поляризационную обработку сигналов [6].

Частотные ресурсы спутниковых, наземных и других систем связи дороги и ограничены. Наиболее эффективным методом повторного использования одной и той же полосы частот в современных информационных системах является применение сигналов и антенн с двумя ортогональными линейными или круговыми поляризациями. В этом случае информационная емкость беспроводного канала увеличивается вдвое.

Тип поляризации электромагнитной волны оказывает важное влияние на особенности процесса ее распространения в беспроводном канале связи [6]. Применение сигналов с круговой поляризацией снижает эффект замирания и деструктивные помехи сигналов, вызванные многолучевым распространением. Сигналы, которые отражаются от поверхности Земли или от других объектов, изменяют свою поляризацию на ортогональную для каждого отражения. Например, нечетно отраженная электромагнитная волна с левой круговой поляризацией трансформируется в волну с правой круговой поляризацией, и наоборот. Приемная антенна, предназначенная для приема, обработки и передачи на фидер сигналов с кополяризацией (например, с левой круговой поляризацией), будет отражать сигналы с кроссполяризацией (с правой круговой поляризацией), которые отразились от Земли, или некоторые другие объекты. Следовательно, уровень искажающих сигналов с нечетным

числом отражений в приемной антенне будет пренебрежимо малым. Таким образом, применение сигналов с ортогональной круговой поляризацией значительно улучшает характеристики беспроводных информационных систем, работающих в условиях многолучевого распространения электромагнитных волн.

Еще одним преимуществом применения сигналов с круговой поляризацией является отсутствие необходимости в точной угловой ориентации между передающей и приемной антеннами для установления процесса связи [6]. Указанная особенность отличает круговую поляризацию от линейной, при которой возможны большие потери сигнала из-за несовпадения ориентации плоскостей поляризации передающей и приемной антенн. Это преимущество сигналов с круговой поляризацией важно для мобильных спутниковых телекоммуникационных систем, где трудно обеспечить фиксированную ориентацию одной антенны относительно другой, а также для связи со спутниками, вращающимися вокруг направления линии связи. В случае применения сигналов с круговой поляризацией уровень принимаемого сигнала остается постоянным независимо от угловой ориентации антенн.

Третьим преимуществом сигналов с круговой поляризацией является их нечувствительность к влиянию вращения плоскости поляризации линейно поляризованных электромагнитных волн, которая вызвана эффектом Фарадея в ионосфере [6]. Кроме того, эффект Фарадея может возникать при распространении электромагнитных волн в областях атмосферы с большим количеством воды, особенно в дождливых условиях [6]. Эффект Фарадея может вызвать значительные потери, если сигнал передается электромагнитными волнами с линейной поляризацией. В ионосфере электромагнитные волны с таким типом поляризации совершают случайные повороты плоскости поляризации, вызванные изменениями условий в ионосфере. Угол поворота плоскости поляризации зависит от толщины и температуры ионосферы, а также от частоты электромагнитной волны [6]. Угол поворота больше на более низких частотах. Следовательно, угол наклона плоскости поляризации входной электромагнитной волны должен контролироваться приемной антенной системы связи. При рас-

пространении в ионосфере электромагнитной волны с круговой поляризацией происходит одновременное вращение обеих ее ортогональных линейно поляризованных компонент. Следовательно, циркулярно поляризованная электромагнитная волна, являющаяся суперпозицией упомянутых компонент, сохраняет свою поляризацию после распространения через ионосферу. Из-за этой особенности сигналы с круговой поляризацией широко используются в тех системах связи, в которых электромагнитные волны распространяются через ионосферу. Типичными примерами таких систем являются спутниковая телеметрия, системы связи с космическими зондами и баллистическими ракетами.

Применение сигналов с круговой поляризацией увеличивает эффективность радиолокационных систем [6]. Довольно сложно создать абсорбирующие материалы, которые не отражали бы электромагнитные волны с круговой поляризацией. Рассмотрим РЛС с антенной, работающей на линейной поляризации. В этом случае линейные или близкие к ним цели, вращающиеся в поперечной плоскости, создают синусоидальную зависимость принимаемого антенной сигнала от угла поворота. Вблизи нулей этой зависимости радар, работающий с линейно поляризованными сигналами, не обнаружит никаких целей. Напротив, радары с циркулярно поляризованными сигналами лишены этого недостатка, так как вращение вектора электрического поля в пространстве и времени позволяет обнаруживать линейные цели независимо от их ориентации. Кроме того, радары с круговой поляризацией более эффективны для радиолокации в дождливых условиях, поскольку помехи, создаваемые отражением электромагнитных волн с круговой поляризацией от водяных капель, ниже, чем в случае отражения волн с линейной поляризацией [6].

Все упомянутые преимущества объясняют, почему антенны и сигналы с круговой поляризацией широко применяются в современных беспроводных, радиолокационных и спутниковых системах различного назначения. Поэтому разработка и оптимизация характеристик новых волноводных поляризаторов для фидеров спутниковых антенн являются важной инженерной задачей, которая решается в данной статье.

Целью исследования является разработка нового волноводного поляризатора с диафрагмами и оптимизация его электромагнитных характеристик для спутникового диапазона частот 10,7–12,8 ГГц.

Анализ последних исследований. Волноводный поляризатор является ключевым элементом гофрированных рупорных систем питания, которые работают на круговых поляризациях. Поляризатор – это микроволновое устройство, которое выполняет преобразование электромагнитных волн с линейной поляризацией в круговую поляризацию или наоборот. Следовательно, поляризатор антенной системы определяет ее дифференциальный фазовый сдвиг, коэффициент эллиптичности и кроссполяризационную развязку (КПР).

Одним из наиболее часто используемых типов волноводных поляризаторов является поляризатор с перегородкой [7-9]. Основным преимуществом поляризатора с перегородкой является его компактная конструкция, которая объединяет ортомодовый преобразователь и сам поляризатор в единую структуру. Недостатком поляризатора с перегородкой, ограничивающим его применение в некоторых современных системах спутниковой связи, является узкая рабочая полоса частот. В [7] было продемонстрировано, что относительная ширина полосы поляризатора с перегородками может достигать только 20%, если в системе антенного питания одновременно требуются изоляция более 25 дБ и КПР более 30 дБ.

Поляризатор с диафрагмами [10-20] представляет собой альтернативную конструкцию волноводного поляризатора, которая обеспечивает лучшие характеристики и более широкую относительную полосу пропускания. С одной стороны, в антенных системах с двойной поляризацией волноводный поляризатор с диафрагмами функционирует только в сочетании с ортомодовым преобразователем [10], что усложняет структуру питания. С другой стороны, при использовании волноводного поляризатора с диафрагмами можно получить гораздо лучшие характеристики в той же рабочей полосе частот по сравнению с поляризатором с перегородкой. Кроме того, конструкция поляризатора с волноводной диафрагмой имеет осевую симмет-

рию С2 и две зеркальные плоскости симметрии, что снижает возможные поляризационные искажения и упрощает изготовление с использованием технологии фрезерования и ЧПУ.

Авторы статьи [15] разработали аналитический метод анализа характеристик волноводных поляризаторов с диафрагмами. С применением теории микроволновых цепей были получены волновые матрицы рассеивания и передачи для волноводного поляризатора. Основные электромагнитные характеристики поляризатора были определены через элементы общей матрицы рассеивания. Метод дает возможность аналитически исследовать эти характеристики. На основе метода был разработан поляризатор на основе прямоугольного волновода с двумя диафрагмами в диапазоне частот от 7,4 до 8,5 ГГц. Разработанный поляризатор поддерживает дифференциальный фазовый сдвиг $90^\circ \pm 8^\circ$, коэффициент эллиптичности поляризатора является меньшим, чем 1,6 дБ, кроссполяризационная развязка меньше, чем 21,5 дБ. Разработанная модель волноводного поляризатора с диафрагмами с учетом их толщины была предложена в [16]. Предложенный поляризатор сконструирован на основе волновода с квадратным сечением и содержит две реактивные диафрагмы. Поляризатор обеспечивает такие характеристики: дифференциальный фазовый сдвиг составляет $90^\circ \pm 4.2^\circ$, коэффициент эллиптичности является меньшим, чем 2,15 дБ, кроссполяризационная развязка меньше, чем 21,7 дБ. Недостатком предложенного поляризатора является невозможность перестройки его характеристик после изготовления конструкции. Предложенные конструкции поляризаторов обеспечивают плохой уровень чистоты круговой поляризации и недостаточный уровень кроссполяризационной развязки.

Авторы исследования [17] разработали модифицированный аналитический метод для моделирования и проектирования новых поляризаторов. Метод использовали для создания волноводного поляризатора с двумя диафрагмами в диапазоне частот от 3,4 ГГц до 4,2 ГГц. Такой поляризатор обеспечивает дифференциальный фазовый сдвиг $90^\circ \pm 3,4^\circ$, коэффициент эллиптичности является меньшим, чем 1,6 дБ, кроссполяризационная развязка меньше, чем 27,7 дБ. К недостаткам

разработанного поляризатора следует отнести большие габаритные размеры его конструкции и недостаточно хорошее согласование структуры. Конструкция поляризатора с тремя диафрагмами была предложена в [17]. Устройство обеспечивает следующие электромагнитные характеристики устройства. Дифференциальный фазовый сдвиг составляет $90^\circ \pm 4,0^\circ$, коэффициент эллиптичности является меньшим, чем 0,7 дБ, кроссполяризационная развязка меньше, чем 29,0 дБ. Недостатками разработанного поляризатора являются узкий рабочий диапазон частот, недостаточно качественный уровень согласования структуры. Научная статья [18] описывает конструкцию компактного поляризатора с четырьмя диафрагмами, которая обеспечивает следующие характеристики устройства. Дифференциальный фазовый сдвиг составляет $90^\circ \pm 4,5^\circ$, коэффициент эллиптичности является меньшим, чем 0,9 дБ, кроссполяризационная развязка меньше, чем 28,5 дБ. Характерными недостатками конструкции разработанного поляризатора являются относительно узкий диапазон частот, а также недостаточно хорошее согласование структуры. Для спутниковых телекоммуникационных систем Кудиапазона были разработаны конструкции новых волноводных поляризаторов с разным количеством диафрагм [19]. Конструкция поляризатора с пятью диафрагмами обеспечивает лучшие электромагнитные характеристики устройства. Дифференциальный фазовый сдвиг составляет $90^\circ \pm 2,6^\circ$, коэффициент эллиптичности является меньшим, чем 0,6 дБ, кроссполяризационная развязка меньше, чем 32,9 дБ. Недостатком разработанных поляризаторов является невозможность уменьшения габаритов и сложность конструкции.

Лучшая симметрия структуры и меньшие поляризационные искажения могут быть получены в волноводах с осевой симметрией. Типичными примерами волноводов с такой симметрией являются четырехреберные волноводы, на которых основаны коаксиальные и другие ортомодовые преобразователи и поляризаторы [20-31]. Главный недостаток таких волноводов – сложность изготовления. Таким образом, для разработки поляризаторов для питания спутниковых антенн была выбрана конструкция на основе прямоугольного волновода с диафрагмами.

Электромагнитные характеристики поляризаторов. Электромагнитными характеристиками поляризатора являются рабочая полоса частот, пиковый уровень коэффициента стоячей волны по напряжению (КСВН) для обеих поляризаций, дифференциальный фазовый сдвиг, коэффициент эллиптичности, кроссполяризационная развязка. В антенных фидерах с двумя ортогональными поляризациями применяется волноводный поляризатор с диафрагмами в сочетании с ортомодовым преобразователем, который определяет изоляцию всей антенной фидерной системы [22]. Все остальные поляризационные параметры системы питания точно определяются применяемым волноводным поляризатором.

Обычно волноводный поляризатор обеспечивает хорошее согласование электромагнитных волн обеих поляризаций. Амплитуды компонент поля с ортогональными линейными поляризациями на входе и выходе поляризатора равны с высокой точностью. В этом случае равенство амплитуд компонент для обеих поляризаций на входе приводит к их равенству на выходе поляризатора. На самом деле соответствие несовершенное. Таким образом, для расчета основных поляризационных характеристик поляризатора необходимо учитывать не только дифференциальный фазовый сдвиг, но и разность амплитуд компонент электрического поля с ортогональными линейными поляризациями на выходе поляризатора.

Дифференциальный фазовый сдвиг определяется выражением

$$\Delta\phi = \phi_{\Sigma 21.H} - \phi_{\Sigma 21.V}, \quad (1)$$

где $\phi_{\Sigma 21.H}$ – фаза общей волновой матрицы рассеяния для модели в горизонтальной плоскости; $\phi_{\Sigma 21.V}$ – фаза общей волновой матрицы рассеяния для модели в вертикальной плоскости.

КСВН горизонтальной и вертикальной поляризации определяется формулой

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

где $S_{\Sigma 11}$ – элемент волновой матрицы рассеяния.

Структура полей в вертикальной и горизонтальной плоскостях представлена на рисунке 1.

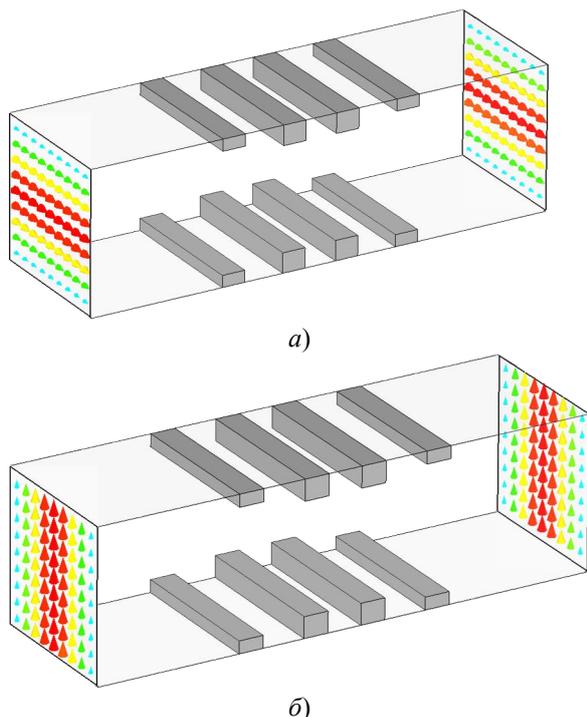


Рисунок 1 – Структуры поля в вертикальной и горизонтальной плоскостях

Комплексные амплитуды электрических полей волн лежат в поперечной плоскости и имеют вид:

$$\vec{E}_x = Ae^{i\phi_A}\vec{e}_x; \vec{E}_y = Be^{i\phi_B}\vec{e}_y, \quad (3)$$

где A и B – амплитуды электрических полей, ориентированных по осям x и y соответственно, ϕ_A и ϕ_B – начальные фазы волн на выходе поляризатора

Выделим центральную фазу и разность фаз:

$$\phi_0 = \frac{\phi_A + \phi_B}{2}; \Delta\phi = \phi_B - \phi_A.$$

Тогда:

$$\phi_A = \phi_0 - \frac{\Delta\phi}{2}; \phi_B = \phi_0 + \frac{\Delta\phi}{2}. \quad (4)$$

Далее подставляем формулы (4) в (3) и рассматриваем суперпозицию волн на выходе поляризатора:

$$\begin{aligned} \vec{E}_\Sigma &= \vec{E}_x + \vec{E}_y = Ae^{i(\phi_0 - \Delta\phi/2)}\vec{e}_x + Be^{i(\phi_0 + \Delta\phi/2)}\vec{e}_y = \\ &= e^{i\phi_0} (Ae^{-i\Delta\phi/2}\vec{e}_x + Be^{i\Delta\phi/2}\vec{e}_y). \end{aligned} \quad (5)$$

Затем выделяем проекции \dot{C} и \dot{D} полученного вектора (5) в базисе круговой поляризации

$$\begin{aligned} &Ae^{-i\Delta\phi/2}\vec{e}_x + Be^{i\Delta\phi/2}\vec{e}_y = \\ &= \dot{C}(\vec{e}_x + i \cdot \vec{e}_y) + \dot{D}(\vec{e}_x - i \cdot \vec{e}_y). \end{aligned}$$

В результате получаем систему линейных уравнений:

$$\begin{cases} \dot{C} + \dot{D} = Ae^{-i\Delta\phi/2} \\ \dot{C} - \dot{D} = -iBe^{i\Delta\phi/2}. \end{cases} \quad (6)$$

Решение системы (6) следующее:

$$\begin{aligned} \dot{C} &= \frac{1}{2} \left(A \cos \frac{\Delta\phi}{2} - iA \sin \frac{\Delta\phi}{2} - iB \cos \frac{\Delta\phi}{2} + B \sin \frac{\Delta\phi}{2} \right); \\ \dot{D} &= \frac{1}{2} \left(A \cos \frac{\Delta\phi}{2} - iA \sin \frac{\Delta\phi}{2} + iB \cos \frac{\Delta\phi}{2} - B \sin \frac{\Delta\phi}{2} \right). \end{aligned}$$

Далее мы определяем модули и упрощаем их:

$$|\dot{C}| = \frac{1}{2} \sqrt{A^2 + B^2 + 2AB \sin \Delta\phi}; \quad (7)$$

$$|\dot{D}| = \frac{1}{2} \sqrt{A^2 + B^2 - 2AB \sin \Delta\phi}. \quad (8)$$

В базисе круговой поляризации коэффициент эллиптичности определяется с использованием модулей (7) и (8) следующим образом [6]:

$$r = \frac{|\dot{C}| + |\dot{D}|}{|\dot{C}| - |\dot{D}|}. \quad (9)$$

Теперь подставим (5) и (6) в квадрат формулы (9) и получим следующее выражение:

$$\begin{aligned} r^2 &= \frac{|\dot{C}|^2 + |\dot{D}|^2 + 2|\dot{C}| \cdot |\dot{D}|}{|\dot{C}|^2 + |\dot{D}|^2 - 2|\dot{C}| \cdot |\dot{D}|} = \\ &= \frac{A^2 + B^2 + \sqrt{A^4 + B^4 + 2A^2B^2 \cos(2\Delta\phi)}}{A^2 + B^2 - \sqrt{A^4 + B^4 + 2A^2B^2 \cos(2\Delta\phi)}}. \end{aligned} \quad (10)$$

Используя логарифмическую шкалу, коэффициент эллиптичности можно выразить в дБ следующим образом [6]:

$$r = 10 \lg \frac{A^2 + B^2 + \sqrt{A^4 + B^4 + 2A^2B^2 \cos(2\Delta\phi)}}{A^2 + B^2 - \sqrt{A^4 + B^4 + 2A^2B^2 \cos(2\Delta\phi)}}, \quad (11)$$

где A , B обозначают амплитуды ортогональных линейно поляризованных компонент поля, $\Delta\phi$ – дифференциальный фазовый сдвиг между ними на выходе поляризатора.

Эквивалентная характеристика поляризации КПП выражается в дБ и может быть рассчитана следующим образом:

$$\text{XPD (dB)} = 20 \lg \left(\frac{r+1}{r-1} \right), \quad (12)$$

где r – коэффициент эллиптичности (11), который предварительно необходимо перевести в линейный масштаб.

Результаты оптимизации. В этом разделе представлены результаты численного моделирования и оптимизации характеристик поляризаторов на основе квадратного волно-

вода с четырьмя диафрагмами с применением метода конечного интегрирования.

Внутренняя конструкция квадратного волноводного поляризатора с четырьмя диафрагмами и обозначения всех его размеров показаны на рисунке 2. Две внешние диафрагмы имеют одинаковую высоту h_1 . Для улучшения согласования структуры внешние диафрагмы ниже двух внутренних диафрагм с высотой h_2 . Толщина всех диафрагм одинакова и обозначена как w .

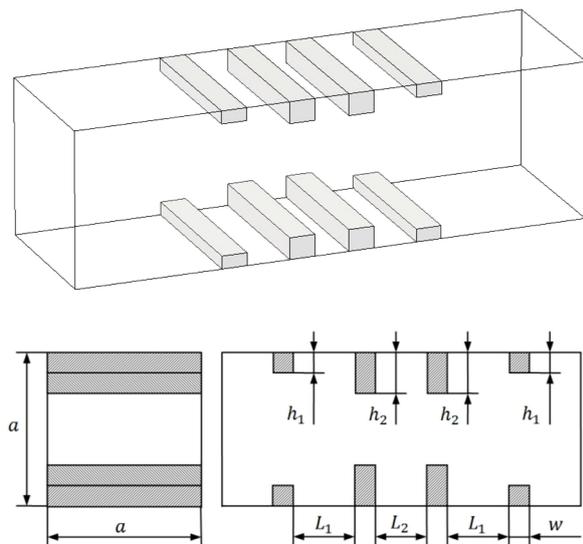


Рисунок 2 – Внутренняя конструкция волноводного поляризатора с четырьмя диафрагмами

На рисунке 3 представлены зависимости КСВН оптимизированного прямоугольного волноводного поляризатора с четырьмя диафрагмами от частоты для двух основных мод обеих линейных поляризаций в рабочем Кудиапазоне 10,7–12,8 ГГц. Как видно из рисунка 3, максимальный уровень КСВН для обеих линейных поляризаций составляет 1,24 и достигается на нескольких частотах в пределах Кудиапазона.



Рисунок 3 – Зависимость КСВН от частоты для обеих поляризаций

На рисунке 3 видно, что зависимости КСВН от частоты для оптимизированного квадратного волноводного поляризатора с четырьмя диафрагмами не являются монотонными функциями, в отличие от таковых для поляризатора с тремя диафрагмами. Это обусловлено тем, что в случае структуры с четырьмя и более диафрагмами происходят сильные взаимодействия между модами более высокого порядка, которые возбуждаются на диафрагмах. Таким образом, одномодовый метод эквивалентных микроволновых схем может прогнозировать характеристики поляризатора волноводной диафрагмы только приблизительно. Интересная особенность, что локальные максимумы КСВН для основной моды горизонтальной поляризации наблюдаются в окрестности частот, которые соответствуют локальным минимумам КСВН основной моды вертикальной поляризации.

Зависимость дифференциального фазового сдвига оптимизированного прямоугольного волноводного поляризатора с четырьмя диафрагмами от частоты показана на рисунке 4.

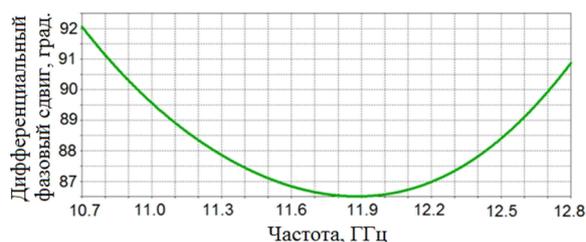


Рисунок 4 – Зависимость дифференциального фазового сдвига от частоты

Как видно из рисунка 4, дифференциальный фазовый сдвиг равен 90° на частотах 10,94 ГГц и 12,71 ГГц. В рабочем Кудиапазоне 10,7–12,8 ГГц дифференциальный фазовый сдвиг поляризатора с четырьмя диафрагмами изменяется от $86,5^\circ$ до $92,1^\circ$. Максимальное отклонение дифференциального фазового сдвига от 90° составляет $3,5^\circ$ и наблюдается на частоте 11,9 ГГц.

Зависимости коэффициента эллиптичности и КПР оптимизированного поляризатора с четырьмя диафрагмами от частоты в рабочем Кудиапазоне показаны на рисунке 5 и рисунке 6 соответственно.

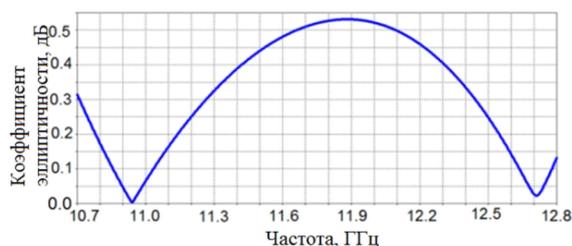


Рисунок 5 – Зависимость коэффициента эллиптичности от частоты

На рисунке 5 видно, что в рабочем Ku-диапазоне 10,7–12,8 ГГц коэффициент эллиптичности оптимизированного квадратного волноводного поляризатора с четырьмя диафрагмами составляет менее 0,53 дБ.

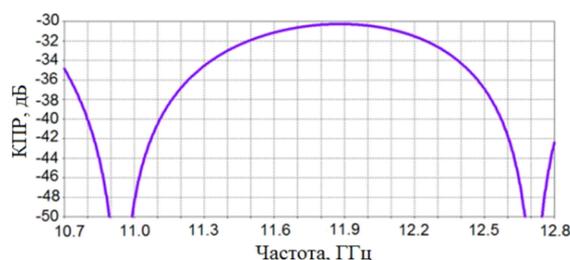


Рисунок 6 – Зависимость КПП от частоты для поляризатора с четырьмя диафрагмами

На рисунке 6 видно, что соответствующий КПП поляризатора превышает 30,3 дБ. Два минимума зависимостей коэффициента эллиптичности и КПП от частоты встречаются на частотах 10,94 ГГц и 12,71 ГГц, которые совпадают с частотами, соответствующими дифференциальному фазовому сдвигу 90° . Максимальный коэффициент эллиптичности, как и самый низкий уровень кроссполяризационной развязки, наблюдается на частоте 11,9 ГГц, что в точности соответствует частоте максимального отклонения дифференциального фазового сдвига поляризатора от 90° .

Таким образом, в рабочем Ku-диапазоне 10,7–12,8 ГГц оптимизированный поляризатор на основе прямоугольного волновода с четырьмя диафрагмами обеспечивает следующие характеристики: КСВН для основных мод обеих линейных поляризаций меньше 1,24, дифференциальный фазовый сдвиг находится в диапазоне $90^\circ \pm 3,5^\circ$, коэффициент эллиптичности менее 0,53 дБ, КПП более 30,3 дБ.

Результаты исследования и их обсуждение. В таблице 1 представлены все внутренние размеры конструкций поляризатора

на основе квадратного волновода с четырьмя диафрагмами, оптимизированных для рабочего диапазона Ku 10,7–12,8 ГГц.

Таблица 1 – Размеры поляризатора, оптимизированного для Ku-диапазона частот

Размер	Значение
Размер стенки волновода	21,6 мм
Высота внутренних диафрагм	2,99 мм
Высота крайних диафрагм	1,77 мм
Расстояние между средними диафрагмами	4,68 мм
Расстояние между крайними и средними диафрагмами	5,86 мм
Толщина всех диафрагм	3,44 мм

Когда в конструкции поляризатора используется большее количество диафрагм, тогда дифференциальный фазовый сдвиг, вносимый каждой диафрагмой, становится меньше, потому что полный дифференциальный фазовый сдвиг на выходе поляризатора должен быть близок к 90° для каждой из рассматриваемых конструкций. Это приводит к уменьшению высоты диафрагм по мере увеличения их количества. Кроме того, уменьшение высоты диафрагм улучшает согласование структуры поляризатора.

Из таблицы 2 видно, что поляризатор на основе прямоугольного волновода с четырьмя диафрагмами обеспечивает требуемое согласование в большинстве систем питания, поскольку его максимальный уровень КСВН выше 1,24. При этом коэффициент эллиптичности не превышает 0,53 дБ, а КПП является выше, чем 30,3 дБ. Следовательно, разработанный волноводный поляризатор с четырьмя диафрагмами обеспечивает одновременно хорошее согласование и отличные поляризационные характеристики в Ku-диапазоне.

Таблица 2 – Характеристики оптимизированного поляризатора в пределах Ku-диапазона

Характеристика	Значение
Дифференциальный фазовый сдвиг	$90^\circ \pm 3,5^\circ$
Максимальный КСВН	1,24
Коэффициент эллиптичности	0,53 дБ
Минимальная КПП	30,3 дБ

Выводы. В статье разработан и оптимизирован новый высокоэффективный волноводный поляризатор с четырьмя диафрагмами для спутниковых информационных систем Ку-диапазона частот с ортогональными круговыми поляризациями.

Разработанный волноводный поляризатор с четырьмя диафрагмами обеспечивает КСВН меньше 1,24. Его дифференциальный фазовый сдвиг составляет $90^\circ \pm 3,5^\circ$. Коэффициент эллиптичности не превышает 0,53 дБ. Соответствующая кроссполяризационная развязка выше, чем 30,3 дБ. Таким образом, разработанный поляризатор обеспечивает отличные поляризационные характеристики и удовлетворяет требованиям к согласованию в современных спутниковых информационных системах.

Список использованных источников

- [1] 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/RADAR.2020.81.21-29.
- [2] 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.
- [3] В. В. Гладун, та А. В. Булашенко, "Забезпечення високої якості мереж 5G за допомогою технології D2D", на *Міжнар. наук.-техн. конф. Радіотехнічні поля, сигнали, апарати та системи*, Київ, 2019, с. 57-59.
- [4] В. А. Гнитецький, та А. В. Булашенко, "Забезпечення дуже низьких затримок у стільниковій системі 5G на базі МЕС", на *Міжнар. наук.-техн. конф. Радіотехнічні поля, сигнали, апарати та системи*, Київ, 2019, с. 153-155.
- [5] А. В. Булашенко, та О. Л. Литвинець, "Аналіз можливостей хмарних технологій", на *II Всеукр. наук.-метод. конф. Освіта, наука та виробництво: розвиток і перспективи*, Суми, 2017, с. 1-3. [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://essuir.sumdu.edu.ua/bitstream-download/123456789/66966/1/Bulashenko_cloud_technologies.pdf.
- [6] W. L. Stutzman, *Polarization in Electromagnetic Systems*, Artech House, Norwood, 2018.
- [7] F. F. Dubrovka, S. I. Pilyay, R. R. Dubrovka, M. M. Lytvyn, and S. M. Lytvyn, "Optimum septum polarizer design for various fractional bandwidths", *Radioelectron. Commun. Syst.*, vol. 63, no. 1, pp. 15-23, 2020. DOI: 10.3103/S0735272720010021
- [8] F. Dubrovka, S. Pilyay, 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
- [9] F. Dubrovka, S. Martunyuk, R. Dubrovka, M. Lytvyn, S. Lytvyn, Yu. Ovsianyk, S. Pilyay 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
- [10] F. F. Dubrovka, and S. I. Pilyay, "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
- [11] 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
- [12] 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
- [13] S. I. Pilyay, "High performance extended C-band 3.4–4.8 GHz dual circular polarization feed system", in *IEEE XI Int. Conf. on Antenna Theory and Techn.*, Kyiv, 2017, pp. 284-287. DOI: 10.1109/ICATT.2017.7972644
- [14] 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

- [15] 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.
- [16] А. В. Булашенко, С. І. Пільтяй, та І. В. Демченко, "Оптимізація поляризатора на основі квадратного хвилеводу з діафрагмами", *Наукові технології*, Вип. 47, № 3, с. 287-297, 2020.
DOI: 10.18372/2310-5461.47.14878
- [17] 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.
- [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] 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
- [20] F. F. Dubrovka, and S. I. Piltyay, "Novel high performance coherent dual-wideband orthomode transducer for coaxial horn feeds", in *XI IEEE Int. Conf. on Antenna Theory and Techniques*, Kyiv, 2017, pp. 277-280.
DOI: 10.1109/ICATT.2017.7972642
- [21] 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.
- [22] 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
- [23] F. F. Dubrovka, and S. I. Piltyay, "Eigenmodes of sectoral coaxial ridged waveguides", *Radioelectronics and Communications Systems*, vol. 55, no. 6, pp. 239-247, 2012.
DOI: 10.3103/S0735272712060015
- [24] F. F. Dubrovka, and S. I. Piltyay, "Electrodynamics boundary problem solution for sectoral coaxial ridged waveguide by integral equation technique", *Radioelectronics and Communications Systems*, vol. 55, no. 5, pp. 191-203, 2012.
DOI: 10.3103/S0735272712050019
- [25] 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
- [26] F. F. Dubrovka, and S. I. Piltyay, "Eigenmodes analysis of sectoral coaxial ridged waveguides by transverse field-matching technique. Part 2. Numerical results", *Visnyk NTUU KPI. Seriya - Radiotekhnika Radioaparotobuduvannia*, vol. 55, pp. 13-23, 2013.
DOI: 10.20535/RADAP.2013.55.13-23
- [27] F. F. Dubrovka, and S. I. Piltyay, "Eigenmodes of coaxial quad-ridged waveguides. Theory", *Radioelectronics and Communications Systems*, vol. 57, no. 1, pp. 1-30, 2014.
DOI: 10.3103/S0735272714010014
- [28] F. F. Dubrovka, and S. I. Piltyay, "Eigenmodes of coaxial quad-ridged waveguides. Numerical results", *Radioelectronics and Communications Systems*, vol. 57, no. 2, pp. 59-69, 2014.
DOI: 10.3103/S0735272714020010
- [29] S. I. Piltyay, "Enhanced C-band coaxial orthomode transducer", *Visnyk NTUU KPI. Seriya - Radiotekhnika Radioaparotobuduvannia*, vol. 58, pp. 27-34, 2014.
DOI: 10.20535/RADAP.2014.58.27-34
- [30] 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.
- [31] 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

References

- [1] A. V. Bulashenko, "Evaluation of connectivity of D2D communications in 5G networks", *Visnyk NTUU KPI. Seriya - Radio-tekhnika Radioaparotobuduvannia*, vol. 81, pp. 21-29, 2020.
DOI: 10.20535/RADAP.2020.81.21-29 [in Ukrainian].
- [2] A. V. Bulashenko, "Resource allocation for low-power devices of M2M technology in 5G networks", *Naukovi visti KPI*, vol. 3, pp. 7-13, 2020.
DOI: 10.20535/kpi-sn.2020.3.203863 [in Ukrainian].
- [3] V. V. Gladun, and A. V. Bulashenko, "Obtaining of high quality 5G networks with D2D technology", in *Int. Sci. and Tech. Conf. Radioengineering Fields, Signals, Devices and Systems*, Kyiv, 2019, pp. 57-59. [in Ukrainian].
- [4] V. A. Gnitetsky, and A. V. Bulashenko, "Obtaining of very low delays in 5G cellular system based on MEC", in *Int. Sci. and Tech. Conf. Radioengineering Fields, Signals, Devices and Systems*, Kyiv, 2019, pp. 153-155. [in Ukrainian].
- [5] A. V. Bulashenko, and O. L. Litvinets, "Analysis of cloud technologies capabilities", in *II All-Ukr. Sci.-Method. Conf. Education, Science and Production: Development and Prospects*. Sumy, 2017, pp. 1-3. [Online]. Available: https://essuir.sumdu.edu.ua/bitstream-download/123456789/66966/1/Bulashenko_cloud_technologies.pdf.
- [6] W. L. Stutzman, "Polarization in Electromagnetic Systems", Artech House, Norwood, 2018.
- [7] F. F. Dubrovka, S. I. Piltyay, R. R. Dubrovka, M. M. Lytvyn, and S. M. Lytvyn, "Optimum septum polarizer design for various fractional bandwidths", *Radioelectron. Commun. Syst.*, vol. 63, no. 1, pp. 15-23, 2020.
DOI: 10.3103/S0735272720010021
- [8] 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
- [9] 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
- [10] 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
- [11] 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
- [12] D. Yu. Kulik, S. A. Steshenko, and A. A. Kirilenko, "Compact polarization plane rotator at a given angle in the square rectangular waveguide", *Telecommunications and Radio Engineering*, vol. 76, no. 1, pp. 855-864, 2017.
DOI: 10.1615/TelecomRadEng.v76.i10.20
- [13] S. I. Piltyay, "High performance extended C-band 3.4–4.8 GHz dual circular polarization feed system", in *IEEE XI Int. Conf. on Antenna Theory and Techn.*, Kyiv, 2017, pp. 284-287.
DOI: 10.1109/ICATT.2017.7972644
- [14] 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
- [15] 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.
- [16] A. V. Bulashenko, S. I. Piltyay, and I. V. Demchenko, "Optimization of a polarizer based on a square waveguide with diaphragms", *Naukoiemni tekhnolohii*, Iss. 47, No. 3, pp. 287-297, 2020.
DOI: 10.18372/2310-5461.47.14878 [in Ukrainian].
- [17] 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.
- [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] 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
- [20] F. F. Dubrovka, and S. I. Piltyay, "Novel high performance coherent dual-wideband orthomode transducer for coaxial horn feeds", in *XI IEEE Int. Conf. on Antenna Theory and Techniques*, Kyiv, 2017, pp. 277-280.
DOI: 10.1109/ICATT.2017.7972642
- [21] 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.
- [22] 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
- [23] F. F. Dubrovka, and S. I. Piltyay, "Eigenmodes of sectoral coaxial ridged waveguides", *Radioelectronics and Communications Systems*, vol. 55, no. 6, pp. 239-247, 2012.
DOI: 10.3103/S0735272712060015
- [24] F. F. Dubrovka, and S. I. Piltyay, "Electrodynamics boundary problem solution for sectoral coaxial ridged waveguide by integral equation technique", *Radioelectronics and Communications Systems*, vol. 55, no. 5, pp. 191-203, 2012.
DOI: 10.3103/S0735272712050019
- [25] 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
- [26] F. F. Dubrovka, and S. I. Piltyay, "Eigenmodes analysis of sectoral coaxial ridged waveguides by transverse field-matching technique. Part 2. Numerical results", *Visnyk NTUU KPI. Seriya - Radiotekhnika Radioaparotobuduvannia*, vol. 55, pp. 13-23, 2013.
DOI: 10.20535/RADAP.2013.55.13-23
- [27] F. F. Dubrovka, and S. I. Piltyay, "Eigenmodes of coaxial quad-ridged waveguides. Theory", *Radioelectronics and Communications Systems*, vol. 57, no. 1, pp. 1-30, 2014.
DOI: 10.3103/S0735272714010014
- [28] F. F. Dubrovka, and S. I. Piltyay, "Eigenmodes of coaxial quad-ridged waveguides. Numerical results", *Radioelectronics and Communications Systems*, vol. 57, no. 2, pp. 59-69, 2014.
DOI: 10.3103/S0735272714020010
- [29] S. I. Piltyay, "Enhanced C-band coaxial orthomode transducer", *Visnyk NTUU KPI. Seriya - Radiotekhnika Radioaparotobuduvannia*, vol. 58, pp. 27-34, 2014.
DOI: 10.20535/RADAP.2014.58.27-34
- [30] 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.
- [31] 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

S. I. Piltyay¹, *Ph.D., associate professor,*
e-mail: s.piltiai@kpi.ua

A. V. Bulashenko¹, *senior lecturer,*
e-mail: a.bulashenko@kpi.ua

Ye. I. Kalinichenko¹, *student,*
e-mail: kaliza@ukr.net

O. V. Bulashenko², *student*
e-mail: alex.bulashenko2020@gmail.com

¹ National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”,
Ave. Peremohy, 37, Kyiv, 03056, Ukraine

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

HIGH PERFORMANCE WAVEGUIDE POLARIZER FOR SATELLITE INFORMATION SYSTEMS

Signals with circular polarizations are widely used in modern satellite information systems and wireless data transmission systems. Signals of this type require the application of specific antenna systems with polarization processing. This approach allows to save twice the frequency resources, which are limited. As a result, the information capacity of information transmission channels of satellite and another information systems increases. A polarizer is the essential element of antenna systems with circular polarizations. Such device carries out the transformation of circularly polarized electromagnetic waves into linearly polarized waves or vice versa. The application of a polarizer and of an orthomode transducer in antenna systems provides the transformation of the signals polarization and their simultaneous transmission to the isolated waveguide channels. The article contains the results of the analysis and optimization of a new high performance waveguide polarizer for satellite information systems. The design of the developed polarizer consists of a square waveguide with four diaphragms. The polarizer has been optimized for its application within the frequency band from 10.7 GHz to 12.8 GHz. The phase, polarization and matching characteristics have been analyzed and optimized using the numerical finite integration technique. The developed waveguide polarizer with four diaphragms provides the differential phase shift of $90^\circ \pm 3.5^\circ$, voltage standing wave ratio less than 1.24, axial ratio less than 0.53 dB, crosspolar discrimination higher than 30.3 dB. Therefore, the created new polarizer based on a square waveguide with four diaphragms provides highly efficient performance in the whole operating Ku-band 10.7–12.8 GHz. The device can be widely applied in modern antenna systems with the processing of signal's polarization in telecommunication, radar and satellite information systems.

Keywords: *polarizer, waveguide polarizer, diaphragm, waveguide, differential phase shift, axial ratio, crosspolar discrimination.*

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

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

Є. І. Калініченко¹, студентка,
e-mail: kaliza@ukr.net

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

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

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

ВИСОКОЕФЕКТИВНИЙ ХВИЛЕВОДНИЙ ПОЛЯРИЗАТОР ДЛЯ СУПУТНИКОВИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ

У сучасних супутникових інформаційних системах та безпроводних системах передачі даних широко використовують сигнали із коловими поляризаціями. Сигнали цього типу вимагають застосування спеціальних антенних систем із поляризаційним обробленням. Такий підхід дає можливість удвічі зекономити частотні ресурси, які є обмеженими. У результаті збільшується інформаційна ємність каналів передачі інформації в супутникових та інших інформаційних системах. Базовим елементом антенних систем із коловими поляризаціями є поляризатор. Такий пристрій здійснює перетворення електромагнітних хвиль із круговою поляризацією в лінійно поляризовані хвилі або навпаки. Використання поляризатора та ортомодового перетворювача в антенних системах забезпечує перетворення поляризації сигналів із одночасною передачею їх до розв'язаних хвилеводних каналів. Стаття містить результати аналізу та оптимізації нового високоефективного хвилеводного поляризатора для супутникових інформаційних систем. Конструкція розробленого поляризатора складається із хвилеводу квадратного перерізу з чотирма діафрагмами. Виконано оптимізацію поляризатора для його застосування в робочому діапазоні частот від 10,7 ГГц до 12,8 ГГц. Проаналізовано й оптимізовано фазові, поляризаційні характеристики та характеристики узгодження із застосуванням чисельного методу скінченного інтегрування. Розроблений хвилеводний поляризатор із чотирма діафрагмами забезпечує диференційний фазовий зсув $90^\circ \pm 3,5^\circ$, коефіцієнт стійкої хвилі з напругою, меншою 1,24, коефіцієнт еліптичності, менший 0,53 дБ, кросполяризаційну розв'язку, вищу 30,3 дБ. Таким чином, створений новий поляризатор на основі квадратного хвилеводу з чотирма діафрагмами забезпечує якісну роботу в усьому робочому Ки-діапазоні частот 10,7–12,8 ГГц. Пристрій може широко використовуватися в сучасних антенних системах із поляризаційним обробленням сигналів у телекомунікаційних, радіолокаційних і супутникових інформаційних системах.

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

Стаття надійшла 24.11.2020

Прийнято 18.12.2020