

<https://doi.org/10.31649/1997-9266-2020-152-5-97-104>

УДК 621.396

А. В. Булашенко<sup>1</sup>  
 С. І. Пільтяй<sup>1</sup>  
 Г. С. Кушнір<sup>1</sup>  
 О. В. Булашенко<sup>2</sup>

## КОМПАКТНИЙ ХВИЛЕВОДНИЙ ПОЛЯРИЗАТОР ІЗ ТРЬОМА ПРОТИФАЗНИМИ ШТИРЯМИ

<sup>1</sup>Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;

<sup>2</sup>Шосткинський фаховий коледж імені Івана Кожедуба Сумського державного університету

Однією з фундаментальних проблем сучасності є економія цифрових інформаційних і частотних ресурсів. Впровадження новітніх телекомунікаційних систем і мереж 5G потребує пошуку кардинальних методів економії та повторного використання частотних ресурсів. У сучасних системах зв'язку для економії частотного ресурсу використовують нові технології для збільшення інформаційної ємності каналів зв'язку. З цією метою використовують антенні системи з поляризаційною обробкою сигналів. Такі системи дають можливість передавати сигнали з різними видами поляризації. Використання електромагнітних хвиль з ортогональними поляризаціями покращує інформаційні характеристики радіосистем різного призначення. Це дає можливість удвічі збільшити інформаційну ємність супутникових каналів зв'язку. Крім того, така обробка здійснюється у метеорологічних та радіолокаційних системах прийому, передачі та обробки інформації. Ключовими пристроями таких систем є поляризатори та ортомодові перетворювачі. Електромагнітні характеристики цих пристроїв впливають на характеристики загальної системи. До електромагнітних характеристик належать фазові, узгоджувальні та поляризаційні характеристики. В статті подані результати розробки регульованого поляризатора на основі прямокутного хвилеводу з трьома штирями. Розроблений поляризатор працює в X-діапазоні від 8,0 ГГц до 8,5 ГГц. Математична модель такого пристрою ґрунтується на хвильовій матриці розсіювання та передачі. Характеристики моделі отримані через елементи цієї матриці. Для перевірки правильності роботи розробленою моделі також створена модель на основі методу скінченного інтегрування. Цей метод часто використовується для моделювання мікрохвильових пристроїв. Розроблений поляризатор на основі прямокутного хвилеводу з трьома штирями дає можливість здійснювати регулювання своїх узгоджувальних та поляризаційних характеристик за рахунок зміни довжини штирів. Такі пристрої характеризуються малими поперечними розмірами та стабільністю параметрів поляризаційних перетворень.

**Ключові слова:** поляризатор, штир, хвилевід, диференційний фазовий зсув, коефіцієнт еліптичності.

### Вступ

Збільшення інформаційної ємності каналів зв'язку та підвищення їх енергетичної ефективності у телекомунікаційних системах зв'язку 5G є дуже необхідними у зв'язку зі збільшенням обсягів інформації, що передається. З цією метою у системах 5G використовуються технології машинного з'єднання M2M [1], прямого з'єднання D2D [2]—[3], ортогонального частотного ущільнення OFDM [4]—[5]. У таких конструкціях корисними є і портативні цифрові мегометри, що здійснюють вимірювання [6]. У супутникових та радарних системах для повторного використання частотного ресурсу використовують поляризаційну обробку сигналів [7].

Сьогодні ключовим елементом антенних систем, які займаються поляризаційною обробкою сигналів, є поляризаційні пристрої. Така обробка здійснюється поляризаторами у поєднанні з ортомодовими перетворювачами [8]—[9]. Поляризаційний пристрій вносить необхідний фазовий зсув і

перетворює колову поляризацію у лінійну, а ортомодовий перетворювач розділяє лінійно поляризовані сигнали для різних хвелеводних каналів. Такі пристрої використовуються для перетворення типів поляризації. Поширеними конструкціями поляризаційних пристроїв є конструкції поляризаторів у вигляді хвелеводних структур з діафрагмами [10]—[15], ребрами [16]—[19], штирями [20]—[25], тонкими металевими перегородками [26]—[27], щілинами [28]—[30]. Протифазні зонди типу штирів використовують також у протифазних суматорах/дільниках потужності НВЧ діапазону [31]. Крім того, широкого поширення металеві штирі набули у хвелеводних пристроях зсуву фази [32]—[34].

Найпростішими з конструкторської точки зору є регульовані поляризатори у прямокутному хвелеводі з штирями. Таким чином, метою цієї статті є розробка нової математичної моделі для поляризатора на основі прямокутного хвелеводу з трьома штирями. Така модель має забезпечувати необхідні узгоджувальні та поляризаційні характеристики пристрою.

### Результати дослідження

На рис. 1 показана конструкція поляризатора. Конструкція містить два штирі висотою  $h_1$  та діаметром  $d$ , інший — висотою  $h_2$  та діаметром  $d$ , відстань між штирями дорівнює  $l$ . Більше того, висота центрального штиря  $h_2$  більше висоти двох інших штирів  $h_1$ .

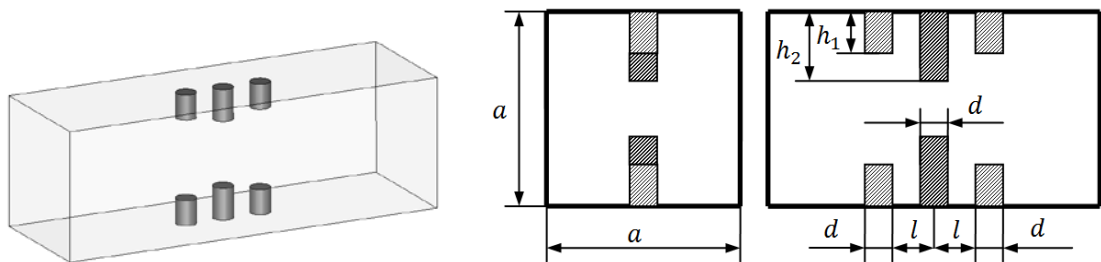


Рис. 1. Конструкція хвелеводного поляризатора з трьома циліндричними штирями

Запропоновані циліндричні металеві штирі дозволяють регулювати характеристики пристрою завдяки зміні їхньої висоти.

Представимо поляризатор еквівалентною схемою за допомогою теорії мікрохвильових кіл (рис. 2). На рис. 2а зображена структурна схема моделі поляризатора з трьома ємнісними штирями. На рис. 2б зображена структурна схема моделі поляризатора з трьома індуктивними штирями. Еквівалентна схема моделі з індуктивними штирями буде мати лише одну регулярну лінію передачі, оскільки штирі перпендикулярні до силових ліній електричного поля та вони не високі відносно розмірів стінки.

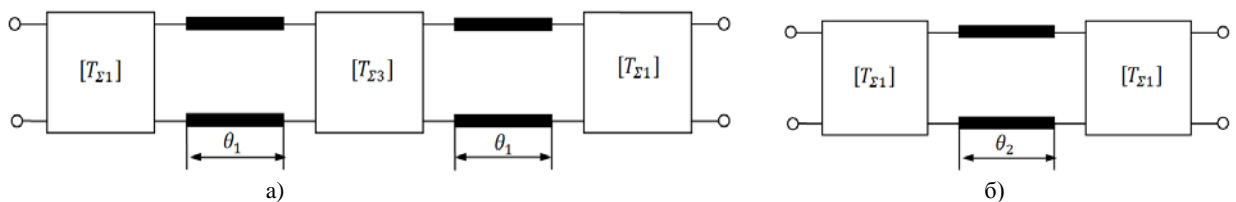


Рис. 2. Еквівалентна схема моделі з трьома: а — ємнісними штирями; б — індуктивними штирями

Загальні хвильові матриці розсіювання та передачі моделі пов'язані між собою

$$[S_{\Sigma}] = \begin{bmatrix} S_{\Sigma 11} & S_{\Sigma 12} \\ S_{\Sigma 21} & S_{\Sigma 22} \end{bmatrix} = \frac{1}{T_{\Sigma 11}} \begin{bmatrix} T_{\Sigma 21} & |T| \\ 1 & -T_{\Sigma 12} \end{bmatrix}, \quad (1)$$

де  $|T|$  — визначник хвильової матриці передачі.

Формуємо загальні хвильові матриці передачі на основі теорії кіл НВЧ, розбивши схему поляризатора на менші кола у випадку ємнісних штирів (рис. 3а)

$$[T_{\Sigma}] = [T_1] \cdot [T_2] \cdot [T_3] \cdot [T_4] \cdot [T_5] = \begin{bmatrix} T_{\Sigma 11} & T_{\Sigma 12} \\ T_{\Sigma 21} & T_{\Sigma 22} \end{bmatrix}, \quad (2)$$

$$\text{де } [T_1] = [T_5] = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} 2 + Y_{p1} & -Y_{p1} \\ -Y_{p1} & 2 - Y_{p1} \end{bmatrix}; \quad [T_3] = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} 2 + Y_{p2} & -Y_{p2} \\ -Y_{p2} & 2 - Y_{p2} \end{bmatrix}; \quad [T_2] = [T_4] = \begin{bmatrix} e^{j\theta_1} & 0 \\ 0 & e^{-j\theta_1} \end{bmatrix};$$

$Y_{p1}, Y_{p2}$  — провідності штирів,  $\theta_1$  — електрична довжина лінії.

Провідність штиря визначається виразом

$$Y_{\text{III}} = \frac{j\pi\lambda_0\lambda_{\text{ХВ}} [1 - \cos(kh_{\text{III}})]^2}{a^2 k(a-r)(2 + \cos(2kh_{\text{III}})) - \ln(a/r)\sin(2kh_{\text{III}})}, \quad (3)$$

де  $a$  — довжина стінки квадратного хвилеводу;  $h_{\text{III}}$  — висота штиря у хвилеводі;  $k$  — хвильове число;  $r$  — радіус циліндричного штиря.

У випадку індуктивних штирів загальна хвильова матриця передачі визначається

$$[T_{\Sigma}] = \begin{bmatrix} e^{j\theta_2} & 0 \\ 0 & e^{-j\theta_2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} T_{\Sigma 11} & T_{\Sigma 12} \\ T_{\Sigma 21} & T_{\Sigma 22} \end{bmatrix}, \quad (4)$$

де  $\theta_2$  — електрична довжина лінії.

Електрична довжина регулярної лінії передачі у випадку ємнісних та індуктивних штирів

$$\theta_1 = \frac{2\pi l_1}{\lambda_{\text{ХВ}}}; \quad \theta_2 = \frac{2\pi l_2}{\lambda_{\text{ХВ}}}; \quad l_2 = 2l + 4r, \quad (5)$$

де  $\lambda_{\text{ХВ}}$  — довжина хвилі у хвилеводі.

Поляризатор має узгоджувальні та поляризаційні характеристики. До узгоджувальних належить диференційний фазовий зсув та коефіцієнт стійкої хвилі за напругою (КСХН). До поляризаційних характеристик належать: коефіцієнт еліптичності та крос-поляризаційна розв'язка (КПР).

Диференційний фазовий зсув визначається виразом

$$\Delta\varphi = \varphi_{\Sigma 21.C} - \varphi_{\Sigma 21.L}, \quad (6)$$

де  $\varphi_{\Sigma 21.C}$  — фаза параметра  $S_{21\Sigma C}$  загальної хвильової матриці розсіювання моделі з ємностями;

$\varphi_{\Sigma 21.L}$  — фаза параметра  $S_{21\Sigma L}$  загальної хвильової матриці розсіювання моделі з індуктивностями.

КСХН обчислюється за формулою

$$VSWR = \frac{1 + |S_{11}|}{1 - |S_{11}|}. \quad (7)$$

Коефіцієнт еліптичності визначається

$$r = 10 \lg \left( \frac{A^2 + B^2 + \sqrt{A^4 + B^4 + 2A^2B^2 \cos(\Delta\varphi)}}{A^2 + B^2 - \sqrt{A^4 + B^4 + 2A^2B^2 \cos(\Delta\varphi)}} \right), \quad (8)$$

де  $A = 1$ ,  $B = |S_{21}|$ .

КПР визначається виразом

$$XPD = 20 \lg \left[ \frac{(10^{0,05r} + 1)}{(10^{0,05r} - 1)} \right]. \quad (9)$$

На рис. 3 та рис. 4 показані узгоджувальні та поляризаційні характеристики математичної моделі, відповідно.

З рис. 3а випливає, що максимальне відхилення диференційного фазового зсуву від  $90^\circ$  становить  $4,7^\circ$ . Рис. 3б показує, що максимальна величина КСХН становить 1,28. Рис. 4а показує залежність коефіцієнта еліптичності від частоти, а рис. 4б — залежність КПР від частоти. З рис. 4 бачимо, що на частоті 8,5 ГГц коефіцієнт еліптичності досягає максимального значення 0,71 дБ. Також на цій частоті КПР досягає максимального значення 29 дБ.

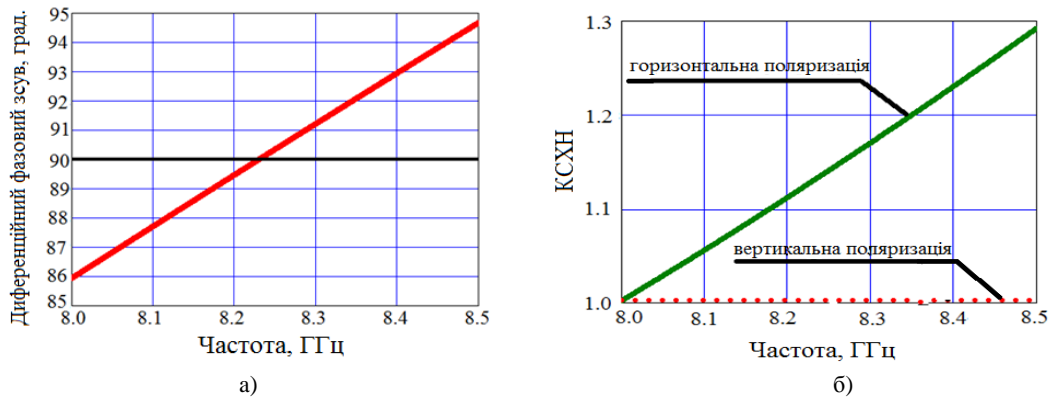


Рис. 3. Узгоджувальні характеристики математичної моделі

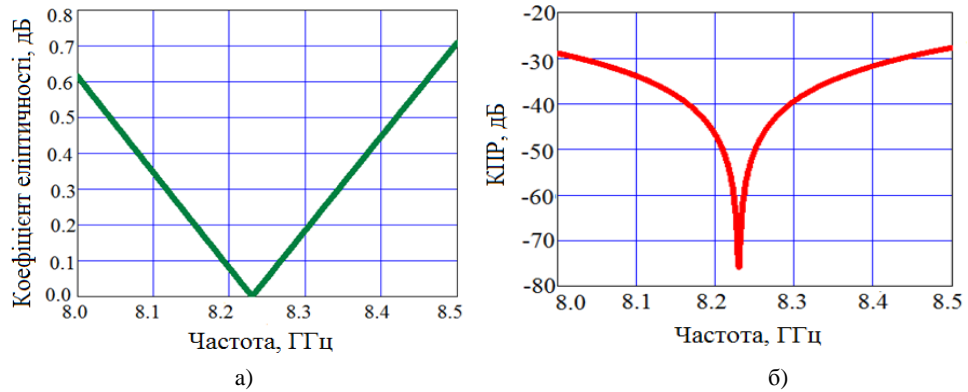


Рис. 4. Поляризаційні характеристики математичної моделі

Рисунки 5 та 6 містять узгоджувальні та поляризаційні характеристики моделі, яка ґрунтується на методі скінченного інтегрування. Рис. 5а містить залежність диференційного фазового зсуву від частоти, а рис. 5б — залежність КСХН від частоти в робочому діапазоні частот від 8,0 ГГц до 8,5 ГГц для числової моделі.

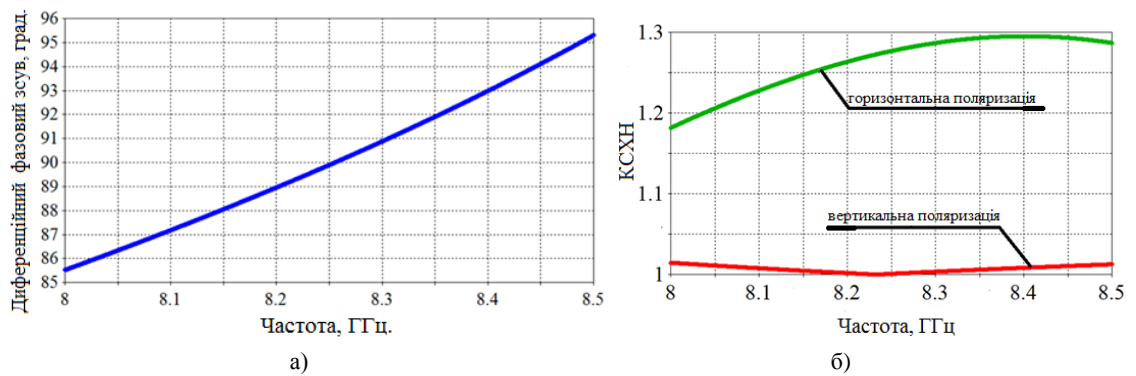


Рис. 5. Узгоджувальні характеристики числової моделі за методом скінченного інтегрування

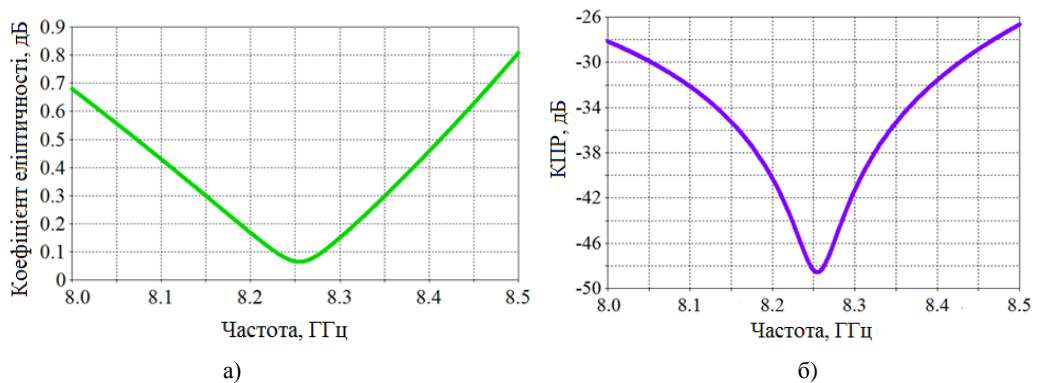


Рис. 6. Поляризаційні характеристики числової моделі за методом скінченного інтегрування

З рис. 5а бачимо, що максимальне відхилення диференційного фазового зсуву від  $90^\circ$  становить  $5,4^\circ$ . Рис. 5б демонструє, що максимальна величина КСХН дорівнює 1,3.

Рис. 6 показує залежність поляризаційних характеристик у діапазоні частот від 8,0 ГГц до 8,5 ГГц. Рис. 6а показує залежність коефіцієнта еліптичності від частоти, а рис. 6б містить залежність КПР від частоти. Рис. 6 демонструє, що на частоті 8,5 ГГц коефіцієнт еліптичності досягає свого максимального значення 0,55 дБ, а КПР — свого мінімального значення  $(-)$ 26,5 дБ.

Такі характеристики досягаються завдяки оптимальній конструкції поляризатора, розміри якого подані у таблиці.

Оптимальні розміри поляризатора

$a$ , мм	$l$ , мм	$h_1$ , мм	$h_2$ , мм	$d$ , мм
30,0	2,92	2,0	4,28	2,0

Таким чином, поляризаційні характеристики та узгодження поляризатора розраховано двома способами: за допомогою математичної моделі та числової моделі, яка ґрунтується на методі скінченного інтегрування, який розроблений у програмі CST Microwave Studio. Спостерігається узгодження отриманих чисельних результатів з достатньою для практики точністю.

### Висновки

Розроблено математичну модель поляризатора на основі прямокутного хвилеводу з трьома штирями для робочого діапазону частот від 8,0 ГГц до 8,5 ГГц. Основою моделі є загальна хвильова матриця розсіювання поляризатора. Створена модель дає можливість налаштувати електромагнітні характеристики за допомогою зміни параметрів конструкції. Це дозволяє отримати кращі фазові та поляризаційні характеристики поляризатора. Для перевірки створеної моделі використано метод скінченного інтегрування. Спостерігається узгодження результатів обох використаних теоретичних методів.

Розроблений поляризатор на основі прямокутного хвилеводу з трьома штирями забезпечує ефективні електромагнітні характеристики у робочому діапазоні частот від 8,0 ГГц до 8,5 ГГц. Максимальне відхилення фазового зсуву від  $90^\circ$  становить  $5,4^\circ$ . Пристрій забезпечує коефіцієнт стійкої хвилі за напругою менший, ніж 1,3, коефіцієнт еліптичності — менший, ніж 0,8 дБ, крос-поляризаційну розв'язку — вищу за 26,5 дБ.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] А. В. Булашенко, «Розподіл ресурсів для пристроїв малої потужності технології M2M у мережах 5G,» *Наукові вісті КПІ*, № 3, с. 7-13, 2020. <https://doi.org/10.20535/kpi-sn.2020.3.203863>.
- [2] А. В. Булашенко, «Оцінка зв'язності D2D комунікацій у мережах 5G,» *Вісник НТУУ«КПІ». Серія Радіотехніка, Радіоапаратобудування*, № 81, с. 21-29, 2020. <https://doi.org/10.20535/RADAP.2020.81.21-29>.
- [3] А. В. Булашенко, «Система вивантаження даних за технологією D2D у неліцензованому діапазоні частот у складі системи зв'язку 5G,» *Технічна інженерія*, 86 (2), с. 103-107, 2020. [https://doi.org/10.26642/ten-2020-2\(86\)-103-107](https://doi.org/10.26642/ten-2020-2(86)-103-107).
- [4] А. Ю. Мирончук, О. О. Шпилька, и С. Я. Жук, «Метод оцінювання частотної характеристики каналу а OFDM системах на основі фільтрації і екстраполяції пілот-сигналов,» *Вісник НТУУ«КПІ». Серія Радіотехніка, Радіоапаратобудування*, № 78, с. 36-42, 2019. <https://doi.org/10.20535/RADAP.2019.78.36-42>.
- [5] О. Myronchuk, O. Shpylka, and S. Zhuk, "Two-stade channel frequency response estimation in OFDM systems," *Path of science*, no. 6(2), с. 1001-1007, 2020. <https://doi.org/10.22178/pos.55-1>.
- [6] А. В. Булашенко, і І. В. Забегалов, «Конструкція портативного цифрового мегомметра та вимірювача струму витоку,» *Вісник Вінницького політехнічного інституту*, № 3, с. 37-42, 2020. <https://doi.org/10.31649/1997-9266-2020-150-3-37-42>.
- [7] W. L. Stutzman, "Polarization in Electromagnetic Systems," Artech House, Norwood, 352 p, 2018.
- [8] S. I. Pilyay, "Enhanced C-band coaxial orthomode transducer," *Вісник НТУУ«КПІ». Серія Радіотехніка, Радіоапаратобудування*, № 58, с. 27-34, 2014. <https://doi.org/10.20535/RADAP.2014.58.27-34>.
- [9] F. F. Dubrovka, and S. I. Pilyay, "Novel high performance coherent dual-wideband orthomode transducer for coaxial horn feeds," in *XI Int. Conf. on Antenna Theory and Techniques*, 24-27 May 2017, Kyiv, Ukraine. <https://doi.org/10.1109/ICATT.2017.7972642>.
- [10] 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. 59, no. 10, pp. 1904-1909, 2019. <https://doi.org/10.1109/TAP.2018.2886704>.
- [11] S. I. Pilyay, A. V. Bulashenko, and I. V. Demchenko, "Waveguide iris polarizers for Ku-band satellite antenna feeds," *Journal of Nano- and Electronic Physics*, no. 12(5), 05024-1-5, 2020. [https://doi.org/10.21272/jnep.12\(5\).05024](https://doi.org/10.21272/jnep.12(5).05024).
- [12] А. В. Булашенко, С. І. Пільтай, і І. В. Демченко, «Оптимізація поляризатора на основі квадратного хвилеводу з діафрагмами,» *Наукові технології*, № 47 (3), с. 287-297, 2020. <https://doi.org/10.18372/2310-5461.47.14878>.
- [13] А. В. Булашенко, С. І. Пільтай, і Є. І. Калініченко, «Регульований поляризатор на основі квадратного хвилеводу із діафрагмами та штирями,» *Технічна інженерія*, 86 (2), с. 108-116, 2020. [https://doi.org/10.26642/ten-2020-2\(86\)-108-116](https://doi.org/10.26642/ten-2020-2(86)-108-116).

- [14] S. I. Piltyay, "High performance extended C-band 3.4–4.8 GHz dual circular polarization feed system," in *XI Int. Conf. on Antenna Theory and Techniques*, 24–27 May 2017, Kyiv, Ukraine. <https://doi.org/10.1109/ICATT.2017.7972644>.
- [15] E. Arneri, F. Greco, L. Boccia, and G. Amendola "A SIW-based polarization rotator with an application to linear-to-circular dual-band polarizers at K-/Ka-band," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, no. 68 (5), pp. 3730–3738, 2020. <https://doi.org/10.1109/TAP.2020.2963901>.
- [16] S. I. Piltyay, "Numerically effective basis functions in integral equation technique for sectoral coaxial ridged waveguides," in *14-th International Conference on Mathematical Methods in Electromagnetic Theory*, 28–30 Aug. 2012, Kyiv, Ukraine, 2012. pp. 492–495. <https://doi.org/10.1109/MMET.2012.6331195>.
- [17] S. I. Piltyay, and F. F. Dubrovka, "Eigenmodes analysis of sectoral coaxial ridged waveguides by transverse field-matching technique. Part 1. Theory," *Вісник НТУУ«КПІ». Серія Радіотехніка, Радіоапаратобудування*, № 54 с. 13–23, 2013. <https://doi.org/10.20535/RADAP.2013.54.13-23>.
- [18] F. F. Dubrovka, and S. I. Piltyay, "Eigenmodes of coaxial quad-ridged waveguides. Theory," *Radioelectronics and Communications Systems*, no. 57 (1), pp. 1–30, 2014. <https://doi.org/10.3103/S0735272714010014>.
- [19] F. F. Dubrovka, and S. I. Piltyay, "Eigenmodes of coaxial quad-ridged waveguides. Numerical results," *Radioelectronics and Communications Systems*, no. 57 (2), pp. 59–69, 2014. <https://doi.org/10.3103/S0735272714020010>.
- [20] R. Lech, and J. Mazur, "Propagation in rectangular waveguides periodically loaded with cylindrical posts," *IEEE Microwave and Wireless Components Letters*, no. 14 (4), pp. 177–179, 2004. <https://doi.org/10.1109/LMWC.2004.827106>.
- [21] Q. C. Zhu, A. G. Williamson, and M. J. Neve, "Reactance of posts in circular waveguide," *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, no. 55 (8), pp.1685–1688, 2007. <https://doi.org/10.1109/TMTT.2007.901605>.
- [22] S. B. Sharma, V. K. Singh, R. Dey, and S. Chakrabarty, "Analysis of a post discontinuity in an oversized circular waveguide," *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, no. 57 (8), pp. 1989–1995, 2009. <https://doi.org/10.1109/TMTT.2009.2025448>.
- [23] J. Roelvink, and A.G. Williamson, "Three transverse cylindrical posts in a rectangular waveguide," *IEEE Microwave and Wireless Components Letters*, no. 20 (5), pp. 253–255, 2010. <https://doi.org/10.1109/LMWC.2010.2045578>.
- [24] M. Casaletti, R. Sauleau, M. Etorre, and S. Maci, "Efficient analysis of metallic and dielectric posts in parallel-plate waveguide structures," *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, no. 60 (10), pp. 2979–2989, 2012. <https://doi.org/10.1109/TMTT.2012.2209449>.
- [25] E. Archemashvili, K. Yasumoto, V. Jandieri, J. Pistora, H. Maeda, and D. Erni, *Numerical analysis of dielectric post-wall waveguides*, 25–28 Feb. 2020, Bucharest, Romania. <https://doi.org/10.1109/iWAT48004.2020.1570608549>.
- [26] B. Deutschmann, and A. F. Jacob, "Broadband septum polarizer with triangular common port," *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, no. 68 (2), pp. 693–700, 2020. <https://doi.org/10.1109/TMTT.2019.2951138>.
- [27] F. F. Dubrovka, S. I. Piltyay, R. R. Dubrovka, M. M. Lytvyn, and S. M. Lytvyn, "Optimum septum polarizer design for various fractional bandwidths," *Radioelectronics and Communications Systems*, vol. 63, no. 1, pp. 15–23, 2020. <https://doi.org/10.3103/S0735272720010021>.
- [28] 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*, no. 67 (20), pp. 592–596, 2019. <https://doi.org/10.1109/TMTT.2018.2881089>.
- [29] I. Agnihotri, and S. K. Sharma, "Design of a compact 3D metal printed Ka-band waveguide polarizer," *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, vol. 18, no. 12, pp. 2726–2730, 2019. <https://doi.org/10.1109/LAWP.2019.2950312>.
- [30] C. Molero, and M. Garcia-Viguera, "Circuit modeling of 3-D cells to design versatile full-metal polarizers," *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, no. 67 (4), pp. 1357–1369, 2019. <https://doi.org/10.1109/TMTT.2019.2898828>.
- [31] S. I. Piltyay, "Wideband antiphase power combiner/divider," на 9-й Международной научно-технической конференция «Современные проблемы радиотехники и телекоммуникаций», 22–26 апреля 2013, Севастополь, Украина, с. 220, 2009.
- [32] Y. Leviatan, P. G. Li, A. T. Adams, and J. Perini, "Single-post inductive obstacle in rectangular waveguide," *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, vol. 31, no. 10, pp. 806–812, 1983. <https://doi.org/10.1109/TMTT.1983.1131610>.
- [33] K. Sellal, L. Talbi, T. A. Denidni, and J. Lebel "Design and implementation of a substrate integrated waveguide phase shifter of a reconfigurable rectangular waveguide phase shifter with metallic posts," *IET Microwaves, Antennas & Propagation*. <https://doi.org/10.1049/iet-map.2008.20070135>.
- [34] L. Polo-Lopez, J. L. Masa, J. L., and J. A. Ruiz-Cruz, "Design of a reconfigurable rectangular waveguide phase shifter with metallic posts," *European Microwave Conference*, Oct. 2017, Nuremberg, Germany. <https://doi.org/10.23919/EuMIC.2017.8230730>.

Рекомендована кафедрою радіотехніки ВНТУ

Стаття надійшла до редакції 4.11.2020

**Булашенко Андрій Васильович** — старший викладач кафедри теоретичних основ радіотехніки, e-mail: an\_bulashenko@i.ua ;

**Пільтяй Степан Іванович** — канд. техн. наук, доцент кафедри теоретичних основ радіотехніки, e-mail: crosspolar@ukr.net ;

**Кушнір Ганна Сергіївна** — студентка радіотехнічного факультету, e-mail: madam.kushnir1999@gmail.com .

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ;

**Булашенко Олександр Васильович** — студент електромеханічного відділення, e-mail: alex.bulashenko2020@gmail.com .

Шосткинський фаховий коледж імені Івана Кожедуба Сумського державного університету, Шостка

**A. V. Bulashenko<sup>1</sup>**  
**S. I. Piltyay<sup>1</sup>**  
**H. S. Kushnir<sup>1</sup>**  
**O. V. Bulashenko<sup>2</sup>**

## **Compact Waveguide Polarizer with Three Antiphase Posts**

<sup>1</sup>National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»;

<sup>2</sup>Ivan Kozhedub Shostka professional college Technology of Sumy State University

Nowadays one of the fundamental problems is the economy of digital information and frequency resources. The introduction of modern telecommunication systems and 5G networks requires the search for fundamental methods to save and reuse frequency resources. To save the frequency resource in modern communication systems the new technologies for the increase of the information capacity of communication channels are used. Antenna systems with polarization signal processing are applied for this purpose. Such systems allow transmitting signals with different types of polarization. The application of the electromagnetic waves with orthogonal polarizations improves the information characteristics of radio systems for various purposes. This makes it possible to double the information capacity of satellite communication channels. In addition, such processing is carried out in meteorological and radar systems for receiving, transmitting and processing of the information. The key devices of such systems are polarizers and orthomode transducers. The electromagnetic characteristics of these devices affect the overall system performance. The electromagnetic characteristics include phase, matching and polarization characteristics. The article presents the results of the development of an adjustable polarizer based on a square waveguide with three posts. The developed polarizer operates in the X-band from 8,0 GHz to 8,5 GHz. The mathematical model of such a device is based on the scattering and transmission wave matrix. The characteristics of the model were obtained through the elements of this matrix. To check the correctness of the developed model, a model based on the finite integration method was also created. This method is often used to simulate microwave devices. The developed polarizer based on a square waveguide with three posts allows regulating its matching and polarization characteristics by changing the length of the posts. Such devices are characterized by small transverse dimensions and stability of the polarization transformation parameters.

**Keywords:** polarizer, post, waveguide, axial ratio, differential phase shift.

**Bulashenko Andrii V.** — Senior Lecturer of the Chair of Theoretical Foundations of Radio Engineering, e-mail: an\_bulashenko@i.ua ;

**Piltyay Stepan I.** — Cand. Sc. (Eng.), Associate Professor of the Chair of Theoretical Foundations of Radio Engineering, e-mail: crosspolar@ukr.net ;

**Kushnir Hanna S.** — Student of the Department of Radio Engineering, e-mail: madam.kushnir1999@gmail.com ;

**Bulashenko Oleksandr V.** — Student of the Electromechanical Department, e-mail: alex.bulashenko2020@gmail.com

**А. В. Булашенко<sup>1</sup>**  
**С. И. Пильяй<sup>1</sup>**  
**А. С. Кушнир<sup>1</sup>**  
**А. В. Булашенко<sup>2</sup>**

## **Компактный волноводный поляризатор с тремя противофазными штырями**

<sup>1</sup>Национальный технический университет Украины

«Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»;

<sup>2</sup>Шосткинский профессиональный колледж имени Ивана Кожедуба Сумского государственного университета

Одной из фундаментальных проблем современности является экономия цифровых информационных и частотных ресурсов. Внедрение новейших телекоммуникационных систем и сетей 5G требует поиска кардинальных методов экономии и повторного использования частотных ресурсов. В современных системах связи для экономии частотного ресурса используют новые технологии для увеличения информационной емкости каналов связи. С этой целью используют антенные системы с поляризационной обработкой сигналов. Такие системы дают возможность передавать сигналы с различными видами поляризации. Использование электромагнитных волн с ортогональными поляризациями улучшает информационные характеристики радиосистем различного

назначения. Это дает возможность вдвое увеличить информационную емкость спутниковых каналов связи. Кроме того, такая обработка осуществляется в метеорологических и радиолокационных системах приема, передачи и обработки информации. Ключевыми устройствами таких систем являются поляризаторы и ортомодовые преобразователи. Электромагнитные характеристики этих устройств влияют на характеристики общей системы. К электромагнитным характеристикам относятся фазовые, согласующие и поляризационные характеристики. В статье представлены результаты разработки регулируемого поляризатора на основе квадратного волновода с тремя штырями. Разработанный поляризатор работает в X-диапазоне от 8,0 ГГц до 8,5 ГГц. Математическая модель такого устройства основывается на волновой матрице рассеяния и передачи. Характеристики модели получены через элементы этой матрицы. Для проверки правильности работы разработанной модели также создана модель на основе метода конечного интегрирования. Этот метод часто используется для моделирования микроволновых устройств. Разработанный поляризатор на основе квадратного волновода с тремя штырями дает возможность осуществлять регулирование своих согласующих и поляризационных характеристик за счет изменения длины штырей. Такие устройства характеризуются малыми поперечными размерами и стабильностью параметров поляризационных преобразований.

**Ключевые слова:** поляризатор, штырь, волновод, дифференциальный фазовый сдвиг, коэффициент эллиптичности.

**Булашенко Андрей Василевич** — старший преподаватель кафедры теоретических основ радиотехники, e-mail: an\_bulashenko@i.ua ;

**Пильтяй Степан Иванович** — канд. техн. наук, доцент кафедры теоретических основ радиотехники, e-mail: crosspolar@ukr.net ;

**Кушнир Анна Сергеевна** — студент радиотехнического факультета, e-mail: madam.kushnir1999@gmail.com ;

**Булашенко Александр Василевич** — студент электромеханического отделения, e-mail: alex.bulashenko2020@gmail.com