

КОМПЛЕКСНИЙ ПОЛЯРИЗАЦІЙНИЙ ПРИСТРІЙ FSS-ДІАПАЗОНУ ІЗ МОЖЛИВІСТЮ РЕГУЛЮВАННЯ

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського»;

Анотація

Запропоновано результати дослідження комплексного поляризаційного пристрою FSS-діапазону із можливістю регулювання за допомогою штирів.

Ключові слова: поляризатор, хвилевід, діафрагма, штир.

Abstract

The results of the development of a complex polarization device with a possibility of adjustment by posts in Ku range.

Keywords: polarizer, waveguide, iris, post.

Вступ

З кожним роком збільшується потреба в застосуванні поляризаційних пристроїв у сучасних телекомунікаційних системах. Широкого поширення також набуває поляризаційна обробка сигналів, що використовується в супутникових та телекомунікаційних системах обробки інформації [1-25]. Такими пристроями є поляризатори, що мають різні конструкції, але вони мають одну спільну функцію – перетворення видів поляризації. Найпростішими та популярними є прямокутні хвилеводи, що містять діафрагми та штирі в якості реактивних неоднорідностей [26-51], що широко застосовуються в Ku-діапазоні, тобто для супутникового зв'язку. Взагалі Ku-діапазон можна поділити на три під-діапазони: 10.7-11.7 ГГц; 11.7-12.5 ГГц; 12.5-12.8 ГГц, але в даній роботі будуть представлені результати для всього діапазону, без поділення на під-діапазони. В складі поляризатора містяться реактивні елементи – діафрагми, що виконують роль відбиваючого елемента для подальшого узгодження [52-86]. Проте, якщо недоліком поляризатора лише із діафрагмами є те, що відсутня подальша підстройка характеристик в залежності від потреб до використання, тобто характеристики є статичними після виготовлення, саме через це варто ще використовувати штирі, що допомагають нам з цією дилемою.

Метою роботи є дослідження основних характеристик комплексного поляризаційного пристрою FSS-діапазону із можливістю регулювання.

Результати дослідження

Конструктивно хвилевідний поляризатор з 4 діафрагмами та 2 штирями сумарно, по 2 діафрагми та 1 штирю, що розташовані симетрично, зображені нижче. (рис. 1). Висота двох діафрагм рівна h , та товщина w , два штиря висотою h_p та діаметру d , відстань між діафрагмою та штирем становить l .

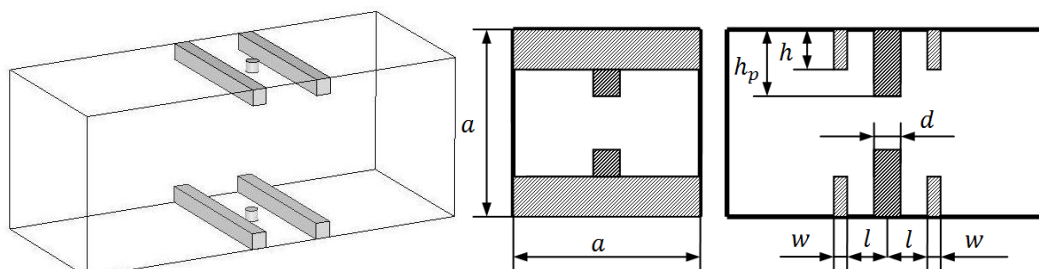


Рис. 1. Конструкція поляризатора

Дана конструкція забезпечує основні поляризаційні характеристики. Циліндричний штир забезпечує підстроювання характеристик за рахунок зміни висоти h_p .

Перед тим як перейти до узгоджувальних характеристик то варто відмітити, що ми використовували метод хвильових матриць для отримання основних параметрів хвильової матриці розсіювання:

$$[S_{\Sigma}] = \begin{bmatrix} S_{11,\Sigma} & S_{12,\Sigma} \\ S_{21,\Sigma} & S_{22,\Sigma} \end{bmatrix}$$

Отже варто перейти до визначення характеристик. Почнемо з диференційного фазового зсуву:

$$\Delta\varphi = \varphi_{21,\Sigma L} - \varphi_{21,\Sigma C}$$

КСХН горизонтальної та вертикальної поляризації визначається формулою:

Коефіцієнт еліптичності r , який передчасно варто перенести в лінійний масштаб:

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

Кроссполаризаційна розв'язка:

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

Нижче будуть представлені результати дослідження, а саме залежність характеристик від частоти для нашого діапазону частот 10.7 ГГц – 11.5 ГГц.

На рис. 2 представлена графічна залежність КСВН розробленого поляризатора для горизонтальної та вертикальної поляризації. Як видно, максимальний рівень КСХН для обох лінійних поляризацій рівний 2.0 та досягається на частоті 11.5 ГГц.

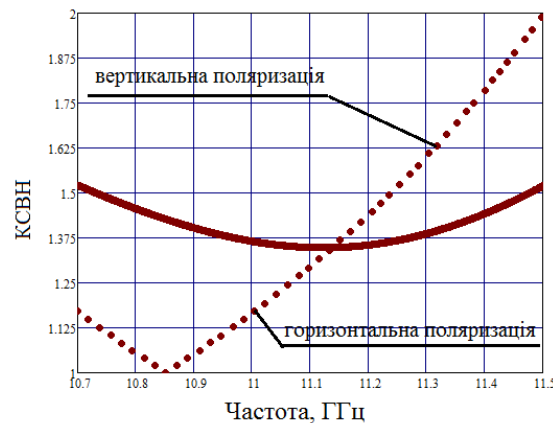


Рис. 2. Залежність КСВН від частоти для обох поляризацій

На рис. 3 приведена залежність диференційного фазового зсуву поляризатора у діапазоні частот 10.7-11.5 ГГц. Як видно, диференційний фазовий зсув рівний 90° на частоті 11.02 ГГц. В робочому діапазоні диференційний фазовий зсув поляризатора змінюється від 87.1° до 93.9° . Максимальне відхилення від 90° складає 3.9° та спостерігається на частоті 11.5 ГГц.

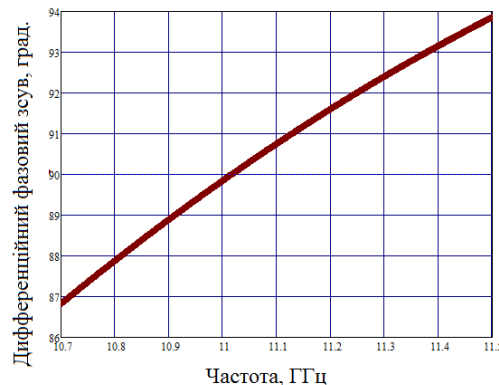


Рис. 3. Залежність диференційного фазового зсуву від частоти

Залежність коефіцієнта еліптичності та КПР поляризатора від частоти в робочому діапазоні частот можна побачити на рис. 4 та рис. 5 відповідно. На рис. 4 можна побачити, що максимальне значення складає 1.10 дБ.

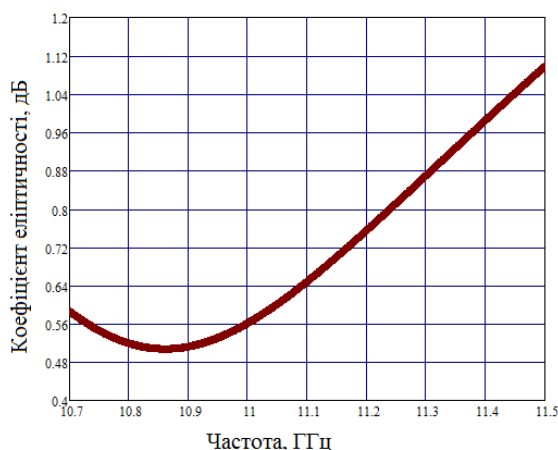


Рис. 4. Залежність коефіцієнта еліптичності від частоти

Із рис. 5 бачимо, що максимальне значення КПР складає 31 дБ. Варто зазначити, що границях діапазону 10.7-11,5 ГГц КПР приймає значення 29.6 дБ та 24 дБ відповідно.

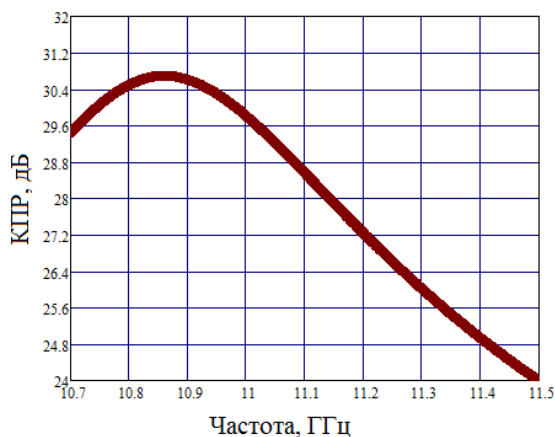


Рис. 5. Залежність КПР від частоти

Висновки

В дослідженні був спроектований поляризатор з діафрагмами та штирям для супутникових систем діапазону 10.7-11.5 ГГц, що показав робочі характеристики: КСХН, диференційного фазового зсуву, коефіцієнта еліптичності та КПР, які власне задовольняють вимоги сучасних супутникових систем.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Stutzman W.L. *Polarization in Electromagnetic Systems*, Artech House, Norwood 2018, 352 p.
2. Wang J. Spectral efficiency improvement with 5G technologies: results from field tests / J. Wang, A. Jin, D. Shi, L. Wang, H. Shen, D. Wu, L. Hu, L. Gu, L. Lu, Y. Chen, J. Wang // *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*. – 2017. – Vol. 35, No. 8. – pp. 1867-1875. DOI: 10.1109/JSAC.2017.2713498.
3. Choi J. Adaptive 5G architecture for an mmWave antenna front-end package consisting of tunable matching network and surface-mount technology / J. Choi, D. Choi, J. Lee, W. Hwang, W. Hong // *IEEE Transactions on Components, Packaging and Manufacturing Technology*. – 2020. – Vol. 10, No. 12. – pp. 2037-2046. DOI: 10.1109/TCPMT.2020.3034586.

4. Motz C. Low-complex digital cancellation of transmitter harmonics in LTE-A/5G / C. Motz, T. Paireder, M. Huemer // *IEEE Open Journal of the Communications Society*. – 2021. – Vol. 2. – pp. 948-963. DOI: 10.1109/OJOCOMS.2021.3073172.
5. Bulashenko A.V. Energy efficiency of the D2D direct connection system in 5G networks / A.V. Bulashenko, S.I. Piltyay, I.V. Demchenko // *IEEE International Conference on Problems of Infocommunications. Science and Technology*, 8-10 October 2020, Kharkiv, Ukraine, pp. 324–329.
6. Piltyay S.I. Wireless sensor network connectivity in heterogeneous 5G mobile systems / S.I. Piltyay, A.V. Bulashenko, I.V. Demchenko // *IEEE International Conference on Problems of Infocommunications. Science and Technology (PIC S&T)*, 8-10 October 2020, Kharkiv, Ukraine, pp. 508–513.
7. Bulashenko A.V. Combined criterion for the choice of routing based on D2D technology / A.V. Bulashenko // *Radio Electronics, Computer Science, Control*. – 2021. – Vol. 1. – pp. 7–13. (in Ukrainian). <http://doi.org/10.15588/1607-3274-2021-1-1>.
8. Bulashenko A.V. Evaluation of D2D Communications in 5G networks / A.V. Bulashenko // *Visnyk NTUU KPI Serii – Radiotekhnika, Radioaparotobuduvannia*. – 2020. – Vol. 81. – pp. 21–29. (in Ukrainian). <http://doi.org/10.20535/RADAP.2020.81.21-29>.
9. Bulashenko A.V. Data upload system using D2D technology in the unlicensed frequency range as part of the 5G communication system / A.V. Bulashenko // *Technical Engineering*. – 2020. – Vol. 86, No. 2. – pp. 103–107. (in Ukrainian). [http://doi.org/10.26642/ten-2020-2\(86\)-103-107](http://doi.org/10.26642/ten-2020-2(86)-103-107).
10. Barki A. M2M security: challenges and solutions / A. Barki, A. Bouabdallah, S. Gharout, Y. Traore // *IEEE Communications Surveys & Tutorials*. – 2016. – Vol. 18, No. 2. – pp. 1241-1254. DOI: 10.1109/COMST.2016.2515516.
11. Bulashenko A. New traffic model of M2M Technology in 5G wireless sensor networks / A. Bulashenko, S. Piltyay, A. Polishchuk, O. Bulashenko // *IEEE 2nd International Conference on Advanced Trends in Information Theory*, 25-27 November 2020, Kyiv, Ukraine, pp. 125–131. <http://doi.org/10.1109/ATIT50783.2020.9349305>.
12. Bulashenko A.V. Resource allocation for low-power devices of M2M technology in 5G networks / A.V. Bulashenko // *KPI Science news*. – 2020. – Vol. 3. – pp. 7–13. (In Ukrainian). <http://doi.org/10.20535/kpi-sn.2020.3.203863>.
13. Myronchuk O. Two-stage channel frequency response estimation in OFDM systems / O. Myronchuk, O. Shpylka, S. Zhuk // *Path of Science*. – 2020. – Vol. 6, No. 2. – pp. 1001-1007. DOI: 10.22178/pos.55-1.
14. Myronchuk O. Algorithm of channel frequency response estimation in orthogonal frequency division multiplexing systems based on Kalman filter / O. Myronchuk, O. Shpylka, S. Zhuk // *IEEE 15th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering*, 25-29 Feb. 2020, Lviv-Slavske, Ukraine. DOI:10.1109/TCSET49122.2020.235385.
15. Myronchuk O.Y. Two-Stage Method for Joint Estimation of Information Symbols and Channel Frequency Response in OFDM Communication Systems / O.Y. Myronchuk, A.A. Shpylka, S.Y. Zhuk // *Radioelectronics Communications System*. – 2020. – Vol. 63. – pp. 418–429. <https://doi.org/10.3103/S073527272008004X>.
16. Myronchuk A.Y. Channel frequency response estimation method based on pilot's filtration and extrapolation / A.Y. Myronchuk, O.O. Shpylka, S.Y. Zhuk // *Visnyk NTUU KPI Serii – Radiotekhnika Radioaparotobuduvannia*. – 2019. – Vol. 78. – pp. 36-42. DOI: 10.20535/RADAP.2019.78.36-42.
17. Meneghello F. IoT: Internet of Threats? A survey of practical security vulnerabilities in real IoT devices / F. Meneghello, M. Calore, D. Zucchetto, M. Polese, A. Zanella // *IEEE Internet of Things Journal*. – 2019. – Vol. 6, No. 5. – pp. 8182-8201. DOI: 10.1109/JIOT.2019.2935189.
18. Frustaci M. Evaluating critical security issues of the IoT word: present and future challenges / M. Frustaci, P. Pace, G. Aloï, G. Fortino // *IEEE Internet of Things Journal*. – 2017. – Vol. 5, No. 4. – pp. 2483-2495. DOI: 10.1109/JIOT.2017.2767291.
19. Santamaria L. Electronically pattern reconfigurable antenna for IoT applications / L. Santamaria, F. Ferrero, R. Staraj, L. Lizzi // *IEEE Open Journal of Antennas and Propagation*. – 2021. – Vol. 2. – pp. 546-554. DOI: 10.1109/OJAP.2021.3073104.
20. Oteafy S.M.A. Leveraging tactile internet cognizance and operation via IoT and edge technologies / S.M.A. Oteafy, H.S. Hassanein // *Proceedings of the IEEE*. – 2019. – Vol. 107, No. 2. – pp. 364-375. DOI: 10.1109/JPROC.2018.2873577.

21. Alquthami T. Smart house management and control without customer inconvenience / T. Alquthami, A.P. Meliopoulos // *IEEE Transactions on Smart Grid*. – 2018. – Vol. 9, No. 4. – pp. 2553-2556. DOI: 10.1109/TSG.2016.2614708.
22. Гнитецький В.А. Забезпечення дуже низьких затримок у стільниковій системі 5G на базі МЕС / В.А. Гнитецький, А.В. Булашенко // Міжнародна науково-технічна конференція «Радіотехнічні поля, сигнали, апарати та системи». Київ, 18 – 24 листопада 2019 р — Київ, 2019. — С. 153 – 155.
23. Гладун В.В. Забезпечення високої якості мережі 5G за допомогою технології D2D / В.В. Гладун, А.В. Булашенко // Міжнародна науково-технічна конференція «Радіотехнічні поля, сигнали, апарати та системи». Київ, 18 – 24 листопада 2019 р — Київ, 2019. — С. 57 – 59.
24. Ляшко Д.Г. Спільне використання ресурсів D2D та мобільного зв'язку / Д.Г. Ляшко, А.В. Булашенко // *Матеріали V Всеукраїнської науково-методичної конференції*, м. Шостка, 23 квітня 2020 року. – Суми: Сумський державний університет, 2020. — С. 170 –171.
25. Булашенко А.В. Побудова векторних діаграм за допомогою математичного пакету MathCAD / А.В. Булашенко // *Науково-методична конференція викладачів, співробітників і студентів: тези доповідей*, 27 квітня 2010 року. — Суми : СумДУ, 2010. — Ч.2. — С. 10-13.
26. Гладун В.В. Система вигризки на основі D2D / В.В. Гладун, А.В. Булашенко // *Матеріали V Всеукраїнської науково-методичної конференції*, м. Шостка, 23 квітня 2020 року. – Суми: Сумський державний університет, 2020. — С. 166 –167.
27. Булашенко А.В. Аналіз можливостей хмарних технологій / А.В. Булашенко, О.Л. Литвинець // *Матеріали II Всеукраїнської науково-методичної конференції*, м. Шостка, 20 квітня 2017 року. – Суми: Сумський державний університет, 2020.
28. Amin F. Compact and low-loss phase shifters and multibit phase shifters based on inverted-E topology / F. Amin, Y. Liu, Y. Zhao, S. Hu // *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*. – 2021. – Vol. 69, No. 4. – pp. 2120-2129. DOI: 10.1109/TMTT.2021.3061482.
29. Hensley D.M. A stretchable liquid metal coaxial phase shifter / D.M. Hensley, C.G. Christodoulou, N. Jackson // *IEEE Open Journal of Antennas and Propagation*. – 2021. – Vol. 2. – pp. 370-374. DOI: 10.1109/OJAP.2021.3063289.
30. Piltyay S.I. Compact Ku-band iris polarizers for satellite telecommunication systems / S.I. Piltyay, O.Yu. Sushko, A.V. Bulashenko, I.V. Demchenko // *Telecommunications and Radio Engineering*. – 2020. – Vol. 79, no. 19. – pp. 1673–1690. DOI:10.1615/TelecomRadEng.v79.i19.10.
31. Bulashenko A.V. Wave matrix technique for waveguide iris polarizers simulation. Theory / A.V. Bulashenko, S.I. Piltyay, I.V. Demchenko // *Journal of Nano- and Electronic Physics*. – 2020. – Vol. 12, no. 6. – pp. 06026-1–06026-5. DOI: 10.21272/jnep.12(6).06026.
32. Bulashenko A.V. Equivalent microwave circuit technique for waveguide iris polarizers development / A.V. Bulashenko, S.I. Piltyay // *Visnyk NTUU KPI Seriya – Radiotekhnika, Radioaparatabuduvannia*. – 2020. – Vol. 83. – pp. 17–28. <http://doi.org/10.20535/RADAP.2020.83.17-28>.
33. Piltyay S.I. Analytical synthesis of waveguide iris polarizers / S.I. Piltyay, A.V. Bulashenko, I.V. Demchenko // *Telecommunications and Radio Engineering*. – 2020. – Vol. 79, No 18. – pp. 1579–1597. <http://doi.org/10.1615/TelecomRadEng.v79.i18.10>.
34. Bulashenko A.V. Optimization of a polarizer based on a square waveguide with irises / A.V. Bulashenko, S.I. Piltyay, I.V. Demchenko // *Science-Based Technologies*. – 2020. – Vol. 47, No. 3. – pp. 287–297. (in Ukrainian). <http://doi.org/10.18372/2310-5461.47.14878>.
35. Bulashenko A.V. Waveguide polarizer with three irises for antennas of satellite television systems / A.V. Bulashenko, S.I. Piltyay, H.S. Kushnir, O.V. Bulashenko // *Science-Based Technologies*. – 2020. – Vol. 49, No. 1. – pp. 39–48. (in Ukrainian). <http://doi.org/10.18372/2310-5461.49.15290>.
36. Piltyay S. FDTD and FEM simulation of microwave waveguide polarizers / S. Piltyay, A. Bulashenko, Ye. Herhil, O. Bulashenko // *IEEE 2nd Int. Conf. on Advanced Trends in Information Theory*, 25-27 November 2020, Kyiv, Ukraine, pp. 132-137. DOI: 10.1109/ATIT50783.2020.9349339.
37. Bulashenko A.V. Analytical technique for iris polarizers development / A.V. Bulashenko, S.I. Piltyay, I.V. Demchenko // *IEEE International Conference on Problems of Infocommunications. Science and Technology (PIC S&T)*. – Kharkiv, Ukraine, 2020. – pp. 471-476.
38. Bulashenko A.V. Analytical technique for iris polarizers development / A.V. Bulashenko, S.I. Piltyay, I.V. Demchenko // *IEEE International Conference on Problems of Infocommunications. Science and Technology*, 8-10 October 2020, Kharkiv, Ukraine, pp. 464–469.

39. Piltyay S.I. Waveguide iris polarizers for Ku-band satellite antenna feeds / S.I. Piltyay, A.V. Bulashenko, I.V. Demchenko // *Journal of Nano- and Electronic Physics*. – 2020. – Vol. 12, No. 5. pp. 05024-1–05024-5. [http://doi.org/10.21272/jnep.12\(5\).05024](http://doi.org/10.21272/jnep.12(5).05024).
40. Piltyay S.I. Numerical performance of FEM and FDTD methods for the simulation of waveguide polarizers / S.I. Piltyay, A.V. Bulashenko, Y.Y. Herhil // *Visnik NTUU KPI Seriiia – Radiotekhnika, Radioaparotobuduvannia*. – 2021. – Vol. 84. – pp. 11–21. DOI:10.20535/RADAP.2021.84.11-21.
41. Bulashenko A.V. Compact waveguide polarizer with three antiphase posts / A.V. Bulashenko, S.I. Piltyay, H.S. Kushnir, O.V. Bulashenko // *Visnyk VPI*. – 2020. – Vol. 5. – pp. 97–104. [In Ukrainian]. DOI: 10.31649/1997-9266-2020-151-5-97-104.
42. Piltyay S.I. High performance waveguide polarizer for satellite information systems / S.I. Piltyay, A.V. Bulashenko, Ye.I. Kalinichenko, O.V. Bulashenko // *Bulletin of Cherkasy State Technological University*. – 2020. – Vol. 4. – pp. 14–26. [In Ukrainian]. DOI: 10.24025/2306-4412.4.2020.217129.
43. Bulashenko A.V. Simulation of compact polarizers for satellite telecommunication systems with the account of irises' thickness / A.V. Bulashenko, S.I. Piltyay, I.V. Demchenko // *KPI Science news*. – 2021. – Vol. 1. – pp. 25–33. <http://doi.org/10.20535/kpi-sn.2021.1.203863>.
44. Булашенко А.В. Конструкція портативного цифрового мегометра та вимірювача струму витоку / А.В. Булашенко, І.В. Забегалов // *Вісник ВПІ*. – 2020. – Вип. 3. – с. 37–42. <https://doi.org/10.31649/1997-9266-2020-150-3-37-42>.
45. Piltyay S. Information resources economy in satellite systems based on new microwave polarizers with tunable posts / S. Piltyay, A. Bulashenko, H. Kushnir, O. Bulashenko // *Path of Science*. – 2020. – Vol. 6, No 11. – pp. 5001–5010. <http://doi.org/10.22178/pos.55-1>.
46. Bulashenko A.V. Compact waveguide polarizer with three antiphase posts / A.V. Bulashenko, S.I. Piltyay, H.S. Kushnir, O.V. Bulashenko // *Visnyk VPI*. – 2020. – Vol. 5. – pp. 97–104. [In Ukrainian]. DOI: 10.31649/1997-9266-2020-151-5-97-104.
47. Bulashenko A.V. Tunable square waveguide polarizer with irises and posts / A.V. Bulashenko, S.I. Piltyay, Y.I. Kalinichenko, O.V. Bulashenko // *Technical Engineering*. – 2020. – Vol. 86, no 2. – pp. 108–116. [In Ukrainian]. DOI: 10.26642/ten-2020-2(86)-108-116.
48. Piltyay S. New tunable iris-post square waveguide polarizers for satellite information systems / S. Piltyay, A. Bulashenko, H. Kushnir, O. Bulashenko // *IEEE 2nd International Conference on Advanced Trends in Information Theory*, 25-27 November 2020, Kyiv, Ukraine, pp. 342-348. DOI: 10.1109/ATIT50783.2020.9349357.
49. Bulashenko A. Mathematical modeling of iris-post sections for waveguide filters, phase shifters and polarizers / A. Bulashenko, S. Piltyay, Ye. Kalinichenko, O. Bulashenko // *IEEE 2nd International Conference on Advanced Trends in Information Theory*, 25-27 November 2020, Kyiv, Ukraine, pp. 330-336. DOI: 10.1109/ATIT50783.2020.9349321.
50. Dubrovka F. Boundary problem solution for eigenmodes in coaxial quad-ridged waveguides / F. Dubrovka, S. Piltyay // *Information and Telecommunication Science*. – 2014. – Vol. 5, no. 1. – pp. 48–61. DOI: 10.20535/2411-2976.12014.48-61.
51. Dubrovka F. Prediction of eigenmodes cutoff frequencies of sectoral coaxial ridged waveguides / F. Dubrovka, S. Piltyay // *IEEE International Conference on Modern Problem of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science*, 21-24 February 2012, Lviv, Ukraine.
52. Naydenko V. Evolution of radiopulses radiated by Hertz's dipole in vacuum / V. Naydenko, S. Piltyay // *IEEE International Conference on Mathematical Methods in Electromagnetic*, 1-2 July 2008, Odessa, Ukraine. DOI: 10.1109/MMET.2008.4580972.
53. Dubrovka F.F. Eigenmodes analysis of sectoral coaxial ridged waveguides by transverse field-matching technique. Part 1. Theory. / F.F. Dubrovka, S.I. Piltyay // *Visnyk NTUU KPI Seriiia – Radiotekhnika, Radioaparotobuduvannia*. – 2013. – Vol. 54. – pp. 13–23. <http://doi.org/10.20535/RADAP.2013.54.13-23>.
54. Dubrovka F. F. Eigenmodes of sectoral coaxial ridged waveguides // F.F. Dubrovka, S.I. Piltyay // *Radioelectronics and Communications Systems*. — 2012. — Vol. 55, № 6. — P. 239–247. DOI: <https://doi.org/10.3103/S0735272712060015>.
55. Dubrovka F. F. Eigenmodes of coaxial quad-ridged waveguides. Numerical results // F.F. Dubrovka, S.I. Piltyay // *Radioelectronics and Communications Systems*. — 2014. — Vol. 57, № 2. — P. 59–69. DOI: <https://doi.org/10.3103/S0735272714020010>.

56. Dubrovka F. A novel wideband coaxial polarizer / F. Dubrovka, S. Piltyay // IX International Conference on Antenna Theory and Techniques, 16-20 Sept. 2013, Odessa, Ukraine, pp. 473-474. DOI: 10.1109/ICATT.2013.6650816.
57. Dubrovka F. Numerically effective basis functions in integral equation technique for sectoral coaxial ridged waveguides / F. Dubrovka, S. Piltyay // XI International Conference on Mathematical Methods in Electromagnetic Theory, 28-30 Aug. 2012, Kharkiv, Ukraine, pp. 492-495. DOI: 10.1109/MMET.2012.6331195.
58. Bulashenko A.V. Beamforming principles of smart antennas / A.V. Bulashenko // *Visnik Sumy State University. Seriya Technical sciences.* – 2010. – Vol. 1. – pp. 111-120.
59. Булашенко А.В. Живлення антенних решіток на основі лінз Ротмана (огляд) / А.В. Булашенко, Ф.Ф. Дубровка // Вісник Сумського державного університету. Серія Технічні науки. - 2010. - №3, Т.2. - С. 113-120.
60. Bulashenko A.V. Multibeam arrays on the basis of Rotman lenses / A.V. Bulashenko // *Visnyk NTUU KPI Seriya – Radiotekhnika, Radioaparotobuduvannia.* – 2010. – Vol. 42. – pp. 178–186. <http://doi.org/10.20535/RADAP.2010.42.178-186>.
61. Piltyay S.I. Enhanced C-band coaxial orthomode transducer / S.I. Piltyay // *Visnyk NTUU KPI Seriya – Radiotekhnika, Radioaparotobuduvannia.* – 2014. – Vol. 58. – pp. 27–34. <http://doi.org/10.20535/RADAP.2014.58.27-34>.
62. Dubrovka F. A high performance ultrawideband orthomode transducer and dual-polarized quad-ridged horn antenna based on it / F. Dubrovka, S. Piltyay // IEEE International Conference on Antenna Theory and Techniques, 20-23 Sept. 2011, Lviv, Ukraine, pp. 176-178. DOI: 10.1109/ICATT.2011.6170737.
63. Dubrovka F. Novel high performance coherent dual-wideband orthomode transducer for coaxial horn feeds / F. Dubrovka, S. Piltyay // XI International Conference on Antenna Theory and Techniques, 24-27 May 2017, Kyiv, Ukraine, pp. 277-280. DOI: 10.1109/ICATT.2017.7972642.
64. Boifot A.M. Simple and broadband orthomode transducer / A.M. Boifot, E. Lier, T. Schaug-Pettersen // *Proceedings IEE.* – 2008. – Vol. 137, No. 6. – pp. 396-400.
65. Bulashenko A.V. Wave matrix technique for waveguide iris polarizers simulation. Theory / A.V. Bulashenko, S.I. Piltyay, I.V. Demchenko // *Journal of Nano- and Electronic Physics.* – 2020. – Vol. 12, no. 6. – pp. 06026-1–06026-5. DOI: 10.21272/jnep.12(6).06026.
66. Zhuk S.Ya. Synthesis of extremely wide stopband E-plane bandpass filters / S.Ya. Zhuk, M.Y. Omelianenko, T.M. Romanenko, O.V. Tureeva // *Visnyk NTUU KPI Seriya – Radiotekhnika, Radioaparotobuduvannia.* – 2021. – Vol. 84. – pp. 22–29. <http://doi.org/10.20535/RADAP.2021.84.22-29>.
67. Omelianenko M.Yu. Stopband characteristics improvement of waveguide planar E-plane filters // M.Yu. Omelianenko, T.M. Romanenko, S.Ya. Zhuk, O.V. Turieieva // *Radioelectronics and Communications Systems.* — 2021. — Vol. 64, № 2. — P. 53–63. DOI: <https://doi.org/10.3103/S0735272721020011>.
68. Tovkach I.O. Adaptive filtration of parameters of the UAV movement on data from its location on the basis the time difference of arrival method / I.O. Tovkach, S.Y. Zhuk // IEEE First Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering, 1-2 June 2017, Kiev, Ukraine. DOI: 10.1109/UKRCON.2017.8100466.
69. Tovkach I.O. Adaptive filtration of parameters of the UAV movement based on the TDOA-measurement sensor networks // I.O. Tovkach, S.Ya Zhuk // *Journal of Aerospace Technology and Management.* — 2019. — Vol. 11. — e3519. DOI: <https://doi.org/10.5028/jatm.v11.1062>.
70. Omelianenko M. E-plane stepped-impedance bandpass filter with wide stopband / M. Omelianenko, T. Romanenko // IEEE International Conference on Electronics and Nanotechnology, 22-24 April 2020, Kyiv, Ukraine. DOI: 10.1109/ELNANO50318.2020.9088888.
71. Omelianenko M.Yu. High efficiency waveguide-planar amplifier with spatial power combining for frequency range 31-39 GHz. // M.Yu. Omelianenko, T.M. Romanenko // *Radioelectronics and Communications Systems.* — 2019. — Vol. 62. — P. 195–201. DOI: <https://doi.org/10.3103/S0735272719050017>.
72. Dubrovka F. Compact X-band stepped-thickness septum polarizer / F. Dubrovka, S. Piltyay, O. Sushko, R. Dubrovka, M. Lytvyn, S. Lytvyn // IEEE Ukraine Microwave Week, 21-25 Sept. 2020, Kharkiv, Ukraine. DOI: 10.1109/UkrMW49653.2020.9252583.

73. Sushko O. Symmetrically fed 1-10 GHz log-periodic dipole antenna array feed for reflector antennas / O. Sushko, S. Piltyay, F. Dubrovka, // *IEEE Ukraine Microwave Week*, 21-25 Sept. 2020, Kharkiv, Ukraine. DOI: 10.1109/UkrMW49653.2020.9252778.
74. Ruiz-Cruz A. Compact reconfigurable waveguide circular polarizers / A. Ruiz-Cruz, M. M. Fahmi, M. Daneshmand, and R. R. Mansour // *IEEE Microwave Symposium Digest*, Baltimore, USA, June 2011, pp. 1–4. DOI: 10.1109/MWSYM.2011.5972872.
75. Roelvink J. Three transverse cylindrical posts in a rectangular waveguide / J. Roelvink, A. G. Williamson // *IEEE Microwave and Wireless Components Letters*. – 2010. – Vol. 20, no. 5. – pp. 253–255, 2010. DOI: 10.1109/LMWC.2010.2045578.
76. Zhu Q. C. Reactance of posts in circular waveguide / Q. C. Zhu, A. G. Williamson, and M. J. Neve // *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*. – 2007. – Vol. 55, no. 8. – pp. 1685–1688. DOI: 10.1109/TMTT.2007.901605.
77. Virone G. Optimum-iris-set concept for waveguide polarizers / G. Virone, R. Tascone, O.A. Peverini and R. Orta // *IEEE Microwave and Wireless Components Letters*. – 2007. – Vol. 17, no. 3. – p. 202–204. DOI: 10.1109/LMWC.2006.890474.
78. Arndt F. Design of a wideband compact square waveguide polarizer / F. Arndt, W. Tuchkone, T. Wriedt // *Electronics Letters*. – 1985. – Vol. 21, №12. – p. 517-518. DOI: 10.1049/el:19850365.
79. Virone G. Optimum-iris-set concept for waveguide polarizers / G. Virone, R. Tascone, O.A. Peverini and R. Orta // *IEEE Microwave and Wireless Components Letters*. – 2007. – Vol. 17, no. 3, p. 202–204. DOI: 10.1109/LMWC.2006.890474.
80. Subbarao B. Compact coaxial-fed polarizer / B. Subbarao, V.F. Fusco // *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*. – 2004. – Vol. 3. – pp. 145–147. DOI: 10.1109/LAWP.2004.831084.
81. Hwang S. New design method for a dual band waveguide iris polarizer / S. Hwang and B. C. Ahn // *2007 International Symposium on Microwave, Antenna, Propagation and EMC Technologies for Wireless Communications*, Hangzhou, China. <http://doi.org/10.1109/MAPE.2007.4393644>.
82. Liu Y. Design and optimization of wide and dual band waveguide polarizer / Y. Liu, F. Li, X. Li, H. He // *Global Symposium on Millimeter Waves*, Nanjing, China, April 2008. <https://doi.org/10.1109/APMC.2000.925721>.
83. Chittora A. A compact circular waveguide polarizer with higher order mode excitation / A. Chittora, S.V. Yadav // *IEEE International Conference on Electronics, Computing and Communication Technologies*, Bangalore, India, July 2020. DOI: 10.1109/CONECCT50063.2020.9198499.
84. Kulik D.Yu. Compact polarization plane rotator at a given angle in the square rectangular waveguide / D.Yu. Kulik, S.A. Steshenko, A.A. Kirilenko // *Telecom. and Radio Engineering*. – 2017. – Vol. 76, no. 1. – pp. 855–864, 2017. doi:10.1615/TelecomRadEng.v76.i10.20.
85. Park B.M. Sensitivity analysis of square waveguide iris polarizers / B. M. Park, P. Ramunujam, F. Boldissar, C. Shin // *Proceedings of IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium and URSI National Radio Science Meeting*, Seattle, USA, 1994, <http://doi.org/10.1109/APS.1994.407908>.
86. Hwand S. Design of a full-band polariser used in WR-22 standard waveguide for satellite communications / S. Hwand, K. Lee // *The Journal of Engineering*. – 2014. – Vol. 9. – pp. 508–513. DOI: 10.1049/JOE.2014.0216.

Калініченко Єлизавета Ігорівна — студентка групи РС-71, радіотехнічного факультету, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», Київ, e-mail: kaliza@ukr.net;

Булашенко Андрій Васильович — ст. викл. кафедри теоретичних основ радіотехніки, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського», Київ, e-mail: a.bulashenko@kpi.ua

Kalinichenko Yelyzaveta I. — Department of Radio Engineering, National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, e-mail: kaliza@ukr.net;

Bulashenko Andrew V. — Senior Lecturer of Department of Radio Engineering, National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, e-mail: a.bulashenko@kpi.ua.