

АНАЛІЗ ДІАФРАГМОВИХ ПОЛЯРИЗАТОРІВ

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

Анотація

У дослідженні поданий аналіз конструкцій та характеристик поляризаційних пристроїв на основі прямокутного хвилеводу з діафрагмами.

Ключові слова: поляризатор, хвилевідний поляризатор, хвилевід, діафрагма, коефіцієнт еліптичності, фазовий зсув.

Abstract

The study presents an analysis of the design and characteristics of polarizing devices based on a rectangular waveguide with diaphragms.

Keywords: polarizer, waveguide polarizer, waveguide, diaphragm, ellipticity coefficient, phase shift.

Вступ

У наш час для збільшення інформаційної ємності безпроводових каналів зв'язку, та економії частотних ресурсів, які є обмеженими, використовують нові технології 5G [1-12].

У супутникових системах для повторного використання частотного ресурсу застосовують поляризаційну обробку сигналів. Використання сигналів із коловою поляризацією зменшує ефект завмирання та усуває інтерференційні завади сигналів, що виникають за рахунок багатопроменевого поширення [13-18]. Для кожного відбиття сигнали, що відбиваються від поверхні Землі або від інших об'єктів, змінюють свою поляризацію на ортогональну. Таким чином, рівень спотворень сигналів з непарним числом відбиттів у приймальній антени буде дуже незначним. Також у випадку застосування ортогональних поляризацій інформаційна ємність бездротового каналу зв'язку збільшується вдвічі. У сучасних антенних системах [19-21] для поляризаційної обробки сигналів використовують поляризаційні пристрої на основі квадратних та круглих хвилеводів із різними видами реактивних елементів всередині [22-50].

Результати дослідження

Радіохвилі, які використовуються в супутниковому зв'язку, зазвичай мають колову поляризацію, щоб уникнути фарадєвського обертання, викликаного іоносферою. Для генерації лінійно поляризованої хвилі в фідерах відбивної антени зазвичай використовується перетворювач поляризації хвилевідного типу, зазвичай званий поляризатором. Діафрагмові поляризатори являють собою вид хвилевідних поляризаторів з досить гарними характеристиками і широкою смугою пропускання.

Поляризатор із діафрагми складається із тонких металевих ребер, розташованих на двох протилежних стінках квадратного хвилеводу. Діафрагма діє як шунтуючий конденсатор в лінії передачі для режиму з її електричним полем, перпендикулярним до діафрагми. Коли електричне поле паралельно до діафрагми, діафрагму можна уявити як послідовний індуктор. У першому випадку місткість навантаження збільшує постійну поширення фази, тоді як у другому випадку постійна поширення фази зменшується. Коли лінійно поляризована хвиля з електричним полем під кутом 45 градусів до діафрагми падає на вхідну площину поляризатора діафрагми, вона перетворюється в хвилю з круговою поляризацією після поширення через поляризатор.

Автори статті [61] розробили новий інструмент для проектування хвилеводних поляризаторів. Метод корисний для проектування хвилеводних поляризаторів, такими як діафрагми або канавки. На основі цього методу був розроблений хвилевідний поляризатор із 8 діафрагмами для роботи на

частотах 30.5-33.5 ГГц. Такий поляризатор забезпечує диференційний фазовий зсув $90^\circ \pm 0,4^\circ$, кросполяризаційна розв'язка менше 48 дБ (рис. 1). Недоліками цієї конструкції є її складність.

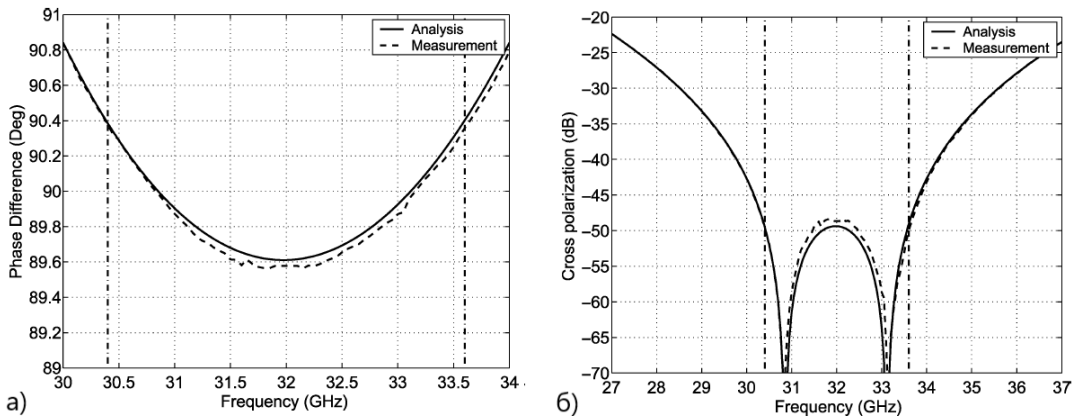


Рис.1. Залежність від частоти: а) фазового зсуву; б) КПП

В статті [62] розроблений поляризатор на основі прямокутного хвилеводу на основі 18 діафрагм. Його конструкція подана на рис. 2.

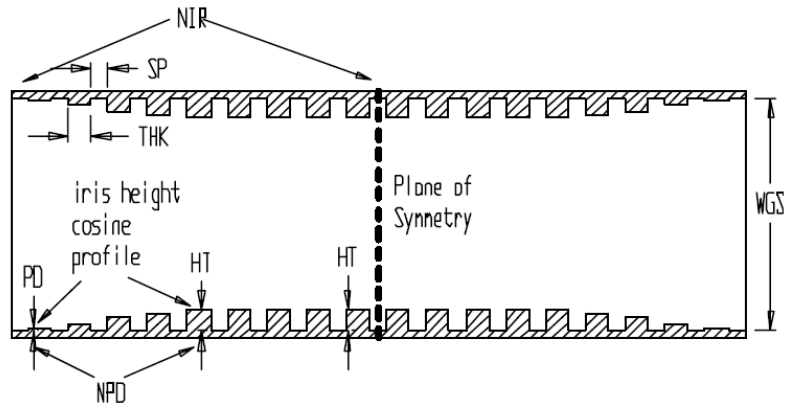


Рис.2. Конструкція поляризатора із 18 діафрагмами.

Він розрахований для роботи для смуг частот 7,14–7,18 ГГц та 8,41–8,43 ГГц із зворотними втратами краще -40 дБ. Кросполяризаційна розв'язка більше 35 дБ, диференціальний фазовий зсув підтримує значення $90^\circ \pm 2,1^\circ$ (рис. 3).

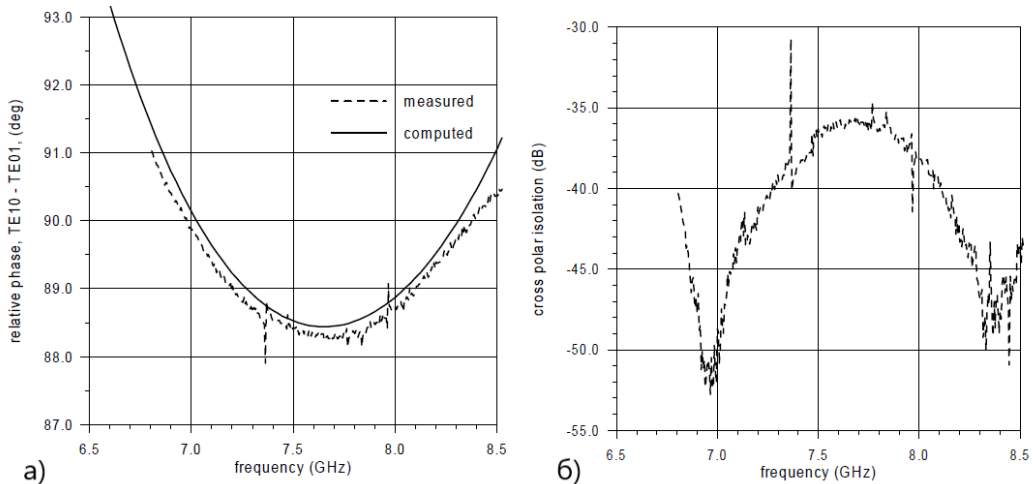


Рис.3. Залежність від частоти: а) фазового зсуву; б) КПП

Недоліками цього пристрою є відносно вузька робоча смуга частот і розмір конструкції.

У статті [63] були подані результати розробки конструкції поляризатора на основі квадратного хвилеводу із 4 діафрагмами (рис. 4).

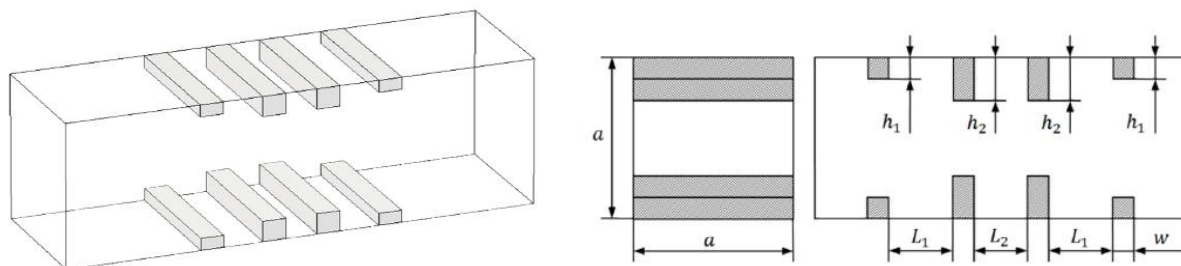


Рис.4. Конструкція поляризатора із 4 діафрагмами.

Цей пристрій розрахований для роботи в смузі частот 10,7 – 12,8 ГГц. Диференціальний фазовий зсув його становить $90^\circ \pm 3,5^\circ$ (рис. 5). Максимальний рівень кросполяризаційної розв'язки становить 30,3 дБ (рис. 6).

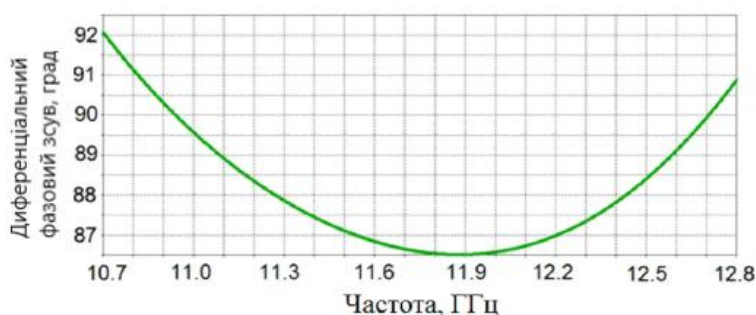


Рис. 5. Залежність диференціального фазового зсуву від частоти

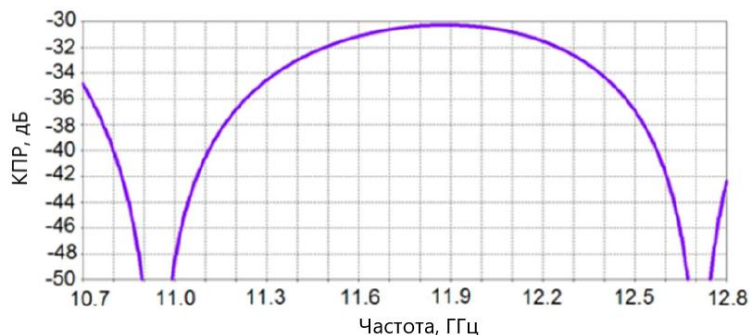


Рис. 6. Залежність КПР від частоти

Таким чином, поляризатор забезпечує якісні поляризаційні характеристики та задовольняє вимогам узгодження у сучасних супутникових інформаційних системах. До його недоліків можна віднести досить не якісний рівень узгодження.

Висновки

Таким чином, в ході дослідження були проаналізовані особливості конструкції та характеристики поляризаційних пристроїв на основі квадратного хвилеводу із діафрагмами. Було визначено, що кращі характеристики має поляризатор із більшою кількістю діафрагм. Але це здійснюється за рахунок збільшення габаритних розмірів конструкції.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. 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.
2. 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>.
3. 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.
4. 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.
5. Bulashenko A.V. Evaluation of D2D Communications in 5G networks / A.V. Bulashenko // *Visnyk NTUU KPI Serii – Radiotekhnika, Radioaparobuduvannia*. – 2020. – Vol. 81. – pp. 21–29. (in Ukrainian). <http://doi.org/10.20535/RADAP.2020.81.21-29>.
6. 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>.
7. 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).
8. 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>.
9. 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.
10. 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.
11. 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>.
12. 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 Radioaparobuduvannia*. – 2019. – Vol. 78. – pp. 36-42. DOI: 10.20535/RADAP.2019.78.36-42.
13. 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>.
14. 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.
15. 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.
16. 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.
17. 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.

18. 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.

19. Bulashenko A.V. Multibeam arrays on the basis of Rotman lenses / A.V. Bulashenko // Visnyk NTUU KPI Serii A – Radiotekhnika, Radioaparotobuduvannia. – 2010. – Vol. 42. – pp. 178–186. <http://doi.org/10.20535/RADAP.2010.42.178-186>.

20. 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.

21. Bulashenko A.V. Beamforming principles of smart antennas / A.V. Bulashenko // *Visnik Sumy State University. Serii Technical sciences*. – 2010. – Vol. 1. – pp. 111-120.

22. 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.

23. 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).

24. Bulashenko A.V. Equivalent microwave circuit technique for waveguide iris polarizers development / A.V. Bulashenko, S.I. Piltyay // *Visnyk NTUU KPI Serii A – Radiotekhnika, Radioaparotobuduvannia*. – 2020. – Vol. 83. – pp. 17–28. <http://doi.org/10.20535/RADAP.2020.83.17-28>.

25. 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.

26. 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>.

27. 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 // *Visnyk NTUU KPI Serii A – Radiotekhnika, Radioaparotobuduvannia*. – 2021. – Vol. 84. – pp. 11–21. DOI:10.20535/RADAP.2021.84.11-21.

28. Piltyay S.I. Compact polarizers for satellite information systems / S.I. Piltyay, A.V. Bulashenko, I.V. Demchenko // *IEEE International Conference on Problems of Infocommunications. Science and Technology (PIC S&T)*. – Kharkiv, Ukraine, 2020. – pp. 350-355.

29. 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.

30. 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>.

31. 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*. – 2021. – Vol. 49, No. 1. – pp. 39–48. (in Ukrainian). <http://doi.org/10.18372/2310-5461.49.15290>.

32. 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.

33. 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.

34. 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>.

35. 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>.
36. 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.
37. 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>.
38. 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.
39. 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.
40. 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.
41. 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 Seriya – Radiotekhnika, Radioaparobuduvannia. – 2013. – Vol. 54. – pp. 13–23. <http://doi.org/10.20535/RADAP.2013.54.13-23>.
42. 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>.
43. 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>.
44. 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.
45. 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.
46. 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.
47. 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.
48. 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.
49. 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.
50. 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.
51. 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>.

52. 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 Seria – Radiotekhnika, Radioaparaturbuduvannia*. – 2021. – Vol. 84. – pp. 22–29. <http://doi.org/10.20535/RADAP.2021.84.22-29>.
53. 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.
54. 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>.
55. 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.
56. 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>.
57. Dubrovka F.F., Piltyay S.I. (2020) Ultrawideband microwave biconical high-gain antenna for dual-band systems of omnidirectional radio monitoring, *Radioelectronics and Communications Systems*, vol. 63, no. 12, pp. 619–632, 2020. DOI: 10.3103/S0735272720120028.
58. Dubrovka F.F., Piltyay S.I., Yu.O. Ovsyanik, Dubrovka R.R. (2020) Eight-channel directional of orthogonal H₂₁ modes in circular waveguide for X-band quasi-monopulse antenna systems, *Radioelectronics and Communications Systems*, vol. 63, no. 12, pp. 656–665, 2020. DOI: 10.3103/S0735272720010021.
59. Dubrovka F. Circularly Polarised X-band H₁₁- and H₂₁-modes antenna feed for monopulse autotracking ground station / F. Dubrovka, S. Martunyuk, R. Dubrovka, M. Lytvyn, S. Lytvyn, Yu. Ovsianyk, S. Piltyay, O. Sushko, O. Zakharchenko // *IEEE Ukraine Microwave Week*, 21-25 Sept. 2020, Kharkiv, Ukraine. DOI: 10.1109/UkrMW49653.2020.9252600.
60. Dubrovka F.F. Optimum septum polarizer design for various fractional bandwidths // F.F. Dubrovka, S.I. Piltyay, R.R. Dubrovka, M.M. Lytvyn, S.M. Lytvyn // *Radioelectronics and Communications Systems*. — 2020.
61. Virone G. A novel design tool for waveguide polarizers / G. Virone, R. Tascone, M. Baralis, O.A. Peverini, A. Olivieri and R. Orta // *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*. – 2005. – Vol. 53, no. 3. – p. 888–894. <https://ieeexplore.ieee.org/document/4588983>.
62. 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>.
63. 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.

Добри́вечор Владислав Вячеславович — студент групи РС-п81, радіотехнічного факультету, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», Київ, e-mail: lexaxjjk@gmail.com;

Булаше́нко Андрі́й Васи́льович — ст. викл. кафедри теоретичних основ радіотехніки, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського», Київ;

Dobryvechor Vladyslav V. — Department of Radio Engineering, National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, e-mail: lexaxjjk@gmail.com;

Bulashenko Andrew V. — Senior Lecturer of Department of Radio Engineering, National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv;