

АНАЛІЗ СУЧАСНИХ ХВИЛЕВІДНИХ ПОЛЯРИЗАЦІЙНИХ ПРИБОРІВ

¹Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського»;

²Шосткинський фаховий коледж ім. Івана Кожедуба Сумського державного Університету

Анотація

Розглянуто порівняльний аналіз електромагнітних характеристик сучасних хвильовідних поляризаційних пристроїв. Такий підхід показує порівняння основних характеристик та пристроїв.

Ключові слова: фазозсувач, відгалужувач, зворотні втрати, коефіцієнт відбиття, коефіцієнт передачі.

Abstract

The comparative analysis of electromagnetic characteristics of modern waveguide polarizing devices is considered. This approach shows a comparison of the main characteristics and devices.

Keywords: polarization, diaphragm, post, waveguide, polarizer.

Вступ

На сьогодні дуже швидко розвиваючими мережі 5G [1-3]. До перспективних технологій цього стандарту належать такі: технології D2D [4-8], технології M2M [9-11], технології OFDM [13-15], технології IoT [16-18] та технології віртуальної та доповненої реальності [19-20]. Паралельно з цими технологіями використовуються технології поляризаційної обробки [25-27], що здійснюється у складних антенних системах [28-30]. Ключовим елементом таких систем є поляризаційні пристрої, фільтруючі та фазозсувні пристрої [27-28], що будуються на основі прямокутного та квадратного хвильоводів. Поляризатори виготовляються за допомогою штирів [44-45], діафрагм [29-43], їх комбінацій [46-48], структур із коаксіалами та ребрами [49-56]. Сфера застосування цих пристроїв дуже широка від супутникових систем до радіонавігаційних, радіолокаційних систем, різноманітних антенних решітках з обробкою сигналів [57-72].

Антенні системи із поляризаційною обробкою сигналів для зменшення інтерференційних завад використовують сигнали із коловою поляризацією. Тип поляризації електромагнітної хвилі має вплив на її поширення радіоканалом. Ці системи дають можливість передавати та приймати одночасно сигнали із різними типами поляризацій. На виході поляризатора різниця фаз має бути 90° . Оскільки характеристики поляризаторів суттєво впливають на роботу всієї системи, то їх розробка та оптимізація є актуальною задачею. Основними характеристиками поляризаторів є фазова, узгоджувальна та поляризаційна.

Результати дослідження

Поляризаційні пристрої дають можливість передавати та приймати одночасно сигнали із різними типами поляризацій. На виході поляризатора, що має забезпечувати колову поляризацію фазовий зсув між вертикальною та горизонтальною поляризаціями має бути 90° (рис. 1).

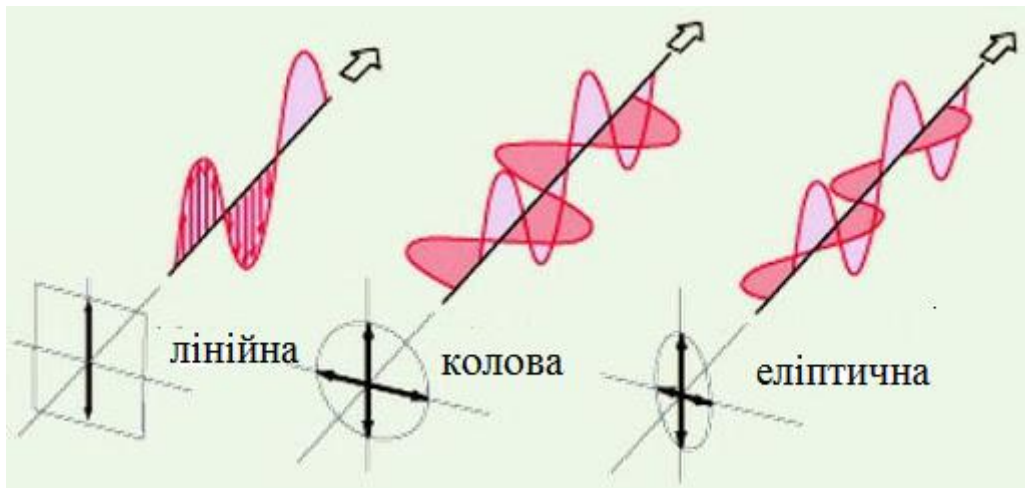


Рис. 1. Види поляризації

Поляризаційні пристрої на основі круглих та квадратних хвильоводів зображені на рис. 2.

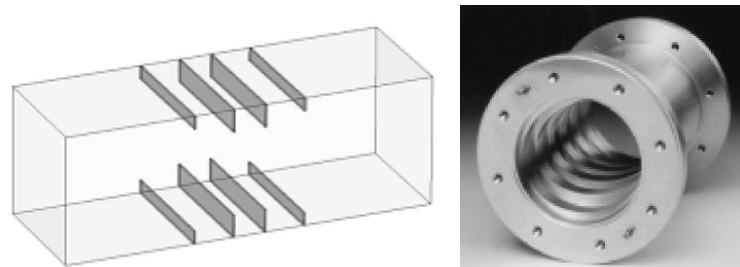


Рис. 2. Поляризаційні пристрої на квадратному та круглому хвильоводах

Крім того, поляризаційні пристрої будуть на основі діафрагм, штирів, пластин або ребристих структур, що зображені на рис. 3.

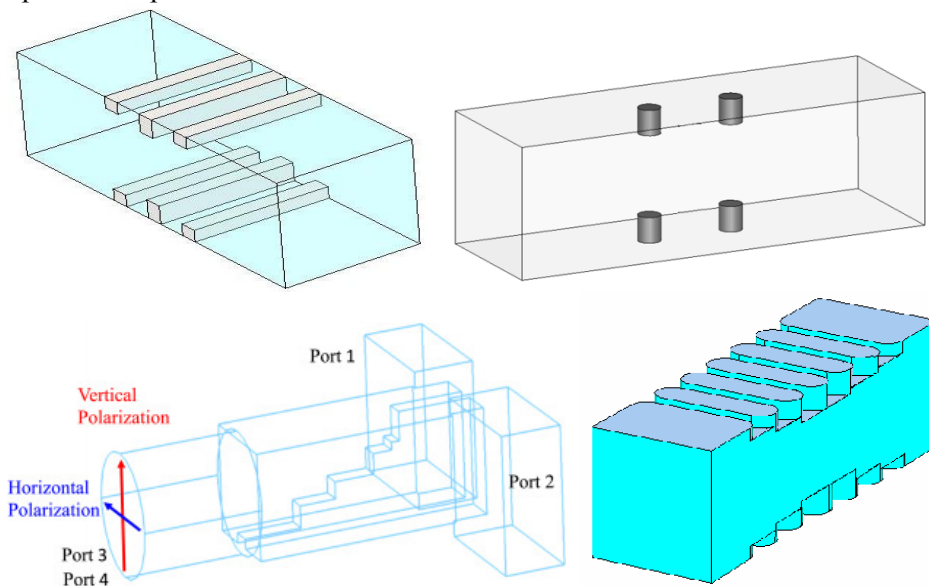


Рис. 3. Поляризаційні пристрої з діафрагмами, щтирями, пластинами та ребристими структурами

На виході поляризатора, що має забезпечувати колову поляризацію фазовий зсув між вертикальною та горизонтальною поляризаціями має бути 90° . Чим точніше він підтримується, тим він краще. На практиці фазовий зсув має форму прямої лінії або параболи (рис. 4). До

узгоджувальних характеристик відносять коефіцієнт відбиття (рис. 5), коефіцієнт передачі та коефіцієнт стійкої хвилі за напругою.

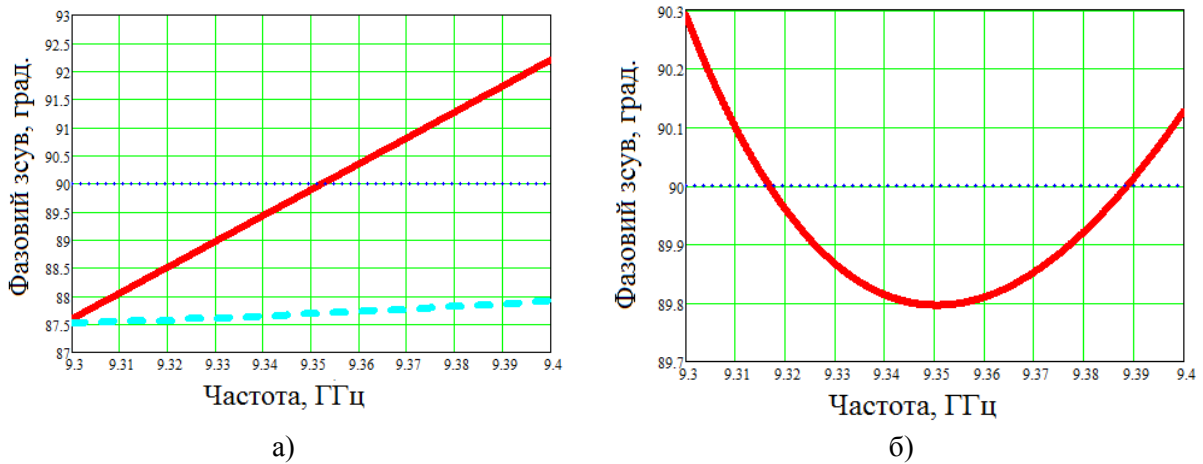


Рис. 4. Залежність фазового зсуву від частоти

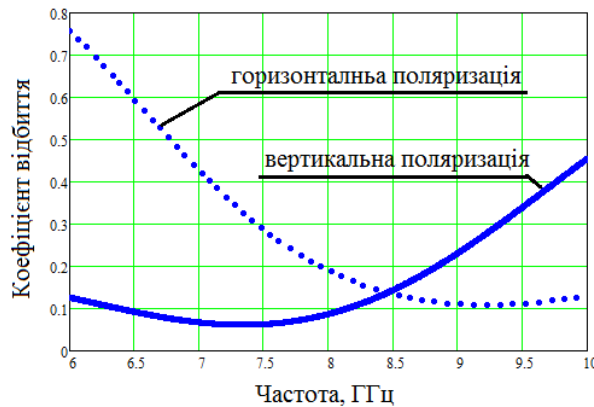


Рис. 5. Залежність коефіцієнта передачі від частоти

До поляризаційних характеристик належить рівень кросполяризаційної розв'язки (КПР, рис. 6) та коефіцієнт еліптичності. Чим більше мінімальний рівень КПР, тим краще.

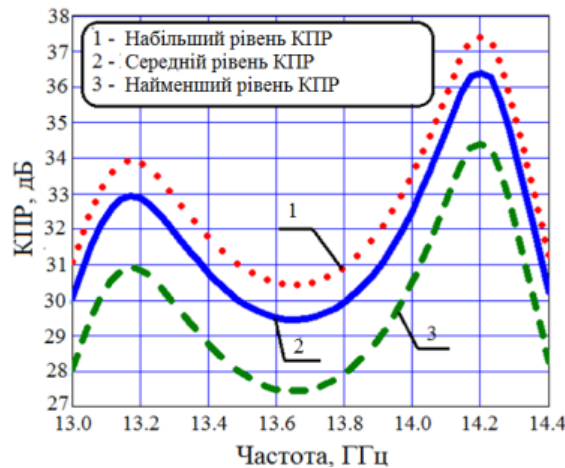


Рис. 6. Поляризаційна характеристика

Поляризаційні пристрої як правило будують або на круглomu хвилеводі або на прямокутному. Найбільш поширеними структурами хвилеводних поляризаторів є структури із діафрагмами [42-50], штирями [51-52] та комбіновані [53-55].

Таблиця 1. Аналіз характеристик поляризаторів

Джерело	Смуга частот	Довжина, мм	КПР, дБ	Фазовий зсув, град.	Коеф. відбиття
[42]	37.8%	24.6	27	90°±7.5°	0.71
[43]	10%	15.4	30	90°±10°	0.65
[44]	15%	27.9	25	90°±2.8°	0.37
[45]	34.2%	16.5	30	90°±3°	0.24
[46]	6.7%	12.8	28	90°±3.2°	0.71
[47]	30%	17.4	35	90°±9.2°	0.47
[48]	30%	20.6	29	90°±3.3°	0.51
[49]	13.8%	30.0	15.4	90°±5.5°	0.71
[50]	15%	21.6	21.7	90°±8°	0.8
[51]	17.9%	31.5	21.5	90°±7°	0.45
[52]	17.9%	17.3	29	90°±4°	0.30
[53]	17.9%	24.5	30	90°±3.5°	0.24
[54]	21%	19.5	30	90°±3.4°	0.36
[55]	17.9%	20.4	33	90°±2.6°	0.13

Таблиця 1 демонструє, що найкращі характеристики мають поляризатори із більшою кількістю реактивних елементів із вузкою смугою частот.

Висновки

Отже, при проектуванні поляризаційних пристроїв необхідно визначати компроміс між його основними характеристиками та габаритними розмірами у робочі смугі частот.

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. 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.
3. 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.
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. 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.
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. Evaluation of D2D Communications in 5G networks / A.V. Bulashenko // *Visnyk NTUU KPI Seriya – Radiotekhnika, Radioaparobuduvannia*. – 2020. – Vol. 81. – pp. 21–29. (in Ukrainian). <http://doi.org/10.20535/RADAP.2020.81.21-29>.
8. 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).
9. 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.
10. 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>.

11. 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>.

12. 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.

13. 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.

14. 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>.

15. 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 Seriya - Radiotekhnika Radioaparobuduvannia*. – 2019. – Vol. 78. – pp. 36-42. DOI: 10.20535/RADAP.2019.78.36-42.

16. 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.

17. 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.

18. 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.

19. 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.

20. 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.

21. Гнитецький В.А. Забезпечення дуже низьких затримок у стільниковій системі 5G на базі MEC / 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.

22. 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.

23. 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.

24. 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.

25. 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.

26. 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.

27. 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.

28. 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.
29. 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.
30. 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.
31. Bulashenko A.V. Equivalent microwave circuit technique for waveguide iris polarizers development / A.V. Bulashenko, S.I. Piltyay // *Visnyk NTUU KPI Serii – Radiotekhnika, Radioaparotobuduvannia*. – 2020. – Vol. 83. – pp. 17–28. <http://doi.org/10.20535/RADAP.2020.83.17-28>.
32. 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>.
33. 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>.
34. 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>.
35. 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.
36. 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.
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*, 8-10 October 2020, Kharkiv, Ukraine, pp. 464–469.
38. 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).
39. 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 – Radiotekhnika, Radioaparotobuduvannia*. – 2021. – Vol. 84. – pp. 11–21. DOI:10.20535/RADAP.2021.84.11-21.
40. 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.
41. 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.
42. 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>.
43. Булашенко А.В. Конструкція портативного цифрового мегомметра 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>.
44. 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>.
45. 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.

46. 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.
47. 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.
48. 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.
49. 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.
50. 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.
51. 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.
52. 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, Radioaparobuduvannia*. – 2013. – Vol. 54. – pp. 13–23. <http://doi.org/10.20535/RADAP.2013.54.13-23>.
53. 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>.
54. 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>.
55. 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.
56. 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.
57. Bulashenko A.V. Beamforming principles of smart antennas / A.V. Bulashenko // *Visnik Sumy State University. Seriiia Technical sciences*. – 2010. – Vol. 1. – pp. 111-120.
58. 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.
59. Bulashenko A.V. Multibeam arrays on the basis of Rotman lenses / A.V. Bulashenko // *Visnyk NTUU KPI Seriiia – Radiotekhnika, Radioaparobuduvannia*. – 2010. – Vol. 42. – pp. 178–186. <http://doi.org/10.20535/RADAP.2010.42.178-186>.
60. Piltyay S.I. Enhanced C-band coaxial orthomode transducer / S.I. Piltyay // *Visnyk NTUU KPI Seriiia – Radiotekhnika, Radioaparobuduvannia*. – 2014. – Vol. 58. – pp. 27–34. <http://doi.org/10.20535/RADAP.2014.58.27-34>.
61. 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.
62. 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.

63. 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.
64. 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.
65. 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 Serii – Radiotekhnika, Radioaparaturbuduvannia. – 2021. – Vol. 84. – pp. 22–29. <http://doi.org/10.20535/RADAP.2021.84.22-29>.
66. 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>.
67. 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.
68. 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>.
69. 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.
70. 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>.
71. 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.
72. 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.

Булашенко Андрій Васильович — ст. викл. кафедри теоретичних основ радіотехніки, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського», Київ;

Поліщук Аліна Вікторівна — студентка групи РС-01мн, радіотехнічного факультету, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ, e-mail: animeshka177al@gmail.com;

Пільтяй Степан Іванович — к.т.н., доцент кафедри теоретичних основ радіотехніки, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ.

Забегалов Ігор Вікторович — викл. електротехнічного відділення, Шосткинський фаховий коледж імені Івана Кожедуба Сумського державного університету, м. Шостка, e-mail: igor_zabegalov@meta.ua.

Bulashenko Andrew V. — senior lecture of the chair of theoretical foundations of radio engineering, National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv;

Polishchuk Alina V. — Student of the Radio Engineering Faculty, National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, e-mail: animeshka177al@gmail.com;

Piltyay Stepan I. — Cand. Sc. (Eng), Assistant Professor of the Department of Theoretical Foundations of Radio Engineering, National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv.

Zabegalov Igor V. — lecturer of Electromechanical Department, Ivan Kozhedub Shostka Professional College of Sumy State University, Shostka, Sumy region, e-mail: igor_zabegalov@meta.ua;