

УКОРОЧЕНА КОНСТРУКЦІЯ ОРТОМОДОВОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА

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

²Шосткинський фаховий коледж ім. Івана Кожедуба Сумського державного Університету

Анотація

Розглянуто широкосмуговий ортомодовий перетворювач з укороченою конструкцією у робочій смузі частот від 40 до 100 ГГц. Такий пристрій може забезпечити найменший рівень кроссполаризаційну ізоляцію - 23 дБ та найменший рівень ізоляції 33 дБ.

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

Abstract

A broadband orthomode transducer with a shortened design in the operating frequency band from 40 to 100 GHz is considered. Such a device can provide the lowest level of cross-polarization insulation -23 dB and the lowest level of insulation 33 dB.

Keywords: orthomode transducer, isolation, polarization, waveguide, polarizer.

Вступ

Останнім часом широко розвиваються нові телекомунікаційні мережі 5G [1-3]. Це відбувається завдяки розвитку нових технологій, що використовує цей стандарт. До них можна віднести технології взаємодії між пристроями D2D [4-8], технології взаємодії між машинами M2M [9-11], технології із ортогональними частотами OFDM [13-15], технології IoT [16-18], технології віртуальної та доповненої реальності [19-20], технології розумного будинку [21-24] та інші. Поряд з ними все більше використовуються технології поляризаційного рознесення [25-27], що використовуються у антенних системах з поляризаційною обробкою сигналів. В них використовуються різноманітні поляризаційні пристрої, фільтруючі та фазозсувні пристрої [27-28]. Вони конструюються на основі діафрагм [29-43], штирів [44-45], їх комбінацій [46-48], ребристих та коаксіальних структурах [49-56]. Такі пристрої широко використовуються в різноманітних телекомунікаційних інформаційних системах. Крім, вони широко використовуються в різноманітних антенних решітках та пристроях із інтелектуальним формуванням променя [57-59].

Сучасні радіоастрономічні приймачі містять ортомодові перетворювачі. Сьогодні ортомодовий перетворювач є пасивним пристрій, що здійснює розділення два ортогонально лінійно поляризованих сигналів в межах того ж частотного діапазону. Конструкція пристрою містить три порти та має властивості пристрою із чотирма полюсами. Як правило, вхідний порт є хвилевід із квадратним або круглим перетином забезпечує два електричних порти, що відповідають незалежним поляризованим. Цей пристрій забезпечує високий рівень поляризаційної ізоляції між ортогональними сигналами, низький рівень внесених втрат та добре узгодження всіх електричних портів із відносною смугою пропускання 30% та вище. Крім того, існують конструкції ортомодових перетворювачів, що забезпечують смуги пропускання менше 30% [60] - [62]. Щоби усунути збудження хвиль більш високого порядку, необхідно виготовляти високосиметричні структури та досягти широкої смуги пропускання, до 40% та більше.

При виготовленні є вимоги невеликих розмірів та жорстких допусків. Широкопasmові конструкції таких перетворювачів працюють на основі двократного симетричного переходу Бойфота [63] - [65], симетрична турнікетна розв'язка із чотирма сходинками [66] - [67], перехід типу Бойфота у вигляді двох гребнів [68] - [69], та хвилевідний перехід із зворотним зв'язком [70], що використовуються в радіотелескопі Сардинії для діапазону 84–116 ГГц. В діапазоні частот 385-500 ГГц був створений широкопasmовий ортомодовий пристрій. В [71] представлені результати розробки пристрій на основі з'єднання Бойфота із дома гребнями.

Результати дослідження

У роботі розглянуто широкопasmовий диференційний фазозсувач, що працює в смузі частот 2-8 ГГц. Для моделі фазозсувача використовується відбиваючі фазозсувачі. Для побудови використовується широкопasmовий гібридний відгалужувач, що має навантаження у вигляді зосередженої індуктивності або ємності.

Продуктивність ортомодового перетворювача можна покращити за рахунок зменшення довжини вхідної секції квадратного хвилеводу пристрою. На рис. 1 представлена конструкція ортомодового перетворювача із максимально короткої довжини вхідного хвилеводу. У конструкції фізична довжина хвилеводного кола пристрою приймає значення від 6,5 мм до 20 мм. Використовується міні-фланц для овального виходу хвилеводу, що дає можливість додавати до блоку глибоко посаджені кармани для двох інших фланців. Такий підхід зводить до мінімуму довжину входу та виходу квадратного хвилеводу. Крім того, кінцевий розмір міні-фланцу вимагає збереження додаткової довжини хвилеводу, що складає 11 мм, мінімум 5,5 мм та місце для кріплення. Більш того, була збільшена довжина прямокутної ділянки хвилеводу між поляризаційних частотним детектором із двома сходами та овальним хвилеводом. Центральні штифти та отвори під гвинти міні-фланцу знаходяться на колі для болтів 11 мм. Суматор потужності та додаткові скрутки хвилеводу у бічних рукавах використовуються для усунення механічних завад між штифтами міні-фланца та гвинтами із хвилевідним контуром. Оскільки міні-фланец майже повністю оточує хвилевідне коло, то додаткова пара гвинтів 1-72, що використовується в перехідній конструкції, була видалена а. Деталі кріплення фланцу використовуються для додавання додаткової сили затискання половини блоку роз'ємну поряд із контуром.

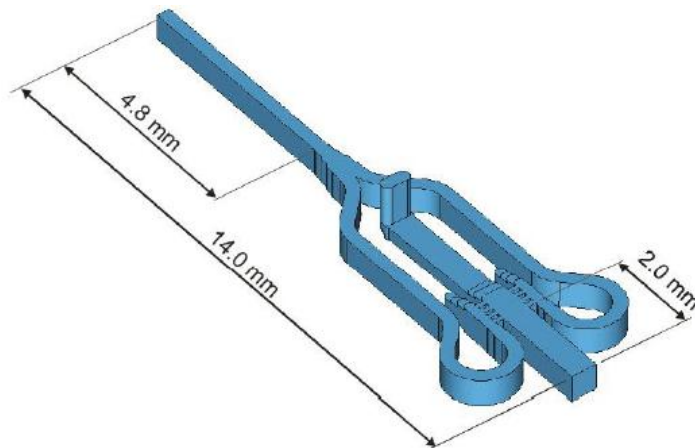


Рис. 1. Схема диференційного фазозсувача відбивного типу

На рис. 2 та рис. 3 представлені результати моделювання характеристик ортомодового перетворювача. Були проаналізовані два випадки для ортомодового перетворювача при $\delta = 2$ мкм, $\delta = 5$ мкм. Отримані результати свідчать, що вхідні відбиття слабо залежать від δ та нижче -17 дБ у діапазоні 40–100 ГГц.

На рис. 2 наведена залежність ізоляції від частоти. Можна зазначити, що ізоляція приймає значення порядку -35 дБ та -42 дБ для $\delta = 2$ мкм та 5 мкм відповідно. Отже, при зменшенні довжини квадратного хвилеводу на виході пристрою з 2 мм до нуля (ідеальний випадок), то рівень кросполяризаційної ізоляції із поперечним перетином $\delta = 5$ мкм між половинки блока зменшаться приблизно до -30 дБ.

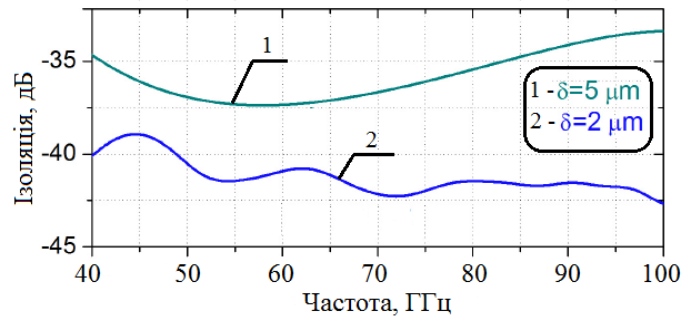


Рис.2. Залежність ізоляції від частоти

На рис. 3 подана залежність рівня кросполяризаційної ізоляції від частоти у діапазоні частот 40-100 ГГц. Звідси видно, що рівень перехресної поляризації зменшується до -30 дБ з $\delta = 2$ мкм.

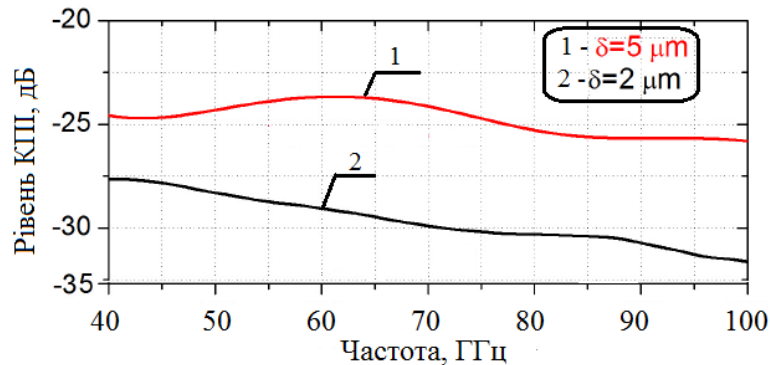


Рис.3. Залежність рівня КПІ від частоти

Висновки

Отже, був розглянутий оргомодовий перетворювач у діапазоні 40-100 ГГц. Внесені втрати склали 2 дБ, відбиття стало менше -10 дБ, ізоляція була менше -25 дБ, а рівень кросполяризації менше -10 дБ для обох каналів поляризації.

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. Pilyay, I.V. Demchenko // *IEEE International Conference on Problems of Infocommunications. Science and Technology*, 8-10 October 2020, Kharkiv, Ukraine, pp. 324–329.
5. Pilyay S.I. Wireless sensor network connectivity in heterogeneous 5G mobile systems / S.I. Pilyay, 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 Seriiia – Radiotekhnika, Radioaparotobuduvannia*. – 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 Seriiia - Radiotekhnika Radioaparotobuduvannia*. – 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 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.
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 Seriiia – 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 Seriiia – 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 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>.
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 Serii A – 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 principals of smart antennas / A.V. Bulashenko // *Visnik Sumy State University. Serii A 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 Serii A – Radiotekhnika, Radioaparotobuduvannia. – 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 Serii A – Radiotekhnika, Radioaparotobuduvannia. – 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. Wollack E.J. Symmetric waveguide orthomode junctions / E.J. Wollack, W. Grammer // 14th International Symposium on Space Terahertz technology, 24-27 April 2003, Tucson, USA, pp. 169-176.
65. Narayanan G. Full-waveguide band orthomode transducer for the 3 mm and 1 mm bands / E.J. Wollack, W. Grammer // 14th International Symposium on Space Terahertz technology, 24-27 April 2003, Tucson, USA, pp. 508-512.
66. Narayanan G. Design of a dual polarization SIS sideband separating receiver based on waveguide OMT for 375-370 GHz frequency band / G. Navarrini, M. Carter // 14th International Symposium on Space Terahertz technology, 24-27 April 2003, Tucson, USA, pp. 159-168.
67. Navarrini A. A turnstile junction waveguide orthomode transducer / A. Navarrini, R.L. Plambeck // IEEE Trans. Microwave Theory Tech. – 2006. – Vol. 54, No. 1. – pp. 272-277.
68. Narayanan G. Test of 1 mm band turnstile junction waveguide orthomode transducer / G. Navarrini, A. Bolatto, R.L. Plambeck // 17th International Symposium on Space Terahertz technology, 10-12 May 2006, Paris, France.
69. Pisano G. A broadband WR10 turnstile junction orthomode transducer / G. Pisano, L. Pietranera, K. Isaak, L. Piccirillo, B. Johnson, B. Maffei, S. Melhuish // IEEE Microwave and Wireless Components Letters. – 2007. – Vol. 17, No. 4. – pp. 272-277.
70. Navarrini A. Symmetric reverse-coupling waveguide orthomode transducer for 3 mm band / A. Navarrini, R. Nesti // IEEE Trans. Microwave Theory Tech. – 2009. – Vol. 57, No. 1. – pp. 80-88.
71. Groppi C. Broadband finline orthomode transducer for the 750-1150 GHz band / C. Groppi, C.Y. Drouer d-Aubigny, A.W. Lichtenberger, C.M. Lyons, C.K. Walker // 16th International Symposium on Space Terahertz technology, May 2005, Calers, France, pp. 513-518.

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

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

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

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

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;

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;

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.

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;