

**ЕЛЕКТРОДИНАМІКА. ПРИСТРОЇ НВЧ ДІАПАЗОНУ.
АНТЕННА ТЕХНІКА**

УДК 621.396.677.73

**НОВИЙ ДВОДІАПАЗОННИЙ КОАКСІАЛЬНО-РУПОРНИЙ
ОПРОМІНЮВАЧ ДЗЕРКАЛЬНИХ АНТЕН
С-/Ku- ДІАПАЗОНІВ ЧАСТОТ**

*Дубровка Ф. Ф.¹, д.т.н. професор; Овсяник Ю. А.¹, асистент;
Дубровка Р. Ф.², к.т.н.*

¹*Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут», Київ, Україна*

²*Queen Mary, University of London, Лондон, Великобританія*

**A NOVEL C-/Ku-BAND COAXIAL FEED HORN
FOR REFLECTOR ANTENNAS**

*Dubrovka F. F.¹, Doc. Of Sci., Prof.; Ovsianyk Yu. A.¹, assistant;
Dubrovka R.F.², Cand. Of Sci (Technics)*

¹*National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, Ukraine*

²*Queen Mary, University of London, London, United Kingdom*

Вступ

Стрімкий розвиток супутникових інформаційних систем і пов'язане з ним освоєння нових діапазонів частот вимагає використання дзеркальних антен, що працюють одночасно у двох і більше діапазонах частот на ортогональних поляризаціях. Це може бути забезпечено лише за рахунок дво- і багатодіапазонних опромінювачів, здатних працювати в широких смугах частот при низьких рівнях кросполяризаційного випромінювання.

Недавно авторами цієї статті запропоновано нове технічне рішення [1] багатодіапазонного опромінювача дзеркальних антен. Опромінювач складається з рупорів різного діаметра, для кожного робочого діапазону частот, розташованих один всередині іншого, утворюючи коаксіальну структуру. Кожен із рупорів частково заповнюється діелектриком так, щоб між металевою поверхнею та діелектричною вставкою залишались повітряні щілини. За рахунок такого діелектричного заповнення створені схожі з гофрованим рупором умови збудження та поширення гібридних хвиль. Математичну модель такого рупора представлено в [2]. Теоретичні та експериментальні результати досліджень дводіапазонного коаксіального рупора з частковим діелектричним заповненням представлені в [3-6]. Після оптимізації конструктивних параметрів отримано прийнятне значення коефіцієнта відбиття $|S_{11}| \leq -14$ дБ, вісесиметричну діаграму спрямованості та низький рівень кросполяризаційного випромінювання (у смузі частот 20% при роз-

несенні робочих діапазонів 3:1 на 10...12 дБ у НЧ діапазоні та близько 12...14 дБ у ВЧ діапазоні менший у порівнянні з аналогічним звичайним коаксіальним та конічним рупором без діелектричної вставки). Окрім переваг присутні також недоліки: суттєва відмінність ширин діаграми спрямованості в робочих діапазонах при їх незначних рознесеннях (3:1) та високий рівень бічних пелюсток -12...-14 дБ, що здебільшого залежить від співвідношення діаметрів апертур НЧ/ВЧ рупорів.

У цій статті представлено результати теоретичних та експериментальних досліджень характеристик випромінювання та узгодження нової конструкції дводіапазонного коаксіально-рупорного опромінювача С-/Ку-діапазона частот, у якого усунуто зазначені вище недоліки.

Концепція побудови

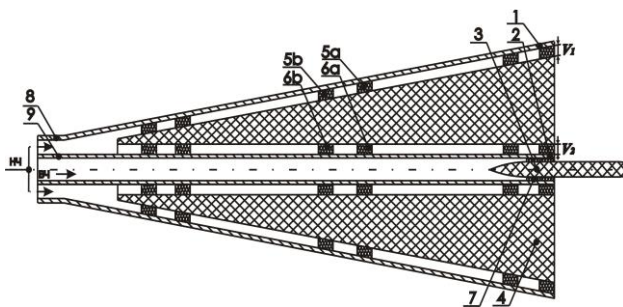


Рис. 1. Дводіапазонний коаксіальний рупор з частковим діелектричним заповненням

чні опорні шайби; 8, 9 — зовнішній та внутрішній хвилеводи коаксіальної лінії живлення.

У цьому варіанті дводіапазонного опромінювача у якості випромінюючої структури ВЧ діапазона замість рупора використовується антена поверхневої хвилі. Використання діелектричного стержня дозволило зменшити діаметр внутрішнього хвилевода і завдяки цьому значно покращити електричні характеристики коаксіального рупора. Ширина діаграми спрямованості у ВЧ діапазоні визначається лише параметрами діелектричного стержня і не залежить від розмірів апертури фідерної лінії, тому з'явилась можливість незалежного керування шириною ДС в обох діапазонах робочих частот без зміни діаметра внутрішнього хвилевода. Крім того, перехід до такої структури дозволив приблизно у 2,5 рази зменшити вагу та габаритні розміри в порівнянні з варіантом дводіапазонного рупора [3-6].

Результати теоретичних та експериментальних досліджень

Для чисельного аналізу був обраний дводіапазонний коаксіальний рупор з рознесенням робочих діапазонів частот 3:1, що відповідає

Запропонований варіант дводіапазонного коаксіального рупора з частковим діелектричним заповненням показано на рис. 1. Антена складається: 1 — коаксіальний гладкостінний рупор; 2 — хвилевід; 3 — діелектричний стержень (антена поверхневої хвилі); 4 — діелектрична вставка; 5, 6, 7 — діелектричні

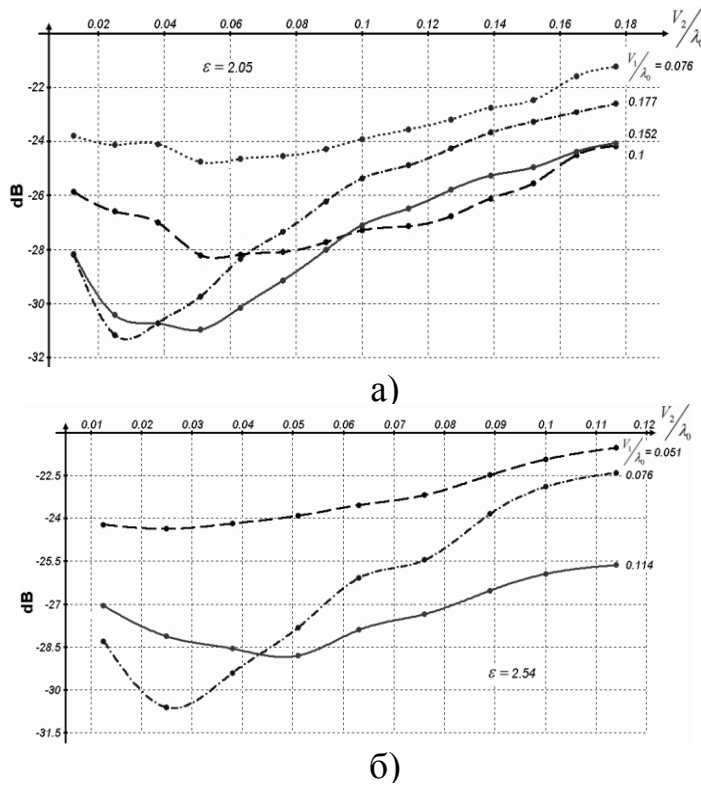


Рис. 2. Середній рівень кросполяризаційного випромінювання при зміні зазорів V_1 та V_2 , діелектрична вставка: а) тефлон, б) полістирол

Тому для чисельних досліджень низькочастотного коаксіального рупора було обрано два НВЧ діелектрики з малими втратами та прийнятним значенням відносної діелектричної проникності: тефлон ($\epsilon = 2,05$ $tg \delta = 10^{-4}$) та полістирол ($\epsilon = 2,5$ $tg \delta = 2 \cdot 10^{-4}$). На рис. 2 показано залежність рівня кросполяризаційного випромінювання від величини повітряних зазорів V_1 та V_2 нормованих до довжини хвилі на центральній частоті робочого діапазону λ_0 . Числові дослідження засвідчили, що для тефлонової вставки середнє значення кросполяризаційного випромінювання зменшилося до рівня -31 дБ у смузі частот 21%, максимальний рівень не перевищує $-26,5$ дБ, мінімальне значення сягнуло позначки -40 дБ при оптимальних розмірах щілин

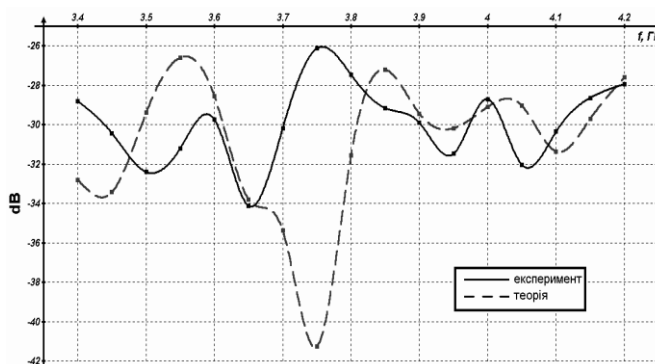


Рис. 3. Рівень кросполяризаційного випромінювання в С-діапазоні

рознесенню для С-/Ku-діапазонів частот, та відношенням діаметрів провідників коаксіальної структури $D/d \approx 8$. Раніше [6] встановлено, що для часткового заповнення внутрішнього об'єму коаксіального рупора бажано використовувати діелектрик-ки з відносною діелектричною проникністю ϵ в межах $2 \dots 3$, оскільки при заповненні матеріалами з $\epsilon < 2$ не вдалося суттєво зменшити рівень кросполяризаційного випромінювання, в іншому випадку значно збільшилась девіація пікових значень кросполяризаційного випромінювання від середньої величини.

зменшилося до рівня -31 дБ у смузі частот 21%, максимальний рівень не перевищує $-26,5$ дБ, мінімальне значення сягнуло позначки -40 дБ при оптимальних розмірах щілин

$$\frac{V_1}{\lambda_0} = 0,152, \\ \frac{V_2}{\lambda_0} = 0,051 \quad (\text{рис. 2а}).$$

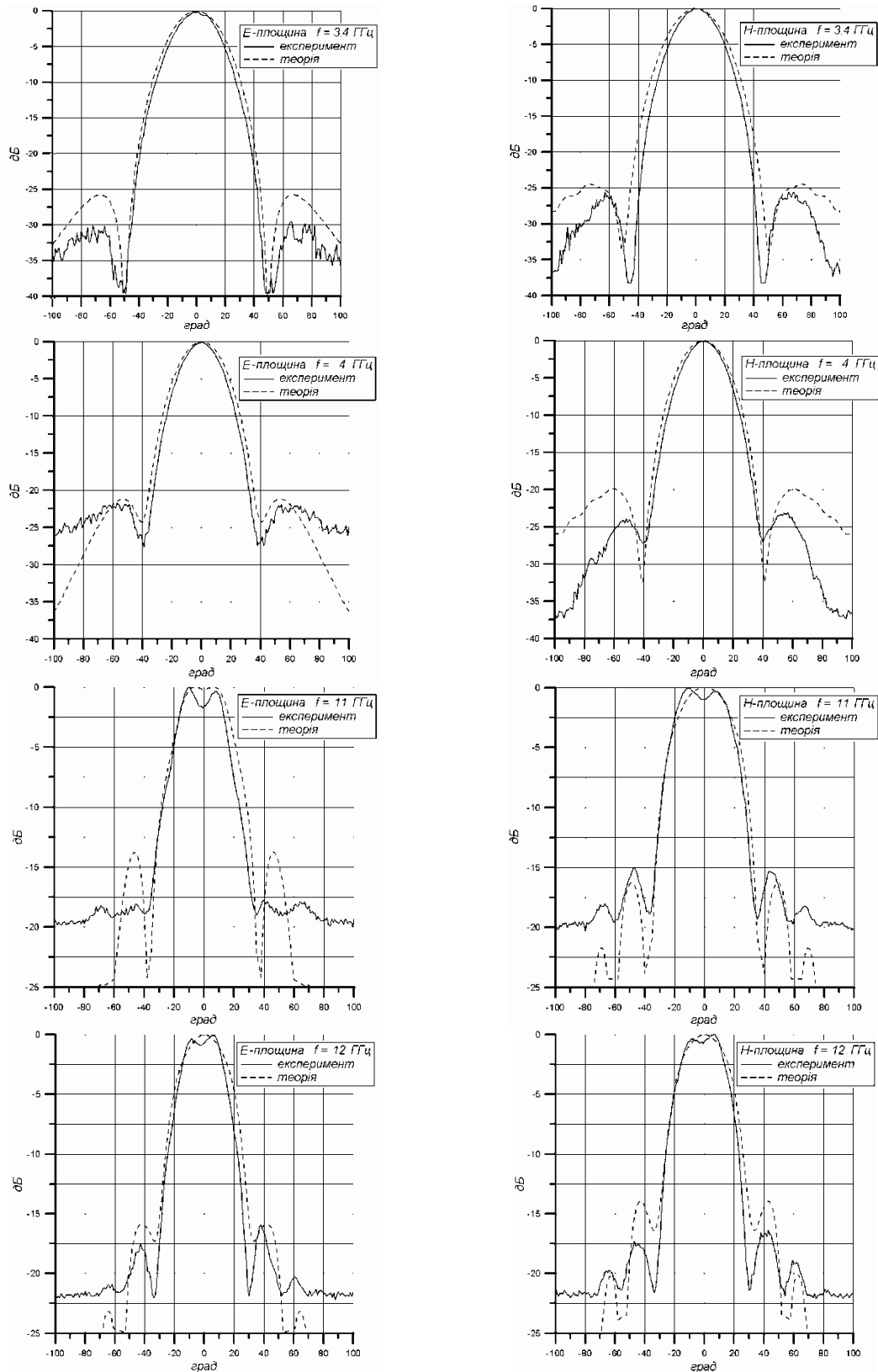
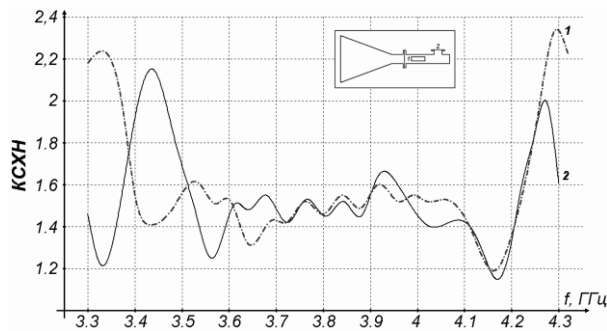


Рис. 4. Теоретичні та експериментальні діаграми спрямованості дводіапазонаного коаксіального рупора в С/Ку діапазонах

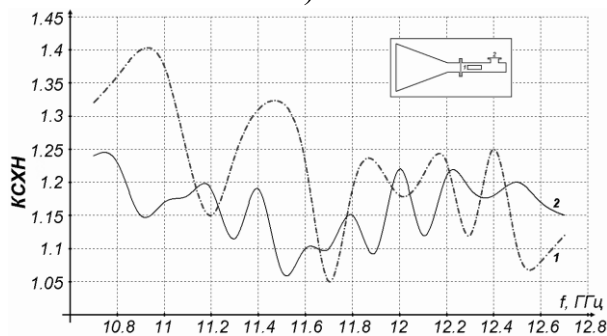
При використанні полістиролу мінімальні значення кросполяризаційного випромінювання досягнуто при величинах зазорів $V_1/\lambda_0 = 0,076$, $V_2/\lambda_0 = 0,025$ (рис. 2б).

Для практичної перевірки результатів теоретичних досліджень було спроектовано та виготовлено компактний варіант дводіапазонного (С/Ку – діапазони частот приймальних земних станцій супутникового зв'язку) коаксіального опромінювача з антеною поверхневої хвилі. Повздовжні розміри рупора від входу до апертури складають $l = 3,8\lambda_0$, діаметр апертури $D \approx 2\lambda_0$, $D/d \approx 8$, діелектрична конічна вставка виготовлена з тефлону, діелектричний стержень — полістирол. На рис. 3 показано результати обчислень та вимірювань кросполяризаційного випромінювання такого рупора в низькочастотному діапазоні. Експериментальні дані дещо різняться теоретичних. Так, середній рівень кросполяризаційного випромінювання в С-діапазоні при оптимізованих розмірах зазорів $V_1 = 12$ мм, $V_2 = 4$ мм склав приблизно -30 дБ з дев'ятицю пікових значень $+4/-4$ дБ (рис. 3).

На рис. 4 показано теоретичні та експериментальні діаграми спрямованості коаксіального рупора на двох частотах у кожному робочому діапазоні частот. Ширина головного пелюстка (по рівню -3 дБ) в обох смугах



а)



б)

Рис. 5. КСХН рупор + ортомодовий перетворювач (експеримент)

а) С- діапазон, б) Ку- діапазон

частот знаходиться в межах $30^\circ \pm 4^\circ$. ДС симетрична, різниця в ширині головного пелюстка в ортогональних площинах не перевищує 3° по рівню -10 дБ в діапазоні $3,4 \div 4,2$ ГГц та $2,5^\circ$ в діапазоні $10,7 \div 12,7$ ГГц. Рівень бічного випромінювання знаходиться нижче позначки -20 дБ у низькочастотному діапазоні та не перевищує значення -15 дБ для ВЧ.

Виміряні значення КСХН рупора разом з коаксіальним ортомодовим перетворювачем [7] знаходяться в межах 1, 6 для двох ортогональних поляризацій у С-діапазоні та не перевищують значення 1,4 у Ку-діапазоні частот (рис. 5).

Висновки

Запропоновано новий варіант

дводіапазонного коаксіального рупора з частковим діелектричним заповненням. Чисельно та експериментально досліджено його електричні характеристики у С- та Ku-діапазонах частот.

Встановлено, що у порівнянні з іншими варіантами дводіапазонних рупорів [3-6] середні значення максимальних рівнів кросполяризаційного та бічного випромінювань зменшились, відповідно, на 4...6 дБ та на 6...8 дБ у низькочастотному робочому діапазоні частот. Діаграма спрямованості симетрична та має однакову ширину (близько 60° за рівнем -10 дБ) в обох робочих діапазонах частот. Крім того, вага нового варіанту рупора С-/Ku-діапазонів частот та повздовжні його розміри зменшились майже у 2,5 рази по відношенню до варіантів дводіапазонних опромінювачів [3-6].

Загалом, новий розроблений С-/Ku-діапазонний рупор цілком придатний для застосування (і уже застосований на практиці) в якості опромінювача дзеркальних антен земних станцій супутникових інформаційних систем.

Література

1. Пат. 88320 UA: Int. Cl. H 01 Q 13/00. Багатодіапазонна Коаксіальна Рупорна Система / Ф.Ф. Дубровка, Р. Ф. Дубровка, Ю.А. Овсяник. — № а 2007 03407; Дата заявки: 29.03.2007; Чинний: 12.10.2009. — 8 с.
2. Овсяник Ю. А. Анализ коаксиальных рупоров с частичным диэлектрическим заполнением / Ю. А. Овсяник, Ф. Ф. Дубровка, Р. Ф. Дубровка // Известия высших учебных заведений. Радиоэлектроника. — 2013. — № 1. — С. 3—22.
3. Dubrovka F. F. A dualband coaxial dielectric-loaded feed horn / F. F. Dubrovka, R. F. Dubrovka, Yu. A. Ovsianyk // 2007 6th International Conference on Antenna Theory and Techniques. — 2007. — P. 398—399.
4. Dubrovka F. F. A Novel Multiband Coaxial Feed System with Low Cross-Polar Radiation / F. F. Dubrovka, R. F. Dubrovka, Yu. A. Ovsianyk // The Second European Conference on Antennas and Propagation. — 2007. — P. 1—4.
5. Dubrovka F. F. Cross-Polar Radiation of a Dual-Band Coaxial Feed Horn With Partial Dielectric Loading / F. F. Dubrovka, R. F. Dubrovka, Yu. A. Ovsianyk // Proceedings of 2009 7th International Conference on Antenna Theory and Techniques. — 2009. — P. 195—196.
6. Дубровка Ф.Ф. Характеристики излучения и согласования нового двухдиапазонного коаксиального рупора с частичным диэлектрическим заполнением / Ф.Ф. Дубровка, Ю.А. Овсяник, Р. Ф. Дубровка // Известия высших учебных заведений. Радиоэлектроника. — 2012. — № 12 — С. 41—46.
7. Dubrovka F. F. A novel broadband coaxial orthomode transducer with high port isolation / F. F. Dubrovka, D. O. Vasylenko // 7th International Conference on Antenna Theory and Techniques. — 2007. — P. 334—336.

References

1. Dubrovka F. F., Dubrovka R. F., Ovsianyk Yu. A. Patent 88320 UA: Int. Cl. H 01 Q 13/00. Bagatodiapazonna koaksial'na ruporna sistema. № а 2007 03407; Filed: 29.03.2007; Date of patent: 12.10.2009, 8 p.

2. Ovsianyk Yu. A., Dubrovka F. F., Dubrovka R. F. Radiation and matching characteristics of a novel dual-band dielectric loaded coaxial horn. *Radioelectronics and Communications Systems*, 2013, vol. 56, No. 1, pp. 3-22.

3. Dubrovka F. F., Dubrovka R. F., Ovsianyk Yu. A. A dualband coaxial dielectric-loaded feed horn. *2007 6th International Conference on Antenna Theory and Techniques*, 2007, pp. 398-399.

4. Dubrovka F. F., Dubrovka R. F., Ovsianyk Yu. A. Novel Multiband Coaxial Feed System with Low Cross-Polar Radiation. *The Second European Conference on Antennas and Propagation*, 2007, pp. 1-4.

5. Dubrovka F. F., Dubrovka R. F., Ovsianyk Yu. A. Cross-Polar Radiation of a Dual-Band Coaxial Feed Horn With Partial Dielectric Loading. *Proceedings of 2009 7th International Conference on Antenna Theory and Techniques*, 2009, pp. 195-196.

6. Dubrovka F. F., Ovsianyk Yu. A., Dubrovka R. F., Radiation and matching characteristics of a novel dual-band dielectric loaded coaxial horn. *Radioelectronics and Communications Systems*, 2012, vol. 55, No. 12, pp. 559-562.

7. Dubrovka F. F., Vasylenko D. O. A novel broadband coaxial orthomode transducer with high port isolation. *7th International Conference on Antenna Theory and Techniques*, 2007, pp. 334-336.

Дубровка Ф. Ф., Овсяник Ю. А., Дубровка Р. Ф. Новий дводіапазонний коаксіально-рупорний опромінювач дзеркальних антен С-/Ки- діапазонів частот. Подано результати теоретичних та експериментальних досліджень нового дводіапазонного конічного рупора, якій об'єднує у собі дві концепції побудови: діелектричний стержень є продовженням центрального хвилевода коаксіальної структури і використовується у якості антени високочастотного робочого діапазону та низькочастотний коаксіальний рупор з частковим діелектричним заповненням. Запропонований варіант модифікованого рупора, як і його прототип [1, 4], має вісесиметричну діаграму спрямованості та низький рівень кросполяризаційного випромінювання в обох ширококутових діапазонах частот, але на відміну від попередника, забезпечує однакову ширину діаграми спрямованості та нижчий рівень бічних пелюсток в обох робочих діапазонах частот.

Ключові слова: рупорна антена, рупор з частковим діелектричним заповненням, дводіапазонний рупорний опромінювач.

Дубровка Ф. Ф., Овсяник Ю. А., Дубровка Р. Ф. Новый двухдиапазонный коаксиально-рупорный облучатель зеркальных антенн С-/Ки- диапазонов частот. Представлено результаты теоретических и экспериментальных исследований нового двухдиапазонного конического рупора, который объединяет в себе две концепции построения: диэлектрический стержень, который является продолжением центрального волновода коаксиальной структуры и используется в качестве антенны высокочастотного рабочего диапазона, а также низкочастотный коаксиальный рупор с частичным диэлектрическим заполнением. Предложенный вариант рупора, как и его прототип [1, 4], имеет осесимметричную диаграмму направленности и низкий уровень кроссполаризационного излучения в обоих широкополосных диапазонах частот, но в отличие от предшественника, обеспечивает одинаковую ширину диаграммы направленности и меньший уровень боковых лепестков в каждом из рабочих диапазонов частот.

Ключевые слова: рупорная антенна, рупор с частичным диэлектрическим заполнением, двухдиапазонный рупорный облучатель.

Dubrovka, F.F., Ovsianyk, Yu.A., Dubrovka R.F., A novel C-/Ku-band coaxial feed horn for reflector antennas.

Abstract. Results of theoretical and experimental investigation of a novel dual frequency coaxial-horn conical horn antenna have been presented.

Main part. The antenna design merges two concepts, namely: a dielectric rod, which is a prolongation of the internal waveguide within the coaxial structure; and a partially filled coaxial horn antenna. The former provides operation in the upper frequency band whilst the latter delivers lower frequency band operation. The proposed modified horn antenna, similarly to its prototypes [1, 4], possesses an axial-symmetrical radiation pattern and low level of cross polarisation in both wide operational frequency bands. However, unlike the prototype antennas, the novel structure provides better symmetry of radiation pattern in principal planes and lower level of side-lobes.

Conclusion. A novel concept of dual band feed system with partial dielectric loaded have been discussed.

Keywords: coaxial feed system, horn antenna, partially dielectric loaded horn; dual-band feed horn.