

УДК 621.396

МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ РУПОРА ЗІ ЗМІННОЮ ГЕОМЕТРІЄЮ

DOI 10.36994/2788-5518-2021-01-01-09⁹

Мазор С.Ю. к.т.н., доц., Інститут спеціального зв'язку та захисту інформації НТУУ "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського", м. Київ, Україна.

Одінцов В.О. Інститут спеціального зв'язку та захисту інформації НТУУ "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського", м. Київ, Україна.

Анотація Представлено розроблену методику дослідження рупора зі змінною геометрією для налаштування опромінювача параболічної антени діапазону 4,5–4,7 ГГц тобто антенної системи (АС) радіорелейно-тропосферної станції зв'язку. У методиці використовується математичний апарат, що оснований на відомій теорії антен – методі наведених електрорушійних сил (ЕРС) [10]. У роботі запропоновано кіничний рупор з окремих провідників з визначенням кількості окремих елементів (вібраторів та провідників з бігучою хвилею струму) та їх конструктивних особливостей. Запропоновано змінювати кут розкриву кіничного рупора за допомогою діелектричних шарнірів, які з'єднують пластини провідників. Відстань між провідниками кіничного рупора становить менше ніж 1/20 робочої довжини хвилі. Таке значення отримано за умов того, що взаємні струми які виникають у двох сусідніх окремих провідниках кіничного рупора відповідають струмам, які виникають на поверхні цілнометалевого рупора.

Результати розрахунку діаграм спрямованості кіничного рупора з окремих провідників і рупора з провідників з бігучою хвилею струму з достатньою точністю співпадають з діаграмою спрямованості (ДС) цілнометалевого рупора з аналогічними конструктивними параметрами, що підтверджує можливість використання рупорів на основі окремих елементів як опромінювачі параболічних антен.

Перевагою кіничного рупора на основі окремих елементів на відміну від цілнометалевого рупора є можливість зміни геометричних розмірів (кута розкриву антени, довжини рупора), що призводить до змін характеристик направленості.

Ключові слова: методика конструктивного синтезу, кінична рупорна антена, окремі провідники, провідники з бігучою хвилею струму, метод наведених електрорушійних сил, діаграма спрямованості.

RESEARCH METHODS VARIABLE GEOMETRY HORN

S. Mazor, Ph.D. Ass. prof., The Institute of Special Communication and Information Protection National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute named after Igor Sikorsky", Kiev, Ukraine.

V. Odintsov, The Institute of Special Communication and Information Protection National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute named after Igor Sikorsky", Kiev, Ukraine.

⁹ Мазор С.Ю., Одінцов В.О.

Abstract The developed method of research of a loudspeaker with variable geometry for optimization of the characteristics of the irradiator of a parabolic antenna in the range of 4.5–4.7 GHz for the antenna system of a radio relay-tropospheric communication station is presented. The method uses a mathematical apparatus based on the known method of antenna theory - induced electromotive forces. The paper proposes a conical horn made of individual conductors (vibrators) with the determination of the number of individual elements (vibrators and conductors with a traveling current wave) and their design features. It is proposed to change the angle of opening of the conical horn with the help of dielectric hinges that connect its plates of conductors (vibrators). The distance between the conductors (vibrators) of the conical horn is less than $1/20$ of the working wavelength. This value is obtained under the condition that the mutual currents that occur in two adjacent separate conductors (vibrators) of the conical horn correspond to the currents that occur on the surface of the all-metal horn.

The results of calculating the radiation patterns of a conical loudspeaker from individual conductors (vibrators) and a loudspeaker from conductors with a traveling current wave coincide with the radiation pattern of an all-metal loudspeaker with similar design parameters, which confirms the possibility of using loudspeakers based on individual elements.

The advantage of a conical loudspeaker based on individual elements in contrast to the all-metal loudspeaker is the ability to change the geometric dimensions (angle of the antenna, the length of the speaker), which leads to changes in the directional characteristics of the radio.

Keywords: method of constructive synthesis, conductors with a traveling current wave, conical horn antenna, separate conductors, method of induced electromotive forces, radiation pattern.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ РУПОРА С ИЗМЕНЯЕМОЙ ГЕОМЕТРИЕЙ

Мазор С.Ю. к.т.н. Национальный технический университет "Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского", г. Киев, Украина. mazorsk@gmail.com

Одинцов В.А. Национальный технический университет "Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского", г. Киев, Украина 1211odintsov@gmail.com

Аннотация. Представлено разработанную методику исследования рупора с изменяемой геометрией для настройки излучателя параболической антенны диапозона 4,5-4,7ГГц, то есть антенной системы (АС) радиорелейно-тропосферной станции связи. В методике используется математический аппарат, который основанный на известной теории антенн – методике наведенных электродвижущих сил (ЭДС) [10]. В работе предложен конический рупор с отдельных проводников с определенным количеством элементов (вибраторов и проводников с бегущей волной тока) и их конструктивных особенностей. Предложено изменять угол раскрыва конического рупора с помощью диэлектрических шарниров, которые соединяют пластины проводников. Расстояние между проводниками конического рупора составляет меньше $1/20$ волны рабочей длинны волны. Такое значение получено при условии того, что общие токи, которые возникают в двух отдельных проводниках конического рупора соответствуют токам, которые возникают на поверхности

Результаты расчета диаграмм направленности конического рупора из отдельных проводников и рупора с проводников с бегущей волной тока с достаточной точностью совпадают с диаграммой направленности (ДН) цельнометаллического рупора с аналогичными конструктивными параметрами, которые подтверждают возможность использования рупоров на основе отдельных элементов как излучателей параболических антенн.

Преимуществом конического рупора на основе отдельных проводников в отличии от цельнометаллического рупора есть возможность смены геометрических размеров (угла раскрыва антенны, длины рупора) который приводит к изменению характеристик направленности.

Поскольку диаграмма направленности АС способа радиосвязи зависит от ДН зеркала и ДН излучателя [6], то вопрос конструктивного синтеза элементов антенных систем становятся первоочередными для построения перспективных радиорелейно-тропосферных станций связи, при этом конструктивный (инженерный) синтез антенн является нахождением конструкторского решения согласно с заданными условиями [2, 11].

Как излучатель АС на основе параболических антенн достаточно часто используются цельнометаллические рупорные антенны, которые имеют постоянные геометрические размеры, которые не дают возможность изменять его электрические характеристики и в последствии влиять на общую ДН антенной системы перспективного средства радиосвязи. На основе формирования и оценки возможных направлений проведения исследований было предложено использовать для АС перспективной радиорелейно-тропосферной станции излучатель на основе конического рупора с изменяемой геометрией, который построен на отдельных элементах (проводниках, с бегущей волной тока). Однако методики конструктивного синтеза таких рупоров требуют разработки (усовершенствования) для их практической реализации

Поэтому развитие методов синтеза излучателей параболических антенн на основе конического рупора с отдельных проводников для АС перспективной радиорелейно-тропосферной станции связи являются актуальными.

Ключевые слова: *метод конструктивного синтеза, проводники с бегущей волной тока, коническая рупорная антенна, отдельные проводники, метод наведенных электродвижущих сил, диаграмма излучения.*

Вступ

Розвиток сфери телекомунікацій потребує розроблення нових або удосконалення існуючих засобів радіозв'язку з метою покращення якості зв'язку за рахунок покращення технічних характеристик їх систем та елементів. Сьогодні основу системи радіозв'язку становлять радіорелейні та тропосферні станції різних типів, які забезпечують передачу інформації на великі відстані. Перспективним напрямом розвитку засобів радіозв'язку є розроблення станцій подвійного призначення, що здатні забезпечити побудову радіорелейних та тропосферних ліній передачі даних. Важливим елементом засобів радіозв'язку є антенні системи, які використовуються для випромінювання та приймання електромагнітних хвиль (ЕМХ). Тому, на сьогодні, виникає потреба щодо розроблення уніфікованої АС, яка б

одночасно задовольняла вимогам, що висувуються до радіорелейних і тропосферних засобів зв'язку.

Постановка проблеми

Оскільки діаграма спрямованості АС засобу радіозв'язку залежить від ДС дзеркала (відбивача) та ДС опромінювача [6], то питання конструктивного синтезу елементів антенних систем стають першочерговими для побудови перспективних радіорелейно-тропосферних станції зв'язку, при цьому конструктивний (інженерний) синтез антен є знаходженням конструкторського рішення згідно із заданими вимогами [2, 11].

Як опромінювачі АС на основі параболічних антен досить часто використовуються цільнометалеві рупорні антени, які мають постійні геометричні розміри, що не дає змоги змінювати його електричні характеристики і як наслідок впливати на загальну ДС антенної системи перспективного засобу радіозв'язку. На основі формування та оцінювання можливих напрямів проведення досліджень було запропоновано використовувати для АС перспективної радіорелейно-тропосферної станції опромінювач на основі кінцевого рупора із змінною геометрією, який побудований на окремих елементах (провідниках із бігучою хвилею струму). Однак методики конструктивного синтезу таких рупорів потребують розроблення (удосконалення) для їх практичної реалізації.

Тому розвиток методів синтезу опромінювачів параболічних антен на основі кінцевого рупора з окремих провідників для АС перспективної радіорелейно-тропосферної станції зв'язку є актуальним.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

У [5] проведено аналіз основних принципів і методів синтезу антен та показано, що задачі теорії антен зводяться до розв'язання рівнянь, які впливають з математичного формулювання законів випромінення електромагнітного поля. Строге розв'язання задачі аналізу про збудження реальної антенної системи, знаходження її поля випромінювання (синтезу АС) є досить складним завданням, тому запропоновано використовувати наближені методи розв'язання внутрішніх і зовнішніх задач теорії антен.

Класична задача синтезу полягає в пошуку амплітудно-фазового розподілу струму або електромагнітного поля (ЕМП) в розкриті антени, відповідно до заданих електричних характеристик АС. При вирішенні такої задачі важливим є знання характеристик опромінювача [12].

Проведений аналіз останніх досліджень і публікацій [3-5, 8, 9] свідчить про наявність класичних розрахунків сумарно-різностних антен, лінзових антен, рупорно-лінзових антен, пірамідальних і кінцевих рупорів, *H*- та *E*-секторальних рупорів та інших антен [7], при цьому, на сьогодні, теоретичні (математичні) методи синтезу кінцевих рупорних антен на основі окремих провідників із змінною геометрією не представлені в доступних літературних джерелах і практично не розроблені.

Виклад основного матеріалу

Для конструктивного синтезу обрано рупор діапазону 4,5–4,7 ГГц, як опромінювач параболічної антени для АС перспективної радіорелейно-тропосферної станції зв'язку. Для такої станції побудуємо новий опромінювач на основі конічної рупорної антени із змінною геометрією з окремих провідників відповідно до заданих технічних характеристик АС станції радіозв'язку.

Методика конструктивного синтезу рупора з окремих провідників призначена для побудови конічних рупорних антен із змінними геометричними розмірами як опромінювача параболічної антени перспективної радіорелейно-тропосферної станції зв'язку.

Завдання методики формулюється зокрема так: для заданої просторової ДС антенної системи засобу радіозв'язку та діаграми спрямованості дзеркала (відбивача) АС потрібно визначити ДС опромінювача (розв'язати внутрішню задачу теорії антен) та знайти конструкцію конічного рупора з окремих провідників, що реалізує потрібний вид амплітудно-фазового розподілу ЕМП у розкриві рупора.

Об'єктом дослідження є конічний рупор з окремих провідників, конструктивною особливістю якого є зміна його геометричних розмірів (кут розкриву, довжина рупора), характеристики якого дозволяють дослідити характеристики цільнометалевому рупора.

Передумовами створення методики є складність точного розв'язання електродинамічних задач для цільнометалевого рупора методом наведених ЕРС, та відсутність математичного апарату для конструктивного синтезу рупора з окремих провідників.

Таким чином у розглядаються випромінювачі на основі конічних рупорних антен, які синтезуються з окремих провідників. Живлення такого рупора доцільно здійснювати за допомогою закороченого відрізка колового хвильоводу, в якому розміщений вібратор (штир) живлення. Використання одного вібратора живлення дає змогу сформувати електромагнітну хвилю лінійної поляризації, а розміщення другого вібратора живлення у перпендикулярній площині формує ЕМХ колової поляризації. У подальшому при розрахунках вважається, що використовується тільки ЕМХ лінійної поляризації.

Головним припущенням є те, що цільнометалевий рупор можна представити у вигляді рупора, побудованого з окремих провідників, відстань між якими становить менше ніж $1/20$ робочої довжини хвилі що витікає з теорії довгих ліній.

Показником правильності розрахунків є відповідність електричних характеристик розробленого за методикою конструктивного синтезу конічного рупора з окремих провідників характеристикам аналогічного за розмірами цільнометалевого конічного рупора, діаграма спрямованості якого вимірювалось практичними дослідженнями. Оцінку критерію відповідності електричних характеристик доцільно проводити за показником – ширина діаграми спрямованості рупорної антени.

Вихідними даними для методики є діапазон робочих частот та потужність передавача перспективної радіорелейно-тропосферної станції зв'язку, характеристики діаграми спрямованості всієї антенної системи станції радіозв'язку, конструкція та характеристики дзеркала (відбивача) АС.

Конструктивний синтез рупорних антен проводиться за певним алгоритмом. Спочатку відповідно до заданих технічних характеристик розраховуються геометричні розміри рупора, а потім практичними вимірюваннями визначаються електричні параметри антени. У випадку, якщо отримані характеристики не відповідають вимогам, то можна зробити висновок, що розміри рупора вибрані невдало і розрахунки потрібно повторювати [13].

Розроблення методики конструктивного синтезу рупорів з окремих провідників передбачає використання відповідного математичного апарату, що дає змогу провести потрібні розрахунки та побудувати рупор потрібної конструкції.

Математичний апарат, який використовується для конструктивного синтезу кінцевого рупора з окремих провідників для оптимізації характеристик опромінювача параболічної антени діапазону 4,5–4,7 ГГц перспективної радіорелейно-тропосферної станції зв'язку базується на відомому методі наведених ЕРС [10], який дає змогу визначати характеристики антенних решіток з урахуванням взаємодії випромінювачів.

Строгий розрахунок струмів і опорів рупорів є складним завданням, що потребує використання спеціальних функцій, складність застосування яких обумовлена складними формами поверхней.

Оскільки рупор з окремих провідників можна вважати антенною решіткою, то за методом наведених ЕРС розраховують вхідний опір і опір в решітці рупора, а також власний опір кожного провідника. Цей метод розглядається як метод першого наближення, при цьому вважається, що струм уздовж вібратора розподілений по синусоїдальному закону, вплив сусідніх вібраторів не змінює закон розподілення струму, а змінюється лише його амплітуда.

Відомо, що в коловому хвилеводі, кінцевому рупорі, суцільнометалевому рупорі та рупорі з провідників розповсюджується хвиля $H_{1,1}$ згідно з вибраним розміром хвилеводу a . Розмір стандартного хвилеводу обирається так, щоб в ньому розповсюджувалось тільки основна хвиля $H_{1,1}$, а хвиля E_{01} затухала:

$$\lambda_{кр}(H_{11}) = \frac{2\pi a}{y_{11}} \quad (1)$$

$$\lambda_{кр}(E_{01}) = \frac{2\pi a}{x_{01}} \quad (2)$$

де $y_{1,1}$ – перший корінь похідної функції Бесселя першого порядку;

x_{01} – нульовий корінь функції Бесселя першого роду.

Довжину закороченого колового хвилеводу потрібно вибрати так, щоб промінь –продовження вібратора сходились на жилі коаксимального кабеля живлення. Довжина вібраторів має бути такою, щоб на ній укладалося два

періода стоячої хвилі. За таких умов у місці з'єднання окремих провідників з відкритим кінцем колового хвильоводу буде великий вхідний опір [10].

Через те, що довжина вібратора живлення рупора менше ніж довжина хвилі, можна вважати, що ЕМХ розповсюджується із фазового центра у вигляді точки. [6].

Система рівнянь для ЕРС, що виникають на окремих провідниках конічного рупора буде мати такий вигляд:

$$\begin{cases} U_1 = I_1 Z_{1,1} + I_2 Z_{1,2} + \dots + I_m Z_{1,m} + \dots + I_n Z_{1,n} \\ U_2 = I_1 Z_{2,1} + I_2 Z_{2,2} + \dots + I_m Z_{2,m} + \dots + I_n Z_{2,n} \\ \dots \\ U_m = I_1 Z_{m,1} + I_2 Z_{m,2} + \dots + I_m Z_{m,m} + \dots + I_n Z_{m,n} \\ \dots \\ U_n = I_1 Z_{n,1} + I_2 Z_{n,2} + \dots + I_m Z_{n,m} + \dots + I_n Z_{n,n} \end{cases} \quad (3)$$

де $m = 1, 2, \dots, n$ – номер окремого довільного провідника конічного рупора зі змінною геометрією;

$Z_{m,m}$ – власний опір окремого довільного провідника;

$Z_{n,m}$ – взаємний опір m -го і n -го окремих довільних провідників;

I_m – струм на m -му довільному провіднику конічного рупора.

Живлення рупора здійснюється напругою U_1 за рахунок вібратора, розміщеного в коловому хвильоводі по довжині жили коаксіального кабеля, а на окремих провідниках рупора живлення відсутнє, при цьому в цих провідниках виникають однакові власні струми. Оскільки конструктивно синтезується конічний рупор, в якому вібратори розміщені під однаковим кутом до осі рупора, то в силу симетричності системи власні опори будуть однаковими. Значення власного опору можна отримати за формулами Пістолькорса або визначити за графіками вхідного опору вібратора. Власні опори всіх вібраторів, крім першого будуть однаковими.

Враховуючи вище зазначене, система рівнянь (3) буде мати такий вигляд:

$$\begin{cases} U_1 = I_1 Z_{1,власне} + I_2 Z_{1,2} + \dots + I_m Z_{1,m} + \dots + I_n Z_{1,n} \\ 0 = I_1 (Z_{власне} + \Delta Z_1) + I_m Z_{власне} + \dots + I_n (Z_{власне} + \Delta Z) \\ \dots \\ 0 = I_1 (Z_{власне} + \Delta Z_1) + I_m (Z_{власне} + \Delta Z) + \dots + I_n Z_{власне} \end{cases} \quad (4)$$

де $Z_{1,власне}$ – власний опір вібратора (штиря) живлення;

$Z_{власне}$ – власний опір кожного провідника (вібратора) рупора;

ΔZ – середній взаємний опір між провідниками рупора.

З урахуванням того, що всі окремі провідники конічного рупора мають однакові розміри, а їх загальна кількість становить n вібраторів, то система рівнянь (4) буде мати вигляд:

$$\begin{cases} U_1 = I_1 Z_{власне} + I_n (N \Delta Z_{1-n}) \\ 0 = I_1 \Delta Z_1 + I_n (Z_{власне} + N \Delta Z) \\ \dots \\ 0 = I_1 \Delta Z_{1-n} + I_n (Z_{власне} + N \Delta Z) \end{cases} \quad (5)$$

де ΔZ_1 – взаємний опір 1-го і n -го вібратора;

ΔZ_n – взаємний опір між двома будь-якими іншими вібраторами рупору.

Кількість рівнянь у системі (5) може бути зменшена через усереднення взаємних опорів окремих провідників, оскільки їх власний опір однаковий. З урахуванням того, що у правій частині системи рівнянь (5) невідомими є струми, що виникають на вібраторі живлення (I_1) та на окремому довільному провіднику (I_m) (достатньо розв'язати систему двох лінійних рівнянь (6).

$$\begin{cases} U_1 = I_1 Z_{1,\text{власне}} + I_n N \Delta Z_{1-n} \\ 0 = I_1 \Delta Z_{1-n} + I_n (Z_{\text{власне}} + N \Delta Z) \end{cases} \quad (6)$$

За виразом (6) можна визначити струми у всіх вібраторах кінцевого рупора. Геометрію рупора можна вибрати так, щоб ЕМВ, які поширюються вздовж вібраторів (провідників) складались у фазі в напрямку осі рупора, з урахуванням залежності струму вібраторів від їх куту нахилу відносно осі є невеликою.

Загальне електричне поле випромінювання кінцевого рупора складе суму поля, що випромінюється вібратором живлення $E_{\text{жс}}$ та загального поля E_n від провідників, що формують розкриття рупора:

$$E_{\text{рупора}} = E_n + E_{\text{ж}} \quad (7)$$

Електричне поле, що випромінюється кінцевим рупором буде залежити від кута розкриття хвильовода θ (рис. 1):

$$E = \frac{60 * I_m * \cos\left(180^\circ \frac{l}{\lambda} \cos \theta\right) - \cos\left(180^\circ \frac{l}{\lambda}\right)}{r * \sin \theta}, \quad (8)$$

де r – відстань до точки спостереження;

l – довжина вібратора рупора;

λ – довжина хвилі;

θ – кут розкриття хвильоводу від перпендикуляра до вібратора (пластини).

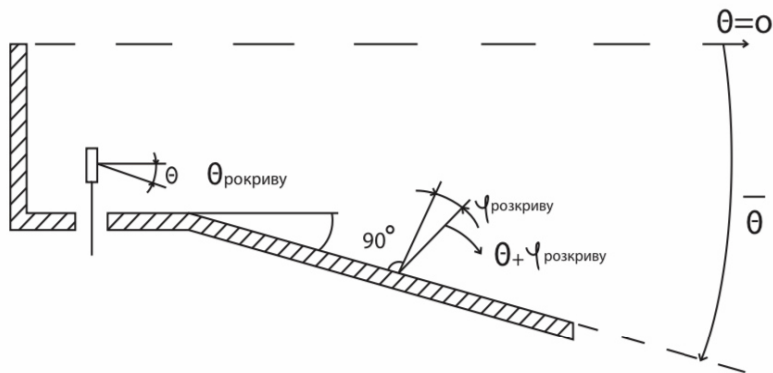


Рис. 1. Електричне поле, що випромінюється кінцевим рупором

Аналіз рис. 1 свідчить, що для визначення напруженості електричного поля, що випромінюється рупором потрібно враховувати кут розкриву хвильовода θ разом з кутом φ розкриву рупора.

З урахуванням кута φ вираз (8) для напруженості поля кожного окремого елемента конічного рупора буде мати вигляд;

$$E_m = \frac{0.15 U_1}{r} * \frac{\cos\left[\left(180^\circ \frac{l}{\lambda}\right) \sin(\theta + \varphi_{\text{розкр}})\right] * \cos\left(180^\circ \frac{l}{\lambda}\right)}{\cos(\theta + \varphi_{\text{розкр}})} \quad (9)$$

Для забезпечення кута розкриву рупора 30 потрібно використовувати 15 провідників (вібраторів), які виконуються у вигляді пластин, які розширюються в бік розкриву рупора (мати форму трапеції) для забезпечення однакової відстані між провідниками (рис. 2).

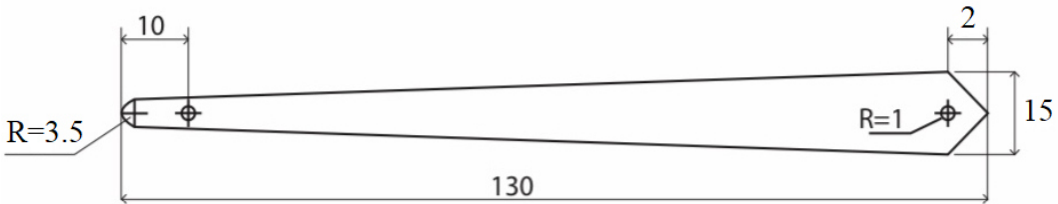


Рис. 2 – Зовнішній вигляд провідника (вібратора)

За рахунок діелектричних пластин, що виконані з текстоліту є можливість розсовувати пластини та змінювати кут розкриття рупора. При забезпеченні відстані між пластинами менше ніж $\frac{\lambda}{20}$, електромагнітна хвиля між провідниками проходити не буде. Вираз (9) для 25 провідників (вібраторів) конічного рупора з урахуванням випромінювання вібратора живлення буде мати вигляд:

$$E_n = \frac{2 * U_1}{r} * \frac{\cos\left[\left(180^\circ \frac{l}{\lambda}\right) \sin(\theta + \varphi_{\text{розкр}})\right] - \cos\left(180^\circ \frac{l}{\lambda}\right)}{\cos(\theta + \varphi_{\text{розкр}})} \quad (10)$$

Прикладом реалізації методики конструктивного синтезу є побудова конічного рупора з окремих провідників (вібраторів), кількість яких становить $N = 15$ (рис. 3).

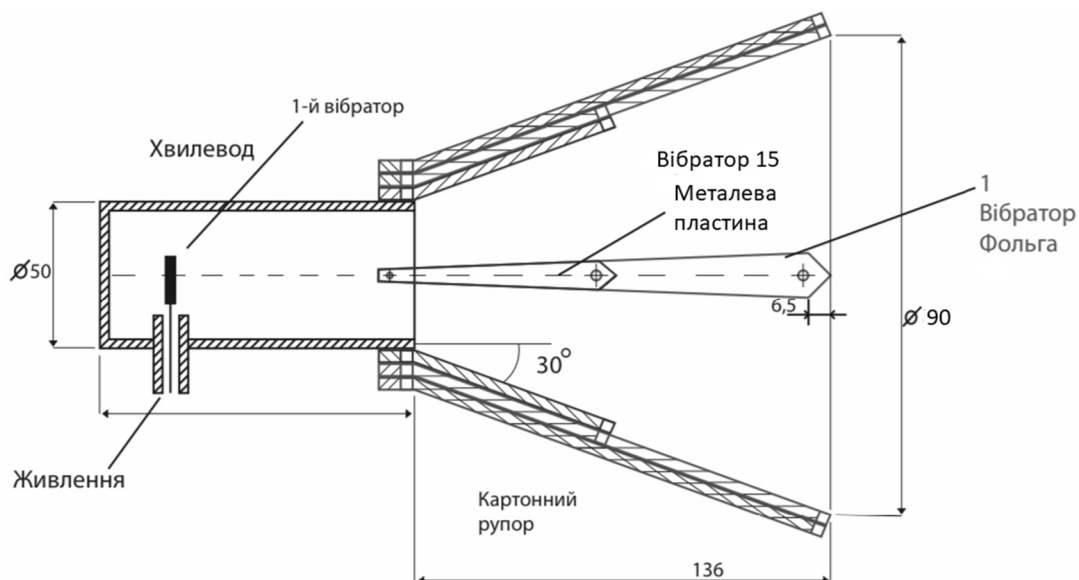


Рис. 3 – Схема конічної рупорної антени з окремих провідників

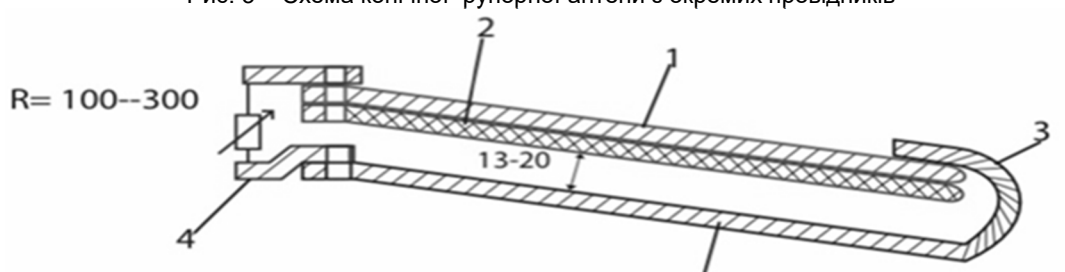


Рисунок 4 – Елемент конічного рупора з бігучою хвилею струму (БХС)

1. Металевий провідник
2. Діелектрична пластина
3. Металевий провідник на відстані $\frac{\lambda}{4}$
4. Навантажувальний опір

Аналіз отриманих діаграм спрямованостей свідчить, що за допомогою конічного рупора з окремих елементів на основі вібраторів і провідників з бігучою хвилею струму можливо отримати характеристики цілнометалевого рупора аналогічних розмірів.

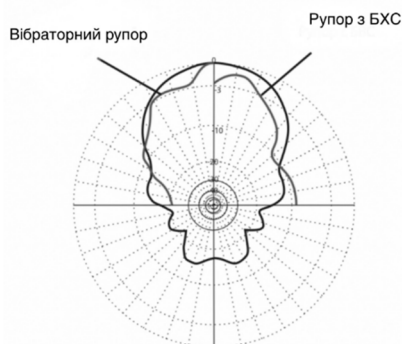


Рисунок 5 – Діаграма спрямованості цільнометалевого рупора з кутом розкрива 30

Висновки

У роботі розроблено методику конструктивного синтезу конічних рупорів з окремих провідників, яка основана на математичному апараті, методу наведених ЕРС. Цей метод дає змогу визначати наведені та власні опори довільно розташованих вібраторів, а також струми, що виникають на елементах конічного рупора.

Результатом практичного використання методики є запропонований опромінювач діапазону 4,5–4,7 ГГц параболічної антени для антенної системи перспективної радіорелейно-тропосферної станції зв'язку у вигляді конічного рупора. Особливістю конструкції конічного рупора є те, що він складається з окремих провідників, що дає змогу змінювати загальні геометричні розміри рупора. Властивості розробленого конічного рупора відповідають властивостям цільнометалевого рупора з аналогічними електричними характеристиками.

Методику доцільно застосовувати в загальній теорії антен для рупорних антен з окремих провідників за заданими електричними характеристиками.

Література

1. Бондаренко Л.В. Синтез антен. Владивосток: ДВГТУ, 2009, 130с.
2. Воскресенский Д.И., Бей Н.А., Братчиков Н.А. и др.; под ред. Л.Д. Бахрака. Проблемы антенной техники. Москва: Радио и связь, 1989, 386 с.
3. Жук М.С., Молочков Ю.Б. Проектирование антенно-фидерных устройств. Москва: Энергия, 1966, 648с.
4. Заикин И.П., Тоцкий А.В., Абрамов С.К. Проектирование антенных устройств систем связи. Учеб. пособие. Харьков : Нац. аэрокосм. ун-т "ХАИ", 2007, 78 с.
5. Ільницький Л.Я., Савченко О.Я., Сібрुक Л. В. Антени та пристрої надвисоких частот. Київ:Укртелеком, 2003. 496 с.
6. Ільницький Л.Я., Сібрुक Л.В., Слободянюк П.В., Благодарний В.Г.; за ред Ільницького Л.Я. Антени телекомунікаційних і моніторингових систем. Київ: ТехноПоліграф, 2012, 240 с.
7. Клоков В. В., Павликов С.Н. Рупорные антенны: методические указания к лабораторным работам. Морской государственный университет имени адм. Г. И. Невельского. Владивосток: 2008, 34 с.
8. Кочержевский Г.Н. Антенно-фидерные устройства. Москва: Радио и связь, 1989, 356 с.

9. Лондон С.Е., Томашевич С.В. Справочник по высокочастотным трансформаторным устройствам. Москва: Радио и связь, 1984, 216 с.
10. Метрикин А.А. Антени і волноводы РРЛ. Москва: «Связь», 1992, 207 с.
11. Минкович Б.М., Яковлев В.П. Теория синтеза антенн. Москва: Советское радио, 1969, 298с.
12. Наумов Н. Д. Оптимизированный метод расчета рупорной антенны. Москва: Успехи прикладной физики, 2017, Том 5, № 5. 17с.
13. Фельд Я.Н., Бененсон Л.С. Антенны сантиметровых и дециметровых волн. В 2-х ч. 4.1. Москва: ВВИА им. Н.Е.Жуковского, 1955, 208 с.

References

1. L.V.Bondarenko Antennie systemy. Vladivostok: DVGТУ, 2009,130 s.
2. Voskresensky D.I., Bey N.A., Bratchikov N.A. I dr.; Pod red. D. L. Bakhrak. Problemy antennoi tehniki. Moskva: Radio i sviaz, 1989,386 s.
3. Vavilov M.S., Molochkov Y.B. Proektirovanie antenno-fidernuh ustroystv. Moskva: Energia, 1966, 648s.
4. Zaikin I.P., Totskiy A.V., Abramov S.K. Atennu to pristroi nadvysokih chastot. Kharkiv: Nat. aerospace un-T 'Khai ", 2007, 78 s.
5. Ilnitskiy L.Ya., Savchenko O.Ya., Sibruk L.V. Mortua:Anteny to pristroi nadvusokih chastot. Ukrtelecom, 2003.496 s.
6. Ilnitskiy L.Ya., Sibruk L.V., Slobodyanyuk P.V., V.G Lat.: by Ilnitskiy L.Y. Anteny telekomynikaziynih monitoringovih sistem. Kiev: TechnoPoligraph, 2012, 240 s.
7. Klokov V.V., Pavlikov S.N. Rupornie anteny: metodicheskie ykazaniya k laboratornum rabotam. Morskoy gosudarstvenniy universitet imeni adm. G.I. Nevelskoy. Vladivostok, 2008, 34 s.
8. 8. Kocherzhevsky G.N. Antenno-fidernie ystroistva. Moskva: Radio I sviaz, 1989, 356 s.
9. 9. S.E. London, Tomashevich S.V. Spravochnik po visokochastotnim transformatornim ustroystvam. Moskva: Radio I sviaz, 1989, 356 s.
10. Metrikin A.A. Antenu I volnovody. Moskva "Cviaz",1992, 207 s.
11. Minkovich B.M., Yakovlev V.P. Teoria sinteza anten. Moskva: Sovietskoe radio, 1969, 298 s.
12. Naumov N.D. Optimizirovaniy metod rascheta rupornoj antenni. Moskva: Uspekhi prikladnoi fiziki, 2017, tom 5, №5, 17 s.
13. Ya.N. feld, Benenson L.S. Antenni santimetrovih I dechemetrovih voln. V 2-h chastiah 4.1. Moskva: VVIA im. N.E. Zhukovsky, 1955, 208 s.
14. Zhuk M.S., Molochkov Y.B. Proektirovanie linzovih, skanirueschix antenn I fidernyh ustroystv. Moskva, Energia, 1973,440 s.