

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРОДИНАМІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ПОШИРЕННЯ РАДІОХВИЛЬ ЦИЛІНДРИЧНОЇ РУПОРНОЇ АНТЕНИ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

У роботі досліджено електродинамічні процеси поширення радіохвиль у передавальному та приймальному режимах циліндричної рупорної антени. Проаналізовано трансформацію хвильового фронту, вплив геометрії рупора та дифракційних ефектів на формування поля. Виконано порівняння чисельного моделювання з експериментальними даними. Отримані результати можуть бути використані для підвищення ефективності рупорних антен у радіолокаційних і телекомунікаційних системах.

Ключові слова: рупорна антена, електромагнітні хвилі, діаграма спрямованості, хвилеводні моди, моделювання.

Вступ

Дослідження електродинамічних процесів у циліндричних рупорних антенах є важливим етапом підвищення ефективності радіосистем у дециметровому та сантиметровому діапазонах [1]. Рупорні антени широко застосовуються в радіолокації, зв'язку та вимірювальній техніці завдяки поєднанню високого коефіцієнта підсилення, низького рівня бічних пелюсток та відносно простоти конструкції [2]. Особливості поширення електромагнітних хвиль у таких антенах визначають їх спрямованість, узгодження з трактом живлення, КСХ та коефіцієнт корисної дії [3]. Актуальною є розробка методів оцінювання поведінки хвильових мод у рупорі, врахування дифракційних ефектів та неоднорідних полів на вихідному отворі, а також аналіз взаємозв'язку між режимами випромінювання і прийому [1-3].

Мета дослідження полягає у встановленні особливостей електродинамічних процесів поширення радіохвиль у передавальному та приймальному режимах циліндричної рупорної антени, а також у визначенні впливу геометричних параметрів рупора та хвилевідних мод на ефективність формування та приймання електромагнітного випромінювання.

Завдання дослідження

1. Проаналізувати умови збудження та поширення основних мод електромагнітних хвиль у хвилеводному тракті та рупорній частині антени.
2. Дослідити трансформацію хвильового фронту під час переходу від хвилеводу до апертури рупора та оцінити вплив геометричних параметрів на фазовий та амплітудний розподіл поля.
3. Оцінити особливості роботи антени в передавальному режимі, зокрема зміни в коефіцієнті підсилення та ККД при різних параметрах рупора.
4. Проаналізувати поведінку антени в приймальному режимі та підтвердити відповідність результатів принципу взаємності.

Результати дослідження

Проведене моделювання циліндричної рупорної антени охоплювало аналіз поширення хвиль від хвилевідного тракту до вихідного отвору з урахуванням мод ТЕ та ТМ. Визначено, що основну роль у формуванні діаграми спрямованості відіграє ТЕ₁₀-мода, стабільність якої забезпечує рівномірність поля на апертурі. Результати показали, що розширення рупора приводить до поступової трансформації хвильового фронту в майже плоский, що зменшує фазові спотворення та покращує спрямованість [1, 3]. Чисельний аналіз методом скінченних елементів дозволив оцінити розподіл густини потоку енергії в об'ємі рупора та встановити критичні області, де відбувається локальна концентрація поля, що може спричиняти додаткові

втрати. Моделювання дифракційних процесів на краях апертури показало, що їхній внесок у рівень бічних пелюсток залежить від відношення розмірів рупора до довжини хвилі та від точності узгодження на вході [2].

У передавальному режимі досліджено вплив амплітудно-фазового профілю поля на коефіцієнт спрямованості. Оптимізація кута розкриття рупора забезпечила підвищення ефективного коефіцієнта підсилення на 6–10% залежно від частотного діапазону. У приймальному режимі встановлено відповідність отриманої чутливості антени характеристикам, передбаченим принципом взаємності: приймальна ефективна площа збігається з розрахованою на основі коефіцієнта підсилення в передавальному режимі.

Висновки

Дослідження показало, що електродинамічні процеси в циліндричній рупорній антені визначаються комплексною взаємодією мод хвильоводу, геометрії рупора та дифракційних явищ на апертурі. Оптимізація розкриття рупора та узгодження вхідного тракту дозволяє підвищити ефективність випромінювання й прийому без суттєвого ускладнення конструкції. Доведено відповідність поведінки антени принципу взаємності: параметри передавання та прийому взаємопов'язані та можуть бути використані для прецизійної оцінки характеристик у будь-якому з режимів. Отримані результати можуть слугувати основою для вдосконалення рупорних антен у радіолокаційних і телекомунікаційних системах, де потрібні стабільність діаграм спрямованості та високий коефіцієнт підсилення.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Semenov A., Semenova O., Pinaiev B., Kozin D., Shpylovyi O. Study of the radiation pattern of a rectangular horn antenna in the operation of multimode propagation of electromagnetic waves. *Technology Audit and Production Reserves*, 2(64), 2022, 50–55. DOI: 10.15587/2706-5448.2022.256560
2. Семенов А., Громик О. Дослідження спрямованих і хвильових параметрів антени поверхневих хвиль. *Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах*, (2), 2023, 125–133. DOI: 10.31891/2219-9365-2023-74-16
3. Семенов А. О., Семенова О. О., Пінаєв Б. О., Козін Д. О., Кристофоров А. В. Ширококутова прямокутна рупорна антена з діелектричною лінзою для бездротового зв'язку «точка-точка». *Системи та технології*, 64(2), 2022, 38–47. DOI: 10.32782/2521-6643-2022.2-64.5

Попенко Андрій Андрійович — студент кафедри інформаційних радіоелектронних технологій і систем, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: research-sector@vntu.edu.ua

Науковий керівник: **Семенов Андрій Олександрович** — д-р техн. наук, професор, професор кафедри інформаційних радіоелектронних технологій і систем, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: semenov.a.o@vntu.edu.ua

RESEARCH ON ELECTRODYNAMIC PROCESSES OF RADIO-FREQUENCY WAVE PROPAGATION BY A CYLINDRICAL HORN ANTENNA

Abstract

The paper investigates the electrodynamic processes of radio wave propagation in the transmitting and receiving modes of a cylindrical horn antenna. The transformation of the wavefront, the influence of horn geometry, and diffraction effects on field formation are analyzed. Numerical simulation results are compared with experimental data. The obtained findings can be applied to improve the efficiency of horn antennas in radar and telecommunication systems.

Keywords: horn antenna, electromagnetic waves, radiation pattern, waveguide modes, simulation.

Popenko Andriy Andriyovych — student at the Department of Information Radioelectronic Technologies and Systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: research-sector@vntu.edu.ua

Supervisor: **Semenov Andriy Oleksandrovych** — Dr. Sc. (Eng.), Full Professor, Professor of the Department of Information Radioelectronic Technologies and Systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: semenov.a.o@vntu.edu.ua