

УДК 621.396.67

КВАДРИФІЛЯРНА РАМОЧНА АНТЕНА ТА ЇЇ МОДИФІКАЦІЇ

Данило ХОХЛОВ, Володимир БУРЛЕТ, Дмитро ГАВВА
email: danylo.khokhlov@nure.ua, volodymyr.burlet@nure.ua,
dmytro.gavva@nure.ua

Харківський національний університет радіоелектроніки, каф. ІРТЗІ
м. Харків, Україна

The work is devoted to the study of an omnidirectional quadrifilar loop antenna for electronic warfare systems. The results of the analysis of the influence of changes in the antenna design (size of the ribs, size of the screen, distance of the screen to the antenna) on its characteristics are presented.

Не секрет, що основою сучасної війни є активне використання безпілотних літальних апаратів. Для збереження ж особового складу від таких засобів ураження широко використовуються різноманітні засоби радіоелектронної боротьби (РЕБ), основна задача яких – придушення радіоканалів передавання відеоданих та керування дронів. Ефективність застосування РЕБ значною мірою визначається їхніми антенами. Останні, з точки зору форми діаграми спрямованості (ДС), можна поділити на спрямовані та всеспрямовані. Під кожен з цих категорій можна підібрати різні типи антен, але що стосується практичного бойового використання, то на сьогоднішній день найбільш популярною всеспрямованою антеною, яка накриває бойову позицію «куполом» електромагнітних завад є квадрифілярна рамочна антена (КРА) (рис. 1). Популярність її пов'язана з формою ДС, простотою конструкції, технологічністю, можливістю формування поля завад з круговою поляризацією, можливістю створювати завади великої потужності (більше 100 Вт) тощо.



Рис. 1



Рис. 2



Рис. 3

На жаль у відкритих джерелах відсутні ґрунтовні статті з дослідженнями характеристик та особливостей таких антен. Тому в рамках студентського гуртка ХНУРЕ «Проектування та дослідження пристроїв антенно-фідерного тракту» раніше вже були започатковані дослідження [1] для вирішення цього питання. В даній роботі представляються деякі з нових результатів щодо вивчення КРА, а саме результати моделювання в програмі HFSS характеристик антени з конструктивними модифікаціями.

Річ у тім, що на практиці можна зустріти не тільки «класичну» електродинамічну структуру КРА, що зображено на рис. 1, а й антену зі змінним профілем металевієї пластини, з якої виготовлено антену. На рис. 2 показано один з таких варіантів, де пласку пластину замінено на X подібний профіль. Окрім цього існують варіанти реалізації КРА, де вона знаходиться над металевим екраном захисного корпусу, який теж буде вносити зміни в характеристики антени.

За основу моделі антени було взято серійно зроблену КРА. В моделі такої антен, що зібрано в програмі HFSS, плаский профіль провідника було замінено на хрестоподібний (рис. 4). Важливим параметром такого профілю є половина ширини ребра – EDGE. Нульове значення цього параметра буде відповідати відсутності ребер, тобто перетворенню моделі на варіант антени виконаної з плаского профілю шириною $D=18$ мм (рис. 4 зліва).

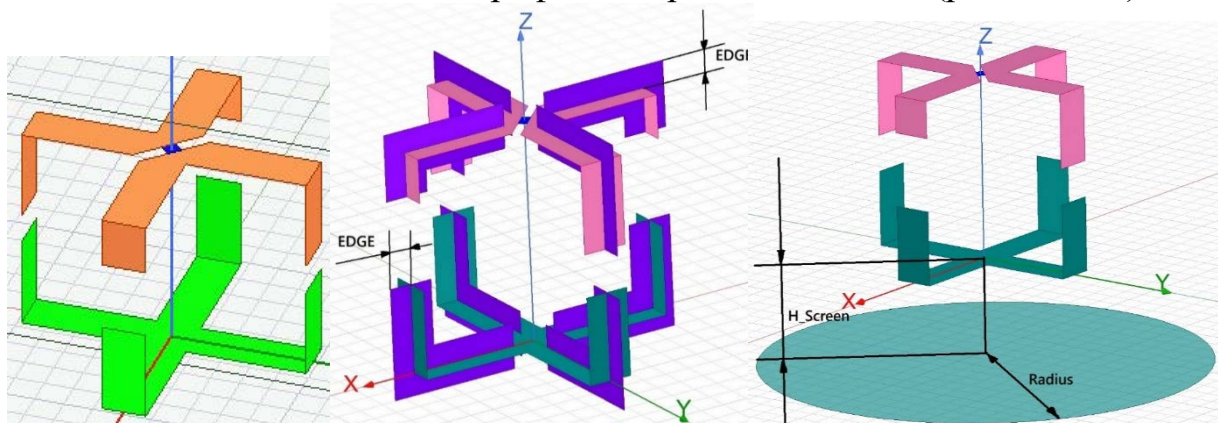


Рис. 4

Додавання EDGE, починаючи від розмірів 4...5 мм призводить до збільшення смуги робочих частот Δf (рис. 5). Зростання йде до значень $EDGE=13$ мм, після чого спостерігається «насичення» характеристики та максимальна смуга антени близько 1040 МГц.

З точки зору мінімізації заднього пелюстка ДС антени, найбільш оптимальними для усіх частот смуги робочої смуги Δf є розміри ребра $EDGE=10$ мм $\approx D/2$ (рис. 6), тобто коли EDGE дорівнює половині розміру пласкої металевієї шини, з якої виготовлено вихідну антену. При цьому зміна EDGE найбільше впливає на зворотне випромінювання само на нижніх f_H та середніх $f_{сep}$ частотах, але характер впливу протилежний. На середніх частотах зростання EDGE веде до збільшення заднього пелюстка, на ниж-

ніх частотах (800 МГц) – навпаки. На верхніх робочих частотах $f_B = 1 \dots 1,1$ ГГц рівень заднього пелюстка майже не змінний при зміні розміру ребра.

Така ж частотна особливість впливу EDGE на ширину головного пелюстка ДС (рис. 7). До $EDGE \approx 11 \dots 12$ мм на f_H та $f_{сер}$ можна бачити зменшення до 10% від початкового значення ширини ДС, після чого можна вважати, що ширина ДС не змінюється. На рис. 7 простежується ще одна особливість – чим вища робоча частота f_0 , тим ширше стає ширина ДС, причому для крайніх частот робочої смуги ця різниця може досягати 60° .

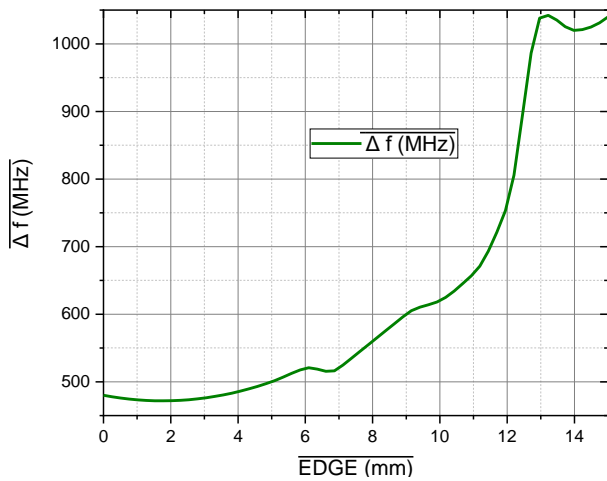


Рис. 5

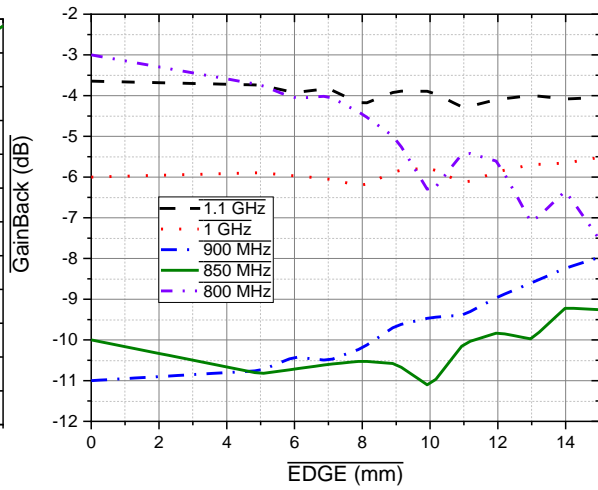


Рис. 6

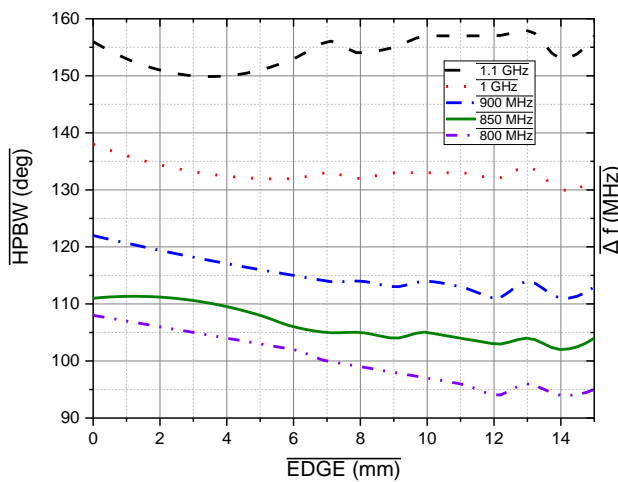


Рис. 7

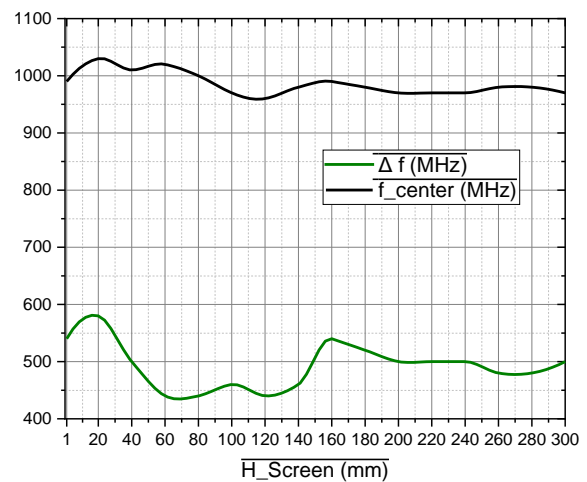


Рис. 8

При моделюванні антени з екраном (на рис. 4 праворуч) використовувалися параметри Radius – радіус екрана та H_Screen – відстань антени від екрана. Параметричний аналіз полягав в зміні цих параметрів окремо.

Варіація відстані відбувалася при фіксації розміру екрана (дорівнював ширині антени). При відносно великих відстанях $H_{Screen} > 160$ мм центральну частоту f_{center} робочого діапазону частот антени та ширину її смуги робочих частот Δf можна вважати майже незмінними від відстані антени до екрана, з середніми значеннями $\Delta f = 500$ МГц та $f_{center} = 980$

МГц (рис. 8). Для менших значень H_Screen існує потенціал підлаштування частотних параметрів антени. Варіація Δf відбувається в межах 430...580 МГц, а f_center – 1030...960 МГц. Одночасно максимальні значення зазначених частотних параметрів можна отримати за $H_Screen=20$ мм, а мінімальні за $H_Screen=110...120$ мм. При зміні H_Screen в діапазоні 20...60 мм центральна частота майже незмінна, а смуга частот зменшується від її максимального значення до мінімального.

Параметр H_Screen суттєво впливає на рівень заднього пелюстка $GainBack$ та ширину основного пелюстка $HPBW$ ДС. На рис. 9 бачимо, що якщо зміна відстані до екрану майже не впливає на $GainBack$ на f_b , то на кривих для f_n можна спостерігати ділянки як зростання, так і суттєвого зменшення заднього пелюстка. Для досліджуваної антени оптимальною відстанню для усіх робочих частот за критерієм мінімальності заднього пелюстка ДС можна вважати $H_Screen=100...170$ мм. Моделювання також показує, що невеликі відстані екрану від антени не є оптимальними та загальна тенденція така, що ДС антени на нижніх та верхніх частотах робочого діапазону частот буде мати більший задній пелюсток (рис. 9).

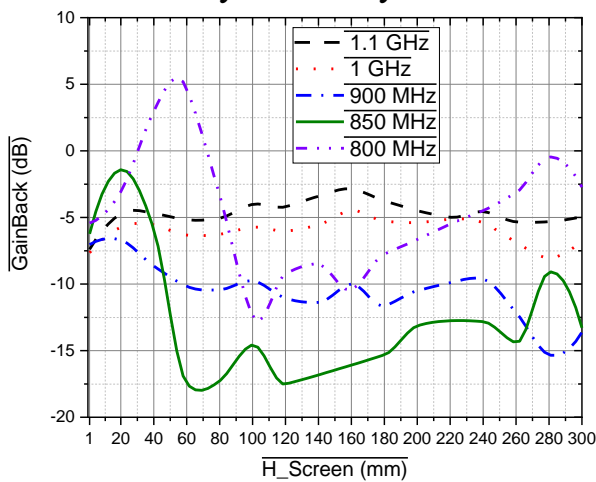


Рис. 9

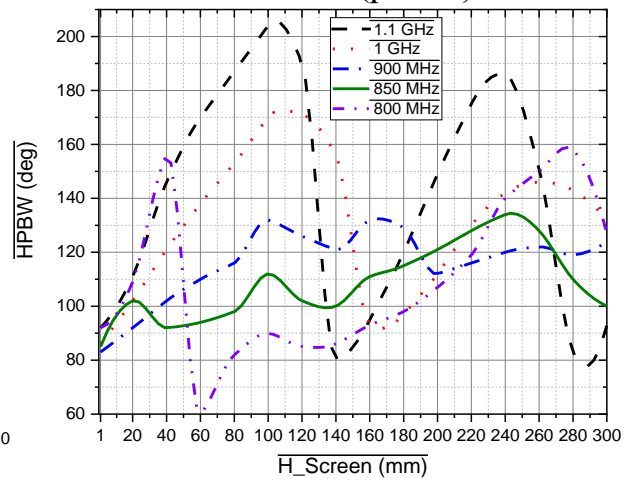


Рис. 10

Щодо ширини $HPBW$, то ситуація дуже складна (рис. 10). Якщо встановити мінімальну відстань $H_Screen=1...10$ мм, то ширина ДС при зміні робочої частоти буде мати майже незмінне та одне із найнижчих значень 82...92°. При цьому майже незмінним буде і рівень заднього пелюстка (хоча він буде і не найменшим (рис. 9)). Подальше збільшення відстані до екрану призводить до різкого зростання різниці ширини ДС на різних частотах. На відстані 100 мм різниця в ширині ДС замість 10° становить вже 116° (ширина ДС на f_n – 90°, та на f_b – найвище значення 206°).

Висновки.

Експерименти підтвердили, що ширина провідника, з якого виготовлено антену, впливає на її імпеданс, коефіцієнт підсилення, ширину діаграми спрямованості (ДС). Отже, вибір ширини провідника (його конструкції) при проектуванні або оптимізації антени, частіше за все є компромісом між досягненням потрібних характеристик, конструктивної міцності, технологічністю виробництва антени тощо. Окрім цього, багато з виробників розглядають можливість збільшення ширини провідника, як найбільш простий спосіб збільшення широкосмуговості антени. Подібний підхід зараз і спостерігається у виробництві КРА.

Перелік джерел посилання.

1. Павло Колесніков. Квадрофілярна антена для засобів РЕБ. Матеріали 29-го Міжнародного молодіжного форуму «Радіоелектроніка та молодь у XXI столітті». Конференція «Інформаційні радіотехнології та технічний захист інформації». – 2025. – с. 28 – 31.