

УДК 621.396.6(045)

¹В.П. Харченко, д.т.н., ²Ю.М. Барабанов, к.т.н.
³А.М. Грехов, д.ф.-м.н., ⁴Д.І. Терещенко**МОДЕЛЮВАННЯ ЛІНІЙНОЇ АНТЕННОЇ РЕШІТКИ НА ОСНОВІ ПЛАНАРНИХ ВИПРОМІНЮВАЧІВ**Національний авіаційний університет, м. Київ, ¹ans@nau.edu.ua, ²brbnv@i.ua, ³grekhovam@ukr.net, ⁴tedmiv@gmail.com

Проведено розрахунки конструкції та характеристик електромагнітного поля мікροстрічкової антени та лінійної фазованої решітки, що були виконані на основі методу моментів з використанням програмного комплексу Antenna Magus. Проведено аналіз характеристик вказаних антен при різних числах випромінювачів і різних видах амплітудного розподілу.

Ключові слова: мікροстрічкова антена, фазована антенна решітка, планарний випромінювач, метод моментів, діаграма спрямованості, Antenna Magus.

Постановка проблеми. Моделювання лінійних антенних решіток для систем авіаційного супутникового зв'язку є важливою проблемою, оскільки еволюції літака у польоті змушують використовувати на борту літального апарату слабо спрямовані антени, що призводить до значних послаблень сигналу на вході бортової приймальної системи. Значний вигравш в енергетичних показниках сигналу на вході бортової приймальної системи в каналі зв'язку "повітряне судно – супутник", можна досягти шляхом використання вузько напрямленої діаграми спрямованості(ДС) антенних решіток, головна пелюстка яких орієнтується в напрямі супутника зв'язку. Широке впровадження супутникових систем для авіаційного рухомого зв'язку, викликає необхідність вирішення актуальних завдань побудови зв'язних фазованих антенних решіток (ФАР).

Як правило антенні решітки являють собою системи слабо напрямлених випромінювачів, що розташовані один від одного на деякій відстані, зазвичай меншій довжини хвилі. В якості випромінювачів для розміщення на борту літака широко використовуються мікροстрічкові випромінювачі, що дозволяє створити низькопрофільні авіаційні ФАР. Як правило, випромінювачі робляться однаковими.

Ознайомлення студентів та спеціалістів з технологією моделювання ФАР за допомогою сучасної програми Antenna Magus є актуальним, а також може бути використане в навчальному процесі та наукових дослідженнях.

Аналіз досліджень і публікацій. Нині у світі існує велика кількість програмних комплексів кластерних, розподілених обчислень, що використовують процедури, які дозволяють розраховувати складні тривимірні випромінюючі структури, такі як вежа зв'язку, літак, морський корабель, супутник зв'язку тощо, і здійснювати аналіз розподілу електромагнітного поля на об'єктах, електричні розміри яких можуть складати десятки - сотні довжин хвиль. В якості одного з основних методів моделювання в них, використовується відомий метод моментів (МоМ) на основі рівнянь Максвелла. До відомих і потужних програм моделювання електромагнітних завдань відносяться комплекси Computer Simulation Technology(CST) [1], Microwave Office [2], FEKOSuite [3,4]. HFSS компанії Ansoft [5] та ін. В якості складової частини цих комплексів, широко застосовується програма Antenna Magus, яка дозволяє досліджувати характеристики випромінювання будь-якої поодинокі антени або системи випромінювачів у вільному просторі, а також експортувати моделі створених антен до цих комплексів, для подальших обчислень на складних об'єктах. Використовуючи процедури кластерних, паралельних обчислень на системі робочих станцій, можливо розрахувати результуюче поле випромінювання складної випромінюючої структури, геометричні розміри якої можуть складати $n \cdot (100 \dots 1000) \lambda$.

Знання процедур обчислення будь-якої поодинокі антени або системи випромінювачів у вільному просторі

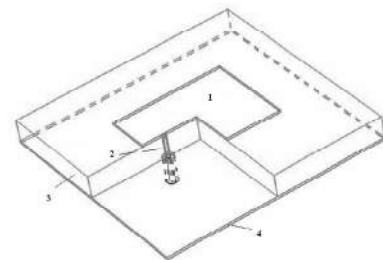


Рис. 1. Модель мікροстрічкового випромінювача: 1) пластина випромінювача; 2) коаксіальний зонд; 3) діелектрична підкладка; 4) екран

3

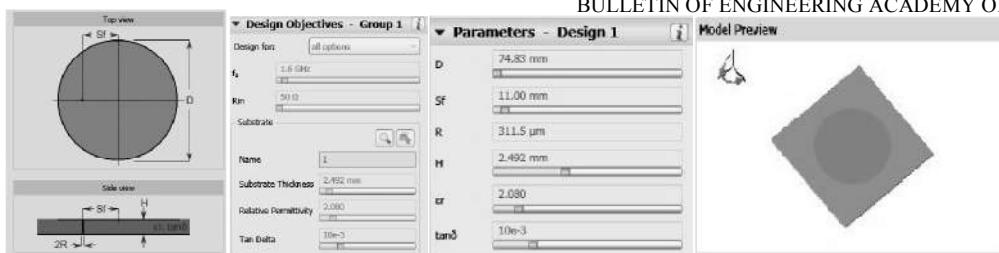


Рис. 2. Інтерфейс програми AntennaMagus при розрахунку конструктивних параметрів МСА

використанням програми Antenna Magus, дозволяє синтезувати ФАР із заданою ДС, з мінімальним рівнем бічних пелюсток, знаходити оптимальну схему збудження елементів ФАР, автоматизувати процес проектування індивідуальних антен. Для моделювання ФАР, у рамках отриманої ліцензії Classroom, використовувалось програмне середовище Antenna Magus 3.2.1. Можливості програми, досліджені по окремим випромінювачам, наводяться в публікаціях [6,7], проте застосування для прикладних та навчальних задач розглянутих в статті публікується вперше.

Мета роботи. Метою даної роботи є дослідження еквідистантної лінійної ФАР з різноманітними методами збудження елементів, що побудована на основі мікродіркової антени (МСА) за допомогою програми Antenna Magus, котра може бути використана для розміщення на фюзеляжі літака та забезпечення супутникового зв'язку в діапазоні L (1,5-1,6ГГц).

Моделювання поодинокого випромінювача в програмі Antenna Magus

Для моделювання антен використовувалося програмне середовище Antenna Magus 3.2.1. У якості елемента ФАР використовували МСА (рис. 1.).

Типова конструкція МСА - тонка (близько десятків мікрон) плоска металева пластина тієї або іншої форми, що розміщена на діелектричному шарі - підкладці завтовшки $h = (0,003...0,08) \lambda$ яка обмежена знизу екраном. В якості підкладки зазвичай використовуються матеріали з відносною діелектричною проникністю $\epsilon = 2...10$, але, залежно від додатків, можливий і ширший спектр значень ϵ .

Основна вимога до матеріалу підкладки - малі втрати, що характеризуються тангенсом діелектричних втрат $\tan\delta$. Пластини МСА найчастіше мають прямокутну або круглу форму, проте принципово можлива довільна форма з відомою резонансною частотою.

Вибором форми пластини можна як істотно поліпшити узгодження МСА з лінією фідера, так і реалізувати кругову поляризацію випромінювання антени. Переваги МСА особливо важливі для космічних і бортових радіотехнічних комплексів, вимоги до технічних і конструктивних параметрів яких є дуже жорсткими і суперечливими. Мала вага і габаритні розміри актуальні також і для портативної апаратури.

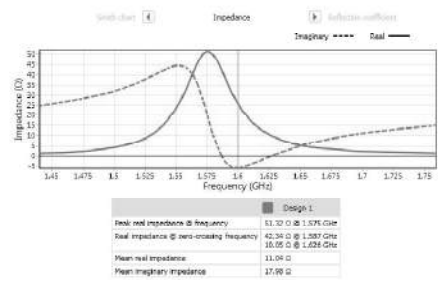


Рис. 3. Залежність вхідного імпедансу МСА від частоти

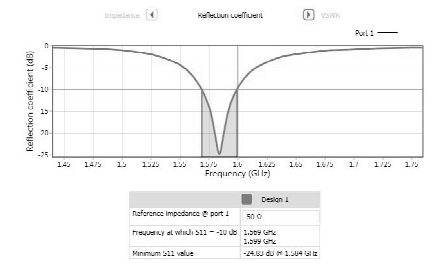


Рис. 4 Залежність коефіцієнта відображення МСА від частоти

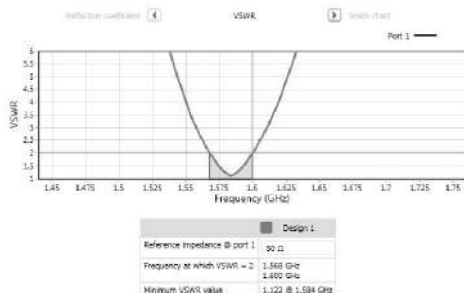


Рис. 5. Залежність коефіцієнта стоячих

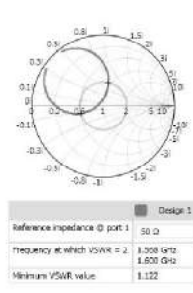


Рис. 6. Діаграма Сміта МСА

хвиль (VSWR) від частоти

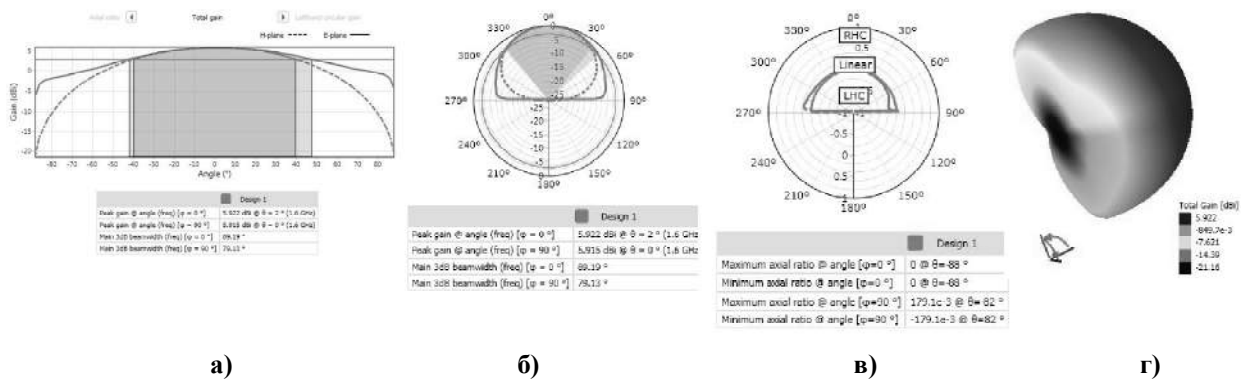
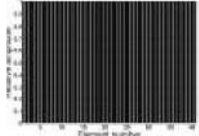

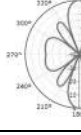

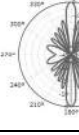


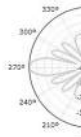
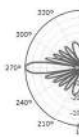
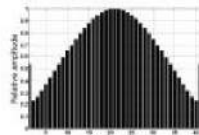

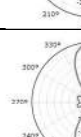
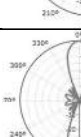



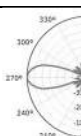
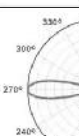
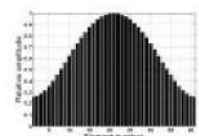

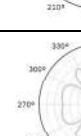
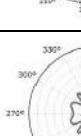
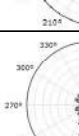



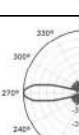


Рис. 7. ДС МСА в Н і Е площинах з відображенням ширини ДС на рівні половинної потужності: а) ДС в декартовій системі координат; б) ДС в полярній системі координат для лінійної вертикальної поляризації поля; в) ДС із співвідношенням випромінювання по осях в полярній системі координат, для лінійної, право- і ліво-кругової поляризації поля; г) тривимірна ДС для всіх складових електромагнітного поля

За допомогою програми AntennaMagus виконані розрахунки електричних характеристик МСА на частоті 1,6 ГГц. Введені наступні параметри мікροстрічкової антени: геометричні розміри антени, вхідний опір 50 Ом, діелектрична підкладка завтовшки 2.492 мм, відносна діелектрична проникність $\epsilon_r=2,08$, тангенс діелектричних втрат $\tan\delta=10^{-3}$. Геометричні розміри МСА наступні: діаметр пластини випромінювача D_s , зміщення точки підключення коаксіального зонду S_s , відповідно 74,83мм і 11,0мм.

Таблиця 1

Тип збудження елементів ФАР, вид амплітудного розподілу	Площина	Діаграма спрямованості ФАР у вільному просторі		
		N=5	N=7	N=11
Рівномірний та синфазний розподіл 	XZ 			
	XY 			
Розподіл Дольфа-Чебишева 	XZ 			
	XY 			
Розподіл Villeneuve 	XZ 			
	XY 			

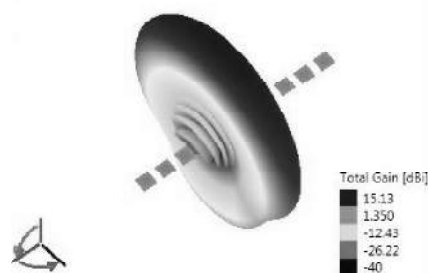


Рис. 8. Тривимірний ДС ФАР створена в програмі Antenna Magus

Отримані результати, щодо конструктивних параметрів МСА, дозволяють за допомогою програми Antenna Magus розрахувати характеристики випромінювання, що представлені на рис. 3...8, такі як: залежність вхідного імпедансу, коефіцієнт відбиття, коефіцієнт стоячих хвиль (VSWR), діаграма Сміта в залежності від частоти, при зсуві відносно резонансної частоти в межах ± 20 МГц. А також, ДС антени.

Моделювання лінійної системи мікродіафрагм випромінювачів в програмі Antenna Magus. При моделюванні лінійної еквідистантної ФАР для аналізу прийнята кількість 5, 7 та 11 однакових МСА, конструкція і

характеристики яких розглянуті вище. Прийнято три варіанти збудження ФАР: 1) рівномірний та синфазний розподіл токів збудження МСА вздовж ОХ, що розташовані на відстані $0,5\lambda$ один відносно одного; 2) розподіл за методом Дольфа-Чебишева [8], при якому амплітудний розподіл такий, при якому рівень бічних пелюсток є мінімальним для заданої ширини діаграми спрямованості головної пелюстки, або ширина головної пелюстки є мінімальною для заданого рівня бічних пелюсток; 3) збудження по закону Villeneuve [8], яке можна представити, як модифікацію метода Тейлора щодо оптимізації дискретних бічних пелюсток, таким чином, щоб 1-й та (n-1) нулі ДС решітки співпадали з нулями розподілу Дольфа-Чебишева, а наступні нулі ДС решітки співпадали з нулями, що залишилися, при рівномірному збудженні решітки.

Результати моделювання поля випромінювання лінійної ФАР для N=5, 7 і 11 випромінювачів представлені в таблиці 1, при цьому рівень головної пелюстки ДС встановлено 30 дБі для всіх варіантів збудження.

Висновки

В роботі виконано дослідження програмного комплексу Antenna Magus 3.2.1 для мікродіафрагм антен, які можливо використовувати в якості бортових авіаційних антен супутникового зв'язку, а також виконано:

- 1) конструктивний розрахунок МСА в діапазоні 1,5-1,6 ГГц;
- 2) дослідження характеристики випромінювання поодинокі МСА;
- 3) досліджено три варіанти побудови лінійної еквідистантної ФАР у вільному просторі для рівноамплітудного розподілу збудження випромінювачів, розподілу за методом Дольфа-Чебишева та методу Villeneuve.

Отримані результати мають бути корисними для подальшого проектування МСА на складних тривимірних структурах, а також у навчальному процесі.

Список літературних джерел

1. CST STUDIO SUITE 2012: System Assembly and Modeling. Reprinted with permission of MICROWAVE JOURNAL from the December 2011 issue. -Р.3.
2. В.Д. Разевиг, Ю.В. Потапов, А.А. Курушкин. Проектирование СВЧ устройств с помощью Microwave Office. Под ред. В.Д. Разевига. -М.:СОЛОН-Пресс, 2003.-496с.
3. Банков С.Е., Курушин А.А. Практикум проектирования СВЧ структур с помощью FEKO - М., ЗАО «НПП РОДНИК». -2009, 200 с.
4. Банков С.Е., Курушин А.А. Расчет излучаемых структур с помощью FEKO - М., ЗАО «НПП «РОДНИК». 2008, 246 с.
5. Моделирование антенн и элементов тракта: Учебно-методическое пособие для выполнения курсовых и самостоятельных работ по учебным курсам «Устройства СВЧ и антенны» и «Антенно-фидерные устройства». / Под ред. Шишакова К. В. - Ижевск : ИжГТУ, 2009. - 127 с.
6. <http://www.antennamagus.com>
7. http://www.cst.com/Content/Showroom/AM_Cylindrical_Patch_Array/AM_Cylindrical_Patch_Array.html
8. Sophocles J. Orfanidis. Electromagnetic Waves and Antennas. Rutgers University. 2010.-1033 Р.