

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет програмування та комп'ютерних і телекомунікаційних систем

Кафедра телекомунікацій та радіотехніки

КВАЛІФІКАЦІЙНИЙ ПРОЄКТ

Бакалавр

Освітній рівень

Спеціальність 172 Телекомунікації та радіотехніка

Шифр і назва спеціальності

на тему Антенна система радіолокаційної станції на базі фазованої антенної решітки

КРТР. 2017007.01.08 ПЗ

Виконав:

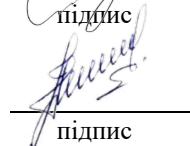
студент 4 курсу, група ТР-17-1


підпис

Дмитро КІТ

Ініціали, прізвище

Керівник: канд. техн. наук, доцент

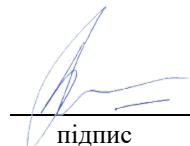

підпис

Леся КАРПОВА

Ініціали, прізвище

До захисту допускаю:

Зав. кафедри: д-р техн. наук, проф.


підпис

Юлій БОЙКО

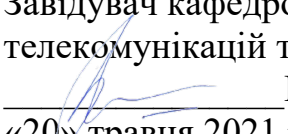
Ініціали, прізвище

«20» травня 2021р.

Хмельницький, 2021

Хмельницький національний університет

Факультет програмування та комп'ютерних і телекомунікаційних систем
Кафедра телекомунікацій та радіотехніки
Спеціальність 172 – Телекомунікації та радіотехніка

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедру
телекомунікацій та радіотехніки
 Юлій БОЙКО
«20» травня 2021 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАДІФІКАЦІЙНИЙ ПРОЄКТ

дипломнику _____ КОТУ Дмитру Степановичу _____

1 Тема роботи: Антенна система радіолокаційної станції на базі фазованої антенної решітки затверджена наказом по університету від «05» лютого 2021р. № 11

2 Мета: аналіз технологічних параметрів антенних решіток, опис математичної моделі та проведення комп'ютерного моделювання _____

3 Вихідні дані (характеристика об'єкта, умов дослідження та ін.)

Створення необхідної антенної решітки з електричним скануванням променя, що працює на частоті 1680 МГц (± 10), яка дозволить розширити функціонал РЛС, тобто: збільшити пропускну здатність за рахунок багатопроменевої антенної системи, зменшити час розгортки даної системи, можливість роботи в багатоканальному режимі з декількома зондами одночасно, а також приріст показників дальності і висоти зв'язку з зондом, в порівнянні з існуючими аналогами.

4 Термін подання роботи до захисту 20 травня 2021 року _____

5 Дата видачі завдання 10 лютого 2020 року _____

Науковий керівник _____  Леся КАРПОВА

Завдання отримав _____  Дмитро КІТ

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедрою телекомунікацій та
радіотехніки

Юлій БОЙКО

«10» лютого 2021 р.


ПЛАН ІНДИВІДУАЛЬНОЇ РОБОТИ

№ п/п	Найменування виду роботи	Форма звітності, термін виконання	Відмітка наукового керівника
1.	Розробка завдання на кваліфікаційний проєкт	15.02.2021р.	Виконано
2.	Складання індивідуального плану на кваліфікаційний проєкт	15.02.2021р.	Виконано
3.	Написання першого (теоретичного) розділу	10.03.2021р.	Виконано
4.	Написання другого розділу	26.03.2021р.	Виконано
5.	Написання третього розділу	15.04.2021р.	Виконано
6.	Написання вступу і загальних висновків та пропозицій до кваліфікаційного проєкту	30.04.2021р.	Виконано
7.	Оформлення кваліфікаційного проєкту	10.05.2021р.	Виконано
8.	Рецензування кваліфікаційного проєкту	15.05.2021р.	Виконано
9.	Презентаційні матеріали за результатами виконання дипломного проєкту	20.05.2021р.	Виконано

Примітки:

- _____
- _____

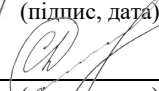
Науковий керівник



(підпис, дата)

Леся КАРПОВА

Студент



(підпис, дата)

Дмитро КІТ

АНОТАЦІЯ

Розроблена фазована антенна решітка для метеорологічних радіолокаційних комплексів. Для даної антенної решітки також був спроектований і розроблений випромінювач, оцінені його електродинамічні характеристики, обґрунтовано застосування такого типу випромінювача. На основі цього випромінювача була синтезована антенна решітка, були проведені розрахунки і моделювання антенної решітки, були отримані основні електродинамічні характеристики, що дозволяє робити висновки про те, що дана антенна решітка може бути використана в існуючих метеорологічних комплексах, і володіє хорошими електродинамічними характеристиками.

Метою кваліфікаційної роботи є аналіз застосування антенних решіток у системах радіозв'язку та інших радіотехнічних системах, визначення напрямків удосконалення таких систем. У першому розділі представлені загальні відомості про радіолокаційні станції метеорологічної розвідки, радіозондах, використовуваних на даних станціях. У другому розділі проведений аналіз об'єкта управління (антенної решітки), побудованої на базі квадріфілярного спірального випромінювача. Розглянуті основні типи фазованих антенних решіток, обрана форма моделюється антенною решіткою. Ще в цьому розділі був зроблений вибір основного типу випромінювача і розглянуті основні методи розрахунку фізичних і електродинамічних характеристик квадріфілярного спірального випромінювача. У третьому розділі було вироблено моделювання роботи як однієї антени, так і всієї антенної решітки, а також отримані основні характеристики розробленої антенної решітки.

Ключові слова: антена, діаграма спрямованості, фазована антенна решітка, система керування, антенне поле, фазовий центр, параболічна дзеркальна антена, радіотелескоп.

SUMMARY

A phased array antenna for meteorological radar systems has been developed. An emitter was also designed and developed for this antenna array, its electrodynamic characteristics were evaluated, and the use of this type of emitter was substantiated. An antenna array was synthesized on the basis of this emitter, antenna array calculations and simulations were performed, basic electrodynamic characteristics were obtained, which allows us to conclude that this antenna array can be used in existing meteorological complexes and has good electrodynamic characteristics.

The purpose of the qualification work is to analyze the use of antenna arrays in radio communication systems and other radio systems, to determine areas for improvement of such systems. The first section presents general information about radar meteorological reconnaissance stations, radiosondes used at these stations. The second section analyzes the control object (antenna array), built on the basis of a quadrifilar spiral emitter. The main types of phased array antennas are considered, the chosen shape is modeled by an antenna array. In this section, the choice of the main type of emitter was made and the main methods of calculating the physical and electrodynamic characteristics of the quadrifilar spiral emitter were considered. In the third section, a simulation of the operation of both one antenna and the entire antenna array was performed, as well as the main characteristics of the developed antenna array were obtained.

Keywords: antenna, radiation pattern, phased array antenna, control system, antenna field, phase center, parabolic mirror antenna, radio telescope.

ЗМІСТ

	С.
ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ.....	8
ВСТУП.....	9
1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ І ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ	11
1.1 Спостереження на метеорологічних станціях. Метеорологічні прилади.....	11
1.2 Особливості радіозондування.....	13
1.2.1 Організація метеорологічних спостережень.....	15
1.3 Огляд існуючих аналогів в області радіолокаційних комплексів.....	18
1.4 Постановка мети дослідження.....	25
1.2 Висновки до розділу.....	25
2 АНАЛІЗ І СИНТЕЗ ВИПРОМІНЮВАЧІВ НА ОСНОВІ СПІРАЛЬНОЇ СТРУКТУРИ У СКЛАДІ АНТЕННИХ СИСТЕМ МЕТЕОРОЛОГІЧНИХ РЛС.....	26
2.1 Опис спіральних випромінювачів.....	26
2.1.1 Циліндричний спіральний випромінювач.....	28
2.1.2 Конічний спіральний випромінювач.....	29
2.1.3 Плоский спіральний випромінювач.....	30
2.1.4 Квадрифілярний спіральний випромінювач.....	32
2.2 Аналіз електродинамічних характеристик квадрифілярної спіральної антени.....	34
2.3 Опис і аналіз антенної решітки для метеорологічної станції.....	39
2.3.1 Класифікація антенних решіток.....	39
2.3.2 Аналіз циліндричної ФАР.....	44

						КПТР. 2017007.01.08 ПЗ							
Вип.	Аркуш	№ Докум.	Підпис	Дата	Антенна система радіолокаційної станції на базі фазованої антенної решітки Пояснювальна записка				Літера	Аркуш	Аркушів		
Розробив	Кім Д.С.	Карпова Л.В.										6	
Перевірив	Бойко Ю.М.								ХНУ, гр. ТР-17-1				
Н. контр.	Бойко Ю.М.												
Затв.	Бойко Ю.М.												

2.4 Висновки до розділу.....	49
3 РЕЗУЛЬТАТИ МОДЕЛЮВАННЯ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ АНТЕНИ СИСТЕМ МЕТЕОРОЛОГІЧЕСКИХ РЛС.....	50
3.1 Побудова феноменологічної моделі квадріфілярної спіральної антени.....	50
3.2 Побудова феноменологічної моделі циліндричної АР.....	59
3.3 Висновки до розділу.....	62
ВИСНОВКИ	64
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	65

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

GPRS	– General Packet Radio Service
GPS	– Global Positioning System
AP	– антенна решітка
АФАР	– активна фазована антенна решітка
ВМО	– Всесвітня метеорологічна організація
ВМХ	– верхня межа хмарності
ДМРЛ	– доплерівський метеорологічний радіолокатор
ДС	– діаграма спрямованості
КСА	– квадріфілярна спіральна антена
КСВ	– коефіцієнт стоячої хвилі
КСД	– коефіцієнт спрямованої дії
КФАР	– кільцева фазована антенна решітка
МО	– метеорологічна обсерваторія
РБП	– рівень бічних пелюсток
РЛС	– радіолокаційна станція
УПР	– управління повітряним рухом
ШСЗ	– штучний супутник Землі

					КПТР. 2017007.01.08 ПЗ	Арк
						8
Вип.	Аркуш	№ Докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

Однією із основних задач, що ставить перед нами сьогодні, є подальший розвиток теорії і практики проектування антенних решіток (АР) пов'язаний із зростанням їх ролі в радіотехнічних системах різного призначення. У таких областях радіоелектроніки, як радіолокація, радіонавігація, радіозв'язок, радіорозвідка і радіоелектронна протидія, характеристики АР визначають основні параметри і граничні можливості радіосистем в цілому.

Тенденція, що виникла в результаті підвищення вимог до радіосистем і збільшення виконуваних ними завдань пояснює необхідність пошуку нових рішень при проектуванні антенних систем [1,2].

Відмова від традиційних методів проектування антен, що виконують, як правило, функцію прийому або передачі електромагнітних хвиль, обумовлена рядом комплексно діючих чинників. Перш за все, це пов'язано із загальним напрямом мікромініатюризації радіоелектронної апаратури і комплексно виконуваних нею функцій. Завдання забезпечення багатофункціональної роботи радіотехнічних систем є, єдиною альтернативою при створенні метеорологічних станцій, що обумовлене жорсткими обмеженнями щодо масогабаритних показників.

В той же час сучасні радіосистеми повинні функціонувати в швидкозмінюємій радіотехнічній обстановці за наявності пасивної і активної радіопротидії. Тому функціональні можливості радіоапаратури повинні передбачати гнучку зміну характеристик і параметрів залежно від ситуації, що складається, при одночасному задоволенні вимог до електромагнітної сумісності пристроїв різного призначення [3,4].

Реалізація багатофункціональної роботи радіоапаратури визначається в першу чергу можливістю зміни характеристик її антен. Так, антенна система метеорологічних станцій, що призначені для моніторингу параметрів атмосфери, вимагає застосування ефективних і малогабаритних радіолокаційних станцій. Дані станції існують у великій кількості, але вони, як правило мають великі габарити за рахунок антенної системи, і не мають тієї швидкості прийому метеорологічної інформації, яка потрібно в складних метеоумовах.

						КПТР.2017007.01.08 ПЗ	Арк 9
Вип.	Аркуш	№ Докум.	Підпис	Дата			

1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ І ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1 Спостереження на метеорологічних станціях. Метеорологічні прилади.




Метеорологічна станція – станція для проведення спостережень за погодою. Складена з метеомайданчика, на якому розташована більшість приладів, що фіксують метеоеlementи, і замкненого приміщення, в якому встановлюється барометр і барограф та ведеться обробка спостережень. На бурях у відкритому морі та в ненаселених районах встановлюють автоматичні метеостанції. Одержані на метеостанціях дані кодують і надсилають до метеорологічних центрів.

Розрізняють аналогові й цифрові метеорологічні станції.

На класичній (аналоговій) метеостанції є:

- термометр для вимірювання температури;
- барометр для вимірювання тиску;
- гігрометр для вимірювання вологості повітря;
- анемометр для вимірювання швидкості вітру;
- флюгер для вимірювання напрямку вітру;
- опадомір для вимірювання опадів.

У вузькому розумінні метеостанція – установа, що проводить метеорологічні спостереження. Основним офіційним метеостанціям світу присвоєні синоптичні індекси. Залежно від устанавленого обсягу спостережень, метеостанції мають певний розряд. Метеорологічні станції поряд зі стандартними ведуть агрометеорологічні спостереження, визначають інтенсивність сонячної радіації (прямої, розсіяної і сумарної), радіаційний баланс, величину випаровування ґрунтової вологи тощо.

					КПТР. 2017007.01.08 ПЗ			
Вип.	Аркуш	№ Докум.	Підпис	Дата	Антенна система радіолокаційної станції на базі фазованої антенної решітки	Літера	Аркуш	Аркушів
Розробив		Кім Д.С.						11
Перевірив		Карпова Л.В.						
Н. контр.		Бойко Ю.М.						
Затв.		Бойко Ю.М.						
Пояснювальна записка						ХНУ, гр. ТР-17-1		

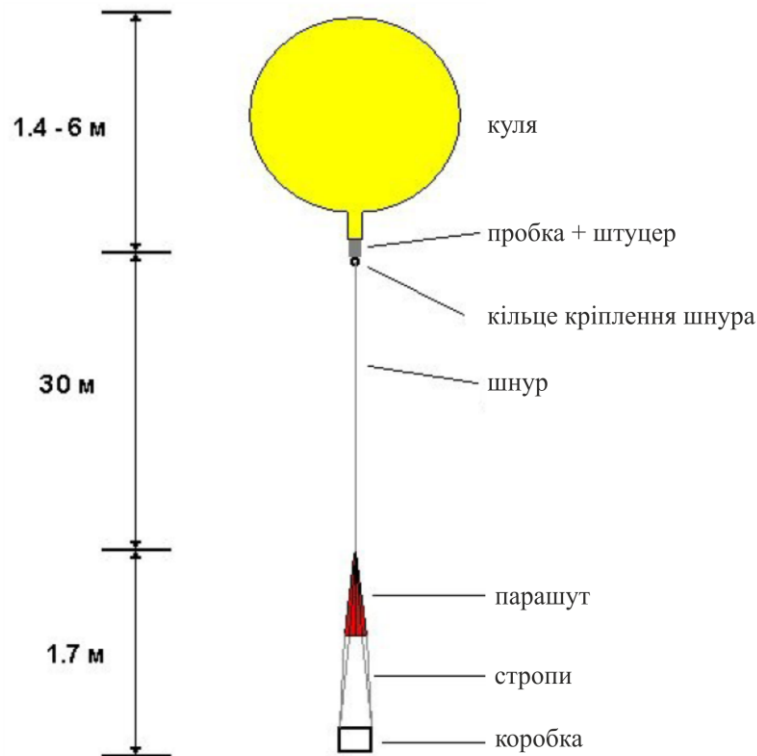


Рисунок 1.1 – Будова метеозонда

У всьому світі встановлено точний час запуску радіозондів. Їх запускають щодня о 00:00 і 12:00 світового часу одночасно по всій планеті. В основному запуск радіозонда відбувається зі спеціального майданчика, проте іноді радіозонди можуть скидатися з літаків, для вивчення певних погодних умов. По досягненню визначеної висоти, яка є критичною для радіозонда, його оболонка лопається і радіозонд неконтрольовано падає вниз, після чого його пошуки не ведуться.

Шляхи передачі інформації з радіозонда можуть бути різними, для цього в складі апаратного комплексу радіозонда присутні не тільки антена з передавачем, але й GSM трекер. GSM трекер дає можливість відсилати отриману інформацію прямо на мобільний телефон за допомогою SMS-повідомлення. Однак, даний тип передачі інформації швидше виняток, ніж правило. Здебільшого радіозонди передають інформацію безпосередньо в інформаційні центри, які оснащені спеціальними комп'ютерами, які зберігають всю

						КПТР. 2017007.01.08 ПЗ	Арк
Вип.	Аркуш	№ Докум.	Підпис	Дата			14

інформацію про стан кліматичних і погодних умов в реальному часі. Інформація надсилається на спеціальні радіоканали. Як правило радіозонди працюють на спеціально виділених радіочастотах 403 МГц, 1680 МГц і 1780 МГц з можливістю підстроювання частоти в межах ± 10 МГц.

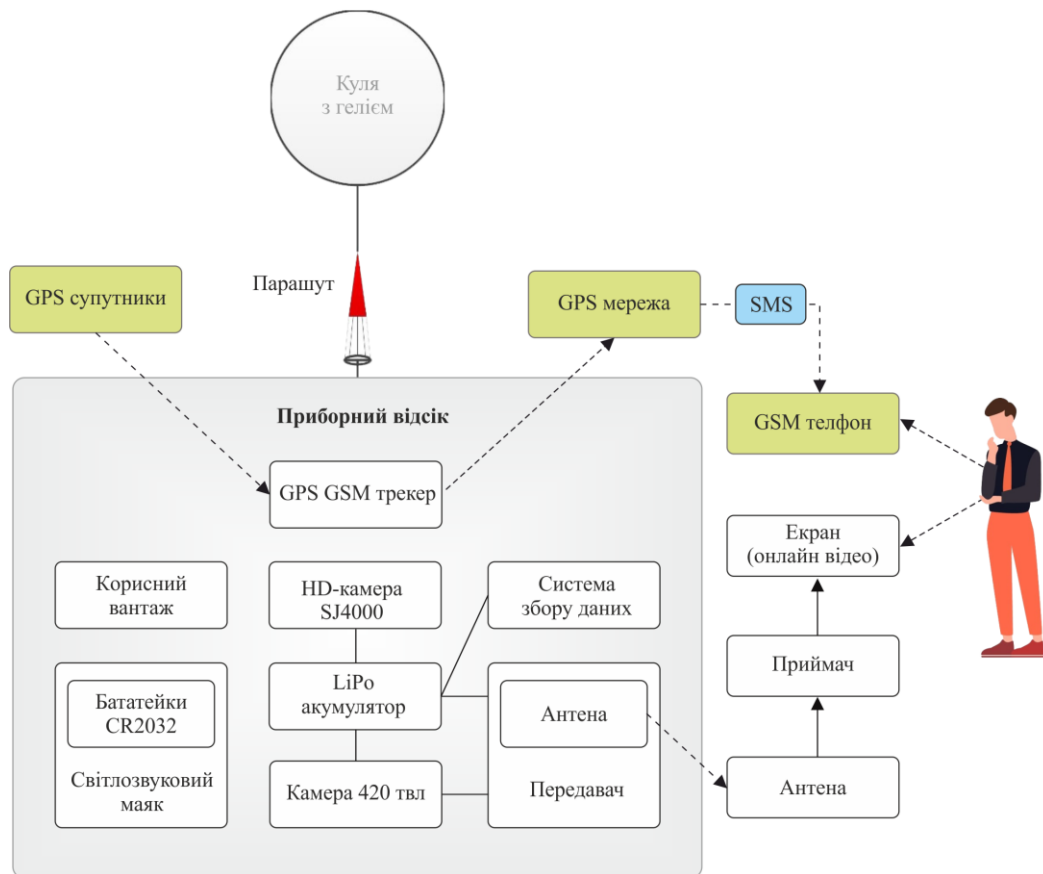


Рисунок 1.2 – Схема роботи радіозонда

1.2.1 Організація метеорологічних спостережень

На Україні цю функцію виконує гідрометеорологічна служба, яка підпорядковується державному комітету по гідрометеорології. Також вона керує державним центром спостережень за станом природного середовища, у розпорядженні якої вся метеорологічна сітка України. Безпосередню роботу на місцях організують регіональні (кущові) центри (Львів, Одеса, Київ, Харків), які здійснюють збір метеорологічної інформації і роблять синоптичний прогноз на (1 день) для регіону. Їм підпорядковані обласні управління (гідрометцентри).

Під час опрацювання цих аерологічних вимірювань визначають епюри значень вказаних параметрів по висоті. Крім зазначених параметрів, на деяких станціях вимірюють так само, хоча і в значно менших обсягах, концентрацію озону, сонячну та інфрачервону радіацію, радіоактивність та деякі інші параметри. Потреба в точних та надійних вимірюваннях всіх вказаних параметрів на сьогодні є надзвичайно актуальною, особливо для наукових досліджень в області зміни клімату планети. На аерологічних станціях, крім регулярних аерологічних і наземних метеорологічних спостережень, складають аерологічні щорічники, проводять випробування нових приладів та методів спостережень.

В аерологічних обсерваторіях проводять також експериментальні і теоретичні дослідження, розробляють нові методи й технічні засоби з використанням радіозондування, метеорологічних радіолокаційних станцій, оптичних квантових локаторів та ін. На території України налічується 9 аерологічних станцій (у містах Києві, Кривому Розі, Львові, Одесі, Сімферополі, Ужгороді, Харкові, Чернівцях, Шепетівці). Методичне керівництво діяльністю аерологічних станцій здійснює Український гідрометеорологічний центр.

Таблиця 1.1 – Основні технічні характеристики

Позначення	Діапазон перетворення температури, °С	Діапазон перетворення вологості, %	Несуча частота, МГц	Частота суперуючих імпульсів, кГц
ПАЗА-10	-	-	1782±10 1680±10	800±25 або 600±25
ПАЗА-11	від -80 до +50	-		
ПАЗА-12 ПАЗА-12М		від 15 до 98		
ПАЗА-20		-		
ПАЗА-21	від -80 до +50	-		
ПАЗА-22		від 15 до 98		

Границя допустимої абсолютної похибки перетворення температури - не більше $\pm 1,6$ °С. Границя допустимої абсолютної похибки перетворення відносної вологості - не більше ± 15 %.

Модифікації:

Модифікації ПАЗА-10, ПАЗА-11, ПАЗА-12, ПАЗА-12М призначені для роботи з наземними станціями відслідковування типу «Метеор», «Метеорит», «Метеорит-2».

Модифікації ПАЗА-20, ПАЗА-21, ПАЗА-22 призначені для роботи з наземними станціями відслідковування типу «АВК» або «МАРЛ».

1.3 Огляд існуючих аналогів в області радіолокаційних комплексів

Для того, щоб безпосередньо працювати з радіозонда на метеорологічних станціях використовують радіолокаційні комплекси. Принцип дії всіх радіолокаційних станцій заснований на використанні відображення електромагнітних хвиль об'єктами спостереження. Дане явище називається радіоехо, і для того, щоб виявити це явище в конструкції кожного метеорологічного радіолокатора обов'язково є направлено і узгоджено діючі радіопередавач і високочутливий радіоприймач.

Споживачами метеорологічної радіолокаційної інформації, в першу чергу - карт метеоявищ, ВМХ, інтенсивності і накопичених опадів, є оперативні служби УКРгідромет, авіаційні метеорологи і служби УПР, комунального і транспортного управління та ін. Пізніше були розроблені інші вітчизняні автоматизовані системи радіолокаційних метеоспостережень - «МетеоЯчейка», «АСУ-МРЛ», «Мерком», «Антиград».

Після впровадження автоматизації радіолокаційних метеорологічних спостережень і переходу на використання в конструкції доплерівського метеорологічного радіолокатора (ДМРЛ) твердотільних модуляторів, цифрових приймачів і когерентної обробки сигналів наступним значним кроком стало впровадження поляризаційних методів. [6] Об'єднання метеорологічних

					КПТР.2017007.01.08 ПЗ	Арк 18
Вип.	Аркуш	№ Докум.	Підпис	Дата		

радіолокаторів в мережу дозволяє в багатьох випадках компенсувати обмеження радіолокаційного методу метеоспостережень: ослаблення радіовипромінювання в опадах, блокування радіовипромінювання природними (рельєф, рослинність) і штучними (будівлі та споруди) перешкодами в окремих секторах, азимутальні напрямки з перешкодами, зниження роздільної здатності радіолокатора за рахунок розширення променя і збільшення висоти променя за рахунок кривизни Землі на великих дальностях.

Сьогодні метеорологічні радіолокаційні мережі створені у всіх розвинених країнах: в США мереж об'єднує 156 доплерівських поляризаційних радіолокаторів S-діапазону WSR-88D, в Європі в рамках міжнародного проекту OPERA об'єднуються близько 180 радіолокаторів різних виробників, що працюють за різними програмами спостережень. Частина з них є доплерівськими і поляризаційними. У Китаї, Японії, Австралії радіолокатори також об'єднані в національні мережі. Як правило, для об'єднання радіолокаційної інформації використовуються первинні дані спостережень.

Основний вихідний інформацією радіолокаційних метеорологічних спостережень є інформація про місцезнаходження, внутрішню структуру, метеорологічних характеристиках (тип метеоявищ, інтенсивність і фаза опадів, що випадають, верхній межі хмарності, доплерівській швидкості) полів хмарності та опадів, а також спостереження їх переміщень і еволюції, що дає можливість надкороткострокового (до 1-3 годин) прогнозу погоди.

Сучасні метеорологічні радіолокатори вирішують такі важливі завдання:

- ідентифікація і оцінка інтенсивності метеорологічних явищ, пов'язаних з хмарністю і опадами, інформаційне забезпечення надкороткострокового прогнозу погоди;
- забезпечення р/л інформацією численних моделей прогнозу погоди для їх ініціалізації і верифікації.

Традиційно, в радіометеорологія використовуються три частотні діапазони довжин хвиль: X (3,2 см), C (5,3 см) і S (10 см). Діапазон S використовується в умовах інтенсивних опадів, тому що він найменш схильний до ослаблення в

						КПТР.2017007.01.08 ПЗ	Арк 19
Вип.	Аркуш	№ Докум.	Підпис	Дата			

залишилися тільки одноосний привід грубого механічного переміщення по азимуту і датчик кута повороту в азимутальній площині. Управління діаграмою спрямованості (ДС) здійснюється подачею відповідного цифрового коду на фазовану антенну решітку, який встановлює необхідні зрушення фаз між окремими диполями антенної решітки. Синтезатор частоти і синхронізатор забезпечують підстроювання робочої частоти Марлен-А до робочої частоти радіозонда, а також блокування входу приймача на час дії зондуючого імпульсу.

Технічні дані Марлі-А:

Дальність автоматичного супроводу зонда від 100 метрів до 250 кілометрів.

В якості антени використовується адаптивна фазована антенна решітка. Межі повороту діаграми спрямованості антени:

- в горизонтальній площині ± 360 градусів (механічний поворот) і електронне сканування в секторі ± 25 градусів;
- у вертикальній площині електронне сканування в секторі від - 10 градусів до +100 градусів.

Максимальна швидкість механічного повороту антенної решітки 60 град/с.

Ширина діаграми спрямованості:

- в горизонтальній площині не більше 9 градусів;
- у вертикальній площині не більше 6 градусів.

Середньоквадратичне відхилення випадкової складової похибки вимірювання координат в режимі автосупроводу при електронному скануванні променя по азимуту і куту місця – 1,1 градус, по дальності 35 метрів.

Виріб забезпечує в режимі передачі рівень імпульсної еквівалентної ізотропно випромінюваної потужністю не менше 25×10^3 Вт в напрямку випромінювання по нормалі до площині розкриву антени, тривалість імпульсу випромінювання 1 мкс.

Показник якості на прийом G/T не менше 2 дБ/К по нормалі до площини розкриву антенної решітки.

					КПТР. 2017007.01.08 ПЗ	Арк 24
Вип.	Аркуш	№ Докум.	Підпис	Дата		

1.4 Постановка мети дослідження

Так як існуючі антенні системи не можуть забезпечити повноцінну роботу в багатоканальному режимі з декількома радіозондами одночасно, а ще володіють великими масогабаритними показниками, то головним завданням є модернізація таких антенних систем з метою усунення даних недоліків.

Метою кваліфікаційного проекту є створення антенної решітки, яка дозволить суттєво модернізувати існуючі радіолокаційні метеорологічні станції, що працює на частоті 1687 МГц.

Основні завдання дослідження:

- розробити математичну і комп'ютерну модель квадріфілярного спірального випромінювача;
- розробити математичну і комп'ютерну модель антенної решітки на базі квадріфілярного спірального випромінювача;

Антенна система, яка розробляється повинна відповідати сучасним стандартам, що застосовуються на метеорологічних радіолокаційних станціях, мати відповідні електродинамічні показники, що дозволить ефективно використовувати її в подібних комплексах, а також повинна володіти високою надійністю.

					КПТР.2017007.01.08 ПЗ	Арк
						25
Вип.	Аркуш	№ Докум.	Підпис	Дата		


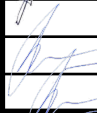

2 АНАЛІЗ І СИНТЕЗ ВИПРОМІНЮВАЧІВ НА ОСНОВІ СПІРАЛЬНОЇ СТРУКТУРИ У СКЛАДІ АНТЕННИХ СИСТЕМ МЕТЕОРОЛОГІЧНИХ РЛС

2.1 Опис спіральних випромінювачів

Для виконання завдання, яке визначається метою даної роботи, будемо використовувати випромінювач з круговою поляризацією, це дозволить більш ефективно працювати з радіозонда, так як, для зв'язку з зондом нам не обов'язково буде знати його точне місце розташування. Лінійна ж поляризація в даному випадку не підходить, так як її переваги не можуть бути розкриті в повною мірою через багатопроменевого поширення сигналу і можливих багаторазових перевідбиттів. У нашому ж випадку сигнал з круговою поляризацією, незалежно від кута між зондом і антенною системою, завжди буде потрапляти на антену. Тим самим, використовуючи кругову поляризацію ми зможемо захиститися від перевідбиттів сигналів.

Слідуючи вищевикладеним висновкам, виберемо для потенційної антенної системи випромінювач з круговою поляризацією. Найпоширенішим випромінювачем з даними типом поляризації є спіральний випромінювач. Спіральний випромінювач являє собою спіраль з дроту, або з металевої трубки. Один кінець спіралі з'єднується з провідником коаксіального кабелю, зовнішня оболонка кабелю з'єднана з рефлектором, діаметр якого дорівнює λ . Існує кілька різновидів спіральних випромінювачів: циліндричні, конічні, плоскі, квад्रीфілярні, сферичні і ін.

Виділимо основні переваги та недоліки спіральних випромінювачів.

					КПТР. 2017007.01.08 ПЗ			
Вип.	Аркуш	№ Докум.	Підпис	Дата	Антенна система радіолокаційної станції на базі фазованої антенної решітки	Літера	Аркуш	Аркушів
Розробив		Кім Д.С.					5	
Перевірив		Карпова Л.В.						
Н. контр.		Бойко Ю.М.						
Затв.		Бойко Ю.М.						
Пояснювальна записка						ХНУ, гр. ТР-17-1		

До переваг можна віднести:

- можливість отримання поля з круговою поляризацією;
- високий діапазон за направленими властивостями, вхідному опорі і поляризаційним властивостями;
- відносна простота конструкції;
- активний характер вхідного опору.

З недоліків спіральних випромінювачів можна виділити:

- порівняно великий рівень бічних пелюсток;
- великі габаритні показники при великій довжині хвилі;
- складність формування вузької діаграми спрямованості (менше 25°) за допомогою однієї спіралі.

Можливість застосування спіральних антен також є багатогранна, вони застосовуються і як самостійні випромінювачі, і як опромінювачі лінзових і дзеркальних антен, як збудники хвилеводних і рупорних антен, а ще їх можна застосовувати як елементи фазованої антенної решітки. [4]

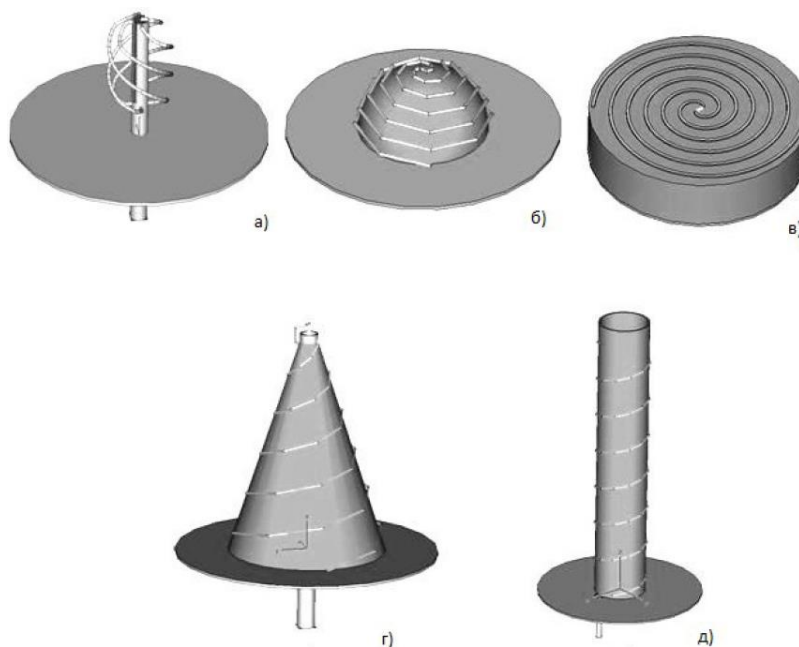


Рисунок 2.1 – Модель: а) квадріфілярного випромінювача; б) спірального випромінювача на сфері; в) плоского спірального випромінювача; г) конічного випромінювача; д) циліндричного випромінювача

Для подальшого вибору випромінювача коротко розглянемо види спіральних випромінювачів.

2.1.1 Циліндричний спіральний випромінювач

Даний випромінювач є найпоширенішим видом спіральних випромінювачів. Для його подальшого розгляду наведемо основні позначення: l – осьова довжина спіралі; D_0 – діаметр; L – довжина витка; S – крок намотування; N – число витків; α – кут намотування. Варто відзначити, що дані позначення будуть використані лише для опису безпосередньо циліндричного спірального випромінювача.

Між заданими параметрами спіралі існують такі вирази:

$$L^2 = (\pi D_0)^2 + S^2; \quad \tan \alpha = \frac{S}{\pi D_0} \quad (2.1)$$

У тому випадку, коли діаметр спіралі малий, $\left(\frac{L}{\lambda} \ll 1\right)$ антена випромінює максимально в площині, нормальній до осі спіралі. В цьому випадку в площині спостерігається ненаправлене випромінювання.

При $\frac{L}{\lambda} \approx 1$ антена випромінює максимально уздовж осі це режим осьового випромінювання.

Якщо в подальшому збільшувати розмір спіралі, то діаграма спрямованості приймає лійкоподібну форму.

Найбільший практичний інтерес представляє режим осьового випромінювання. Даний режим характеризується рядом особливостей: уздовж дроту спіралі поширюється біжуча хвиля струму; поле на осі антени має поляризацію, близьку до кругової; вхідний опір антени майже чисто активне, антена володіє високоефективним діапазоном.

Наведемо кілька емпіричних формул для опису основних параметрів циліндричного спірального випромінювача.

Ширина діаграми спрямованості по половинній потужності:

$$2\theta_{0,5P}^0 = \frac{52}{\frac{L}{\lambda} \sqrt{\frac{NS}{\lambda}}} \quad (2.2)$$

Коефіцієнт спрямованої дії:

$$D = 7,5 \left(\frac{L}{\lambda} \right)^2 N \frac{S}{\lambda}. \quad (2.3)$$

Вхідний опір випромінювача:

$$R_{ex} = 140 \frac{L}{\lambda}, \text{ Ом}. \quad (2.4)$$

Вищевикладені формули застосовні, в основному, до спіральним випромінювачам, у яких число витків менше трьох, кут намотування знаходиться в межах 12-16°, а діаметр спіралі змінюється від 0,7 до 1,2.

В основному в даних випромінювача число витків не перевищує 7-8. У цьому випадку ширина діаграми спрямованості становить приблизно 30-40°. Якщо потрібно отримати більш вузьку діаграму спрямованості, то для цього застосовують синфазні решітки з спіральних випромінювачів. Дані решітки з спіральних випромінювачів для стеження за штучними супутниками Землі.

2.1.2 Конічний спіральний випромінювач

Даний тип спіральних випромінювачів характеризується більш високими діапазонними властивостями, в порівнянні з циліндричними випромінювачами.

Пояснюється це тим, що на робочій хвилі частина витків спіралі, для яких, $\frac{L}{\lambda} \approx 1$ працюють в режимі осьового випромінювання. Залишилася ж частина витків осьового випромінювання не створює і спотворює діаграму спрямованості. При зміні λ робоча область, яку складають ті самі витки, що працюють в осьовому режимі, переміщається уздовж спіралі і в діапазоні хвиль, в межах якого дана область не виходить за межі спіралі, такий випромінювач працює в режимі осьового випромінювання. Залишилася ж частина витків осьового випромінювання не створює і спотворює діаграму спрямованості. При зміні λ робоча область, яку складають ті самі витки, що працюють в осьовому режимі, переміщається уздовж спіралі і в діапазоні хвиль, в межах якого дана область не виходить за межі спіралі, такий випромінювач працює в режимі осьового випромінювання. Однак варто відмітити, що осьовий випромінювання створюється лише деякою частиною витків випромінювача, то при однаковому числі витків формується діаграма спрямованості, ширина якої дещо більша, ніж у циліндричного спірального випромінювача.

2.1.3 Плоский спіральний випромінювач

Існує два види плоских спіральних антен: арифметична і рівнокутна.

Арифметична або ж Спіраль Архімеда (рис. 2.2) описана в полярних координатах ρ , φ рівнянням

$$\rho = a\varphi + b, \quad (2.5)$$

де a і b є константами.

Рівнокутна, або логарифмічна спіраль (рис. 2.3) описується рівнянням

$$\rho = be^{a\varphi} \quad (2.6)$$

										КПТР. 2017007.01.08 ПЗ	Арк 9
Вип.	Аркуш	№ Докум.	Підпис	Дата							

Для того, щоб отримати двозаходний випромінювач використовуються дві однакові стрічки, при цьому дотримуючись умову, що одна стрічка повинна бути повернута на 180° відносно іншої. Для роботи в осьовому режимі гілки спіралі обов'язково повинні збуджуватись в протифазі.

У вільному просторі плоский спіральний випромінювач випромінює одночасно в обидва боки. У тому випадку, коли важливо отримати односпрямоване випромінювання стрічкова спіраль розміщується на одній стороні діелектричної пластини, металізованої з іншого боку. Другим варіантом є розташування спіралі в розкритті металевого резонатора.

Плоскі антени також мають кругову поляризацію через те, що по спіралі поширюється біжуча хвиля струму. В випадку відхилення від осьового напрямку кругова поляризація переходить в еліптичну. Рівнокутний спіральний випромінювач є досить діапазонним випромінювачем, але його виготовлення є технічно складним. Арифметичну ж спіраль зробити простіше, проте вона має менший діапазон випромінювача. [4]

2.1.4 Квадріфілярний спіральний випромінювач

Квадріфілярний спіральний випромінювач є варіантом багатозаходної спіральної антени. Даний вид випромінювачів дуже добре відомий в антенній техніці. Їх застосовують в різних радіоелектронних системах, використовуючи як антени кругової поляризації, які мають відносно малі масогабаритні показники. Також дана антена забезпечує спрямоване одностороннє випромінювання.

Квадріфілярний спіральний випромінювач являє собою антенну систему, що складається з чотирьох випромінювачів, зсунутих один щодо одного на 90° градусів. Кожен з цих випромінювачів являє собою металевий провідник, який зігнутий вздовж спіральної лінії. На основі даної антени є елементи живлення, які збуджують випромінювачі. Напряга на елементах живлення антени формується за допомогою спеціальної схеми живлення. [1]

					КПТР.2017007.01.08 ПЗ	Арк
						11
Вип.	Аркуш	№ Докум.	Підпис	Дата		

Для вирішення завдання, поставленого на початку роботи, будемо розробляти синтез саме квадріфілярного спірального випромінювача. Так як він володіє досить хорошою спрямованістю і відносно малими габаритами, що дозволить синтезувати ефективну антенну систему на основі даного випромінювача.

2.2 Аналіз електродинамічних характеристик квадріфілярної спіральної антени

Для подальшого аналізу і моделювання КСА спочатку опишемо випромінювач в аналітичному вигляді.

Коефіцієнт поляризації можна розрахувати через такий вираз:

$$\rho = \sqrt{\frac{m^2 \cos^2 \vartheta - m \sin 2\vartheta \cos \tau + \sin^2 \vartheta}{m^2 \sin^2 \vartheta + m \sin 2\vartheta \cos \tau + \cos^2 \vartheta}}, \quad (2.7)$$

де:

$$m = |E_\varphi|/|E_\theta|, \quad \tau = \text{arg} E_\varphi - \text{arg} E_\theta, \quad \text{tg} 2\vartheta = \cos \tau \cdot 2m / (1 - m^2);$$

ϑ – кут переважної поляризації.

Далі описані фазові характеристики випромінювача під даним терміном мається на увазі величина

$$\Phi(\theta, \varphi) = \Psi(0, 0) - \Psi(\theta, \varphi), \quad (2.8)$$

де $\Psi(\theta, \varphi)$ фаза поля спіралі в деякій точці далекої зони, що має координати R_0, θ, φ , $\Psi(0, 0)$ фаза поля спіралі в точці з координатами $R_0, 0, 0$

Якщо розглядати фазову характеристику з урахуванням тільки однією резонуючій гармоніки, то виходить

$$\Phi(\theta, \bar{\varphi}) \approx [\gamma_0(\theta) - \gamma_0(0)]\pi N + \varphi + \Phi_0(\theta), \quad (2.9)$$

$$x_0\left(\frac{\pi}{2}\right) = \gamma_0\left(\frac{\pi}{2}\right) - 1$$

Вхідний опір для цілого кількості N описується виразом

$$R_{\text{вх}} \approx \frac{240(kr)^2 \sin^2[\pi N \gamma_0(0)] \left(\frac{J_0}{J_{\text{вх}}}\right)^2}{D[\gamma_0^2(0) - 1]^2} \quad (2.13)$$

де D – коефіцієнт спрямованої дії, який можна розрахувати за виразом (2.12). [3]

Щоб полегшити процес розрахунку діаграми спрямованості приймемо наш випромінювач за плоску прямолінійну еквідистантну рівноамплітудну антенну решітку, так як використовуються 4 ідентичних спіральних випромінювача на однаковій відстані одна від одної. В такому випадку для отримання результуючої діаграми спрямованості скористаємося теоремою множення діаграм спрямованості. Тоді результуюча ДС прийме вид

$$F(\theta, \varphi) = f_1(\theta, \varphi) f_c(\theta, \varphi), \quad (2.14)$$

де $f_1(\theta, \varphi)$ – результуюча діаграма спрямованості одного випромінювача;
 $f_c(\theta, \varphi)$ – множник антенної решітки.

Векторна ДС випромінювача має вигляд

$$f_1(\theta, \varphi) = J_0(ka \cdot \sin \theta) \cdot \cos \theta, \quad (2.15)$$

де J_0 – функція Бесселя нульового порядку; k – хвильове число вільного простору; a – радіус спіралі.

Для визначення множника антенної решітки приймемо N_x і N_y за число випромінювачів в стовпчиках і рядах відповідно. Також приймемо D_x і D_y за відстань між сусідніми випромінювачами по осях OX і OY . θ_x і θ_y є кутами,

відлічуваними від точки спостереження від осей ОХ і ОУ. Потім приймемо кожен стовпець випромінювачів за лінійну антенну решітку. Тоді множник такої антенної решітки можна записати як

$$F_{cx}(\theta_x) = \frac{\sin\left[\frac{N_x}{2}(kd_x \cos \theta_x - \alpha_x)\right]}{N_x \sin\left[\frac{1}{2}(kd_x \cos \theta_x - \alpha_x)\right]}. \quad (2.16)$$

В такому випадку зробивши еквівалентну заміну кожного стовпчика плоскої антенної решітки на випромінювач з власної ДС, яка збігається з (2.9), ми отримаємо лінійну антенну решітку, яка буде орієнтована уздовж осі ОУ. Потім скориставшись теоремою про перемножуванні діаграм спрямованості ми отримаємо

$$F_c(\theta_x, \theta_y) = F_0(\theta_x)F_{cy}(\theta_y), \quad (2.17)$$

де $F_0(\theta_x)$ – ДС випромінювача; $F_{cy}(\theta_y)$ – множник антенної решітки, що складається з випромінювачів. В такому випадку $F_{cy}(\theta_y)$ має вигляд

$$F_{cy}(\theta_y) = \frac{\sin\left[\frac{N_y}{2}(kd_y \cos \theta_y - \alpha_y)\right]}{N_y \sin\left[\frac{1}{2}(kd_y \cos \theta_y - \alpha_y)\right]}. \quad (2.18)$$

Далі введемо позначення узагальнених кутових координат

$$U_x = kd_x \cos \theta_x - \alpha_x; \quad U_y = kd_y \cos \theta_y - \alpha_y. \quad (2.19)$$

Підставивши (2.19) в (2.16) і (2.18) визначимо множник плоскої антенної решітки

$$F_c(U_x, U_y) = \frac{\sin\left(\frac{N_x}{2} U_x\right) \sin\left(\frac{N_y}{2} U_y\right)}{N_x \sin\left(\frac{1}{2} U_x\right) N_y \sin\left(\frac{1}{2} U_y\right)}. \quad (2.20)$$

Однак необхідно враховувати те, що множник антенної решітки в сферичній системі координат не є функцією кутів θ_x і θ_y . В такому випадку необхідно визначити зв'язок між кутами θ_x і θ_y кутами θ і φ . Якщо врахувати, що $\cos\theta_x$ і $\cos\theta_y$ є проєкціями одиничного вектора, \vec{e}_0 який орієнтований в напрямку осі OX і OY, то отримаємо

$$e_x^0 = \sin\theta_x; \quad e_y^0 = \sin\theta_y. \quad (2.21)$$

Тоді, враховуючи взаємозв'язок між сферичної і прямокутної системами координат, можна висловити проєкції одиничного вектора \vec{e}_0 через кути θ і φ :

$$e_x^0 = \sin\theta \cos\varphi; \quad e_y^0 = \sin\theta \sin\varphi. \quad (2.22)$$

Тоді, враховуючи все вищесказане, отримуємо вираз для множника антенної решітки в сферичній системі координат

$$F_c(\theta, \varphi) = \frac{\sin\left(\frac{N_x}{2} kd_x \sin\theta \cos\varphi - \alpha_x\right)}{N_x \sin\left(\frac{1}{2}(kd_x \sin\theta \cos\varphi - \alpha_x)\right)} \frac{\sin\left(\frac{N_y}{2} kd_y \sin\theta \sin\varphi - \alpha_y\right)}{N_y \sin\left(\frac{1}{2}(kd_y \sin\theta \sin\varphi - \alpha_y)\right)}. \quad (2.23)$$

- з комбінованим (послідовно-паралельним);
 - з просторовим (оптичним, «ефірним») способом збудження.
- 3) Закономірність розміщення випромінюючих елементів в самої решітці
- еквідистантним розміщення;
 - нееквідистантне розміщення.
- 4) Спосіб обробки сигналу
- 5) Амплітуда-фазовий розподіл струмів (поля) по решітці
- 6) Тип випромінювача

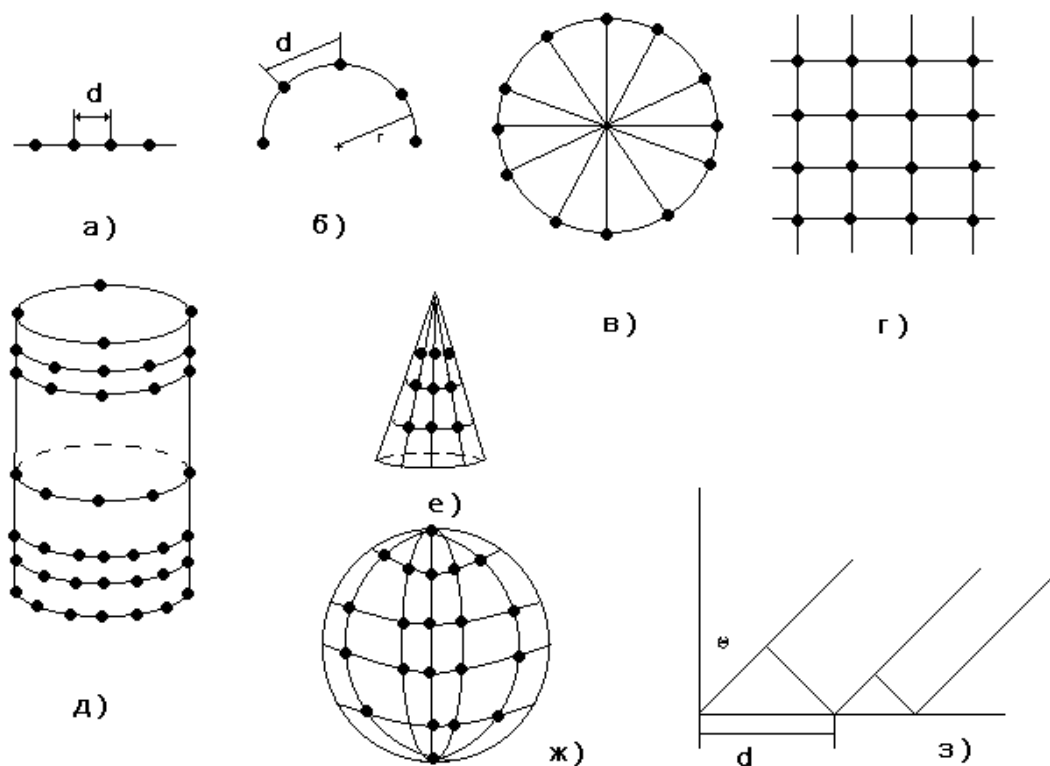


Рисунок 2.5 – Класифікація антенних решіток; а) лінійна; б) дугова; в) кільцева; г) плоска; д) циліндрична; е) конічна; ж) сферична; з) нееквідистантна

Досліджуючи літературні джерела з даної тематики, переважна більшість антенних систем для РЛС, в тому числі і для метео РЛС, базуються на антенних решітках з фазовим розподілом – фазованих антенних решітках, які в свою чергу

Іноді форма випромінюючої поверхні ФАР – розкриття, визначається конфігурацією об'єкта, на якому встановлюється ФАР. ФАР з формою розкриття, подібній формі об'єкта, іноді називаються конформними. Широко поширені плоскі ФАР; в них промінь може сканувати від напрямку нормалі до розкриву (як в синфазній антені) до напрямків вздовж розкриття (як в антені біжучої хвилі). Коефіцієнт спрямованої дії (КСД) плоскої ФАР при відхиленні променя від нормалі до розкриву зменшується.

Для забезпечення широкого кута сканування (в великих просторових кутах - аж до 4 стерадіан без помітного зниження КСД використовують ФАР з неплоским (наприклад, сферичним) розкритвом або системи плоских ФАР орієнтованих в різних напрямках. сканування в цих системах здійснюється за допомогою порушення відповідно орієнтованих випромінювачів і їх фазування.

За характером розподілу випромінювачів в розкритті розрізняють еквідистантні і нееквідистантні ФАР. В еквідистантних ФАР відстані між сусідніми елементами однакові по всьому розкриттю. У плоских еквідистантних ФАР випромінювачі найчастіше розташовують у вузлах прямокутної решітки (прямокутне розташування) або в вузлах трикутної сітки (гексагональних розташування). Відстані між випромінювачами в еквідистантних ФАР зазвичай вибирають досить малими (часто менше робочої довжини хвилі), що дозволяє формувати в секторі сканування ДС з одною головною пелюсткою (без побічних дифракційних максимумів – так званих паразитних променів) і низьким рівнем бічних пелюсток; проте для формування вузького променя (тобто в ФАР з великим розкритвом) необхідно використовувати велику кількість елементів.

У нееквідистантних ФАР елементи розташовують на неоднакових відстанях один від одного (відстань може бути, наприклад, випадковою величиною). У таких ФАР навіть при великих відстанях між сусідніми випромінювачами можна уникнути утворення паразитних променів і отримувати ДС з одною головною пелюсткою. Це дозволяє в разі великих розкриттів сформувати дуже вузький промінь при порівняно невеликому числі елементів; однак такі нееквідистантні ФАР з великим розкритвом при малому числі

Найбільшими можливостями володіють ФАР з електричним скануванням. Вони забезпечують створення різноманітних фазових зсувів по всьому розкриву і порівняно невеликих втратах потужності. НВЧ в сучасних ФАР широко використовують феритові і напівпровідникові фазообертачі (з швидкодією порядку мікросекунд і втратами потужності ~20%). Управління роботою фазообертачів здійснюється за допомогою швидкодіючої електронної системи, яка в найпростіших випадках управляє групами елементів (наприклад, рядками і стовпцями в плоских ФАР з прямокутним розташуванням випромінювачів), а в найбільш складних – кожним фазообертачем окремо. Хитання променя в просторі може проводитися як за наперед заданим законом, так і по програмі, що виробляється в ході роботи всього радіопристрою, в який входить ФАР.

Перешкодозахищеність системи залежить від рівня бічних пелюсток антени і можливості підстроювання (адаптації) його по завадовій обстановці. Антенна решітка – необхідна ланка для створення такого динамічного просторово тимчасового фільтра, або просто для зменшення рівня бічних пелюсток (РБП). Одною з найважливіших завдань сучасної бортовий радіоелектроніки є створення комплексування системи, що поєднує кілька функцій, наприклад радіонавігації, РЛС, зв'язку і т. д.

Виникає необхідність створення антенної решітки з електричним скануванням з декількома променями (багатопроневі, моноімпульсні і т. д.), що працює на різних частотах (поєднану) і має різні характеристики.

Виходячи з вищевикладеному, розглянемо роботу такої решітки. Геометрична структура буде представляти циліндричну антенну решітку, яка складається з N випромінювачів і M кілець, кількісне значення яких визначає роздільну здатність системи.

2.3.2 Аналіз циліндричної ФАР

Циліндрична антенна решітка – це система випромінювачів, розміщених на циліндричній поверхні. Просторова орієнтація випромінювачів така, що

						КПТР.2017007.01.08 ПЗ	Арк 23
Вип.	Аркуш	№ Докум.	Підпис	Дата			

такий режим роботи антени складний в реалізації, вимагає спеціальних пристроїв збудження випромінювачів.

Для формування вузького променя і ширококутного електричного сканування їм в просторі необхідна незалежне регулювання амплітуди і фази збудження в кожному випромінювачі решітки. Відомі два способи розподілу енергії НВЧ між випромінювачами циліндричних і кільцевих ФАР: фідерний і просторовий. При фідерному збудженні енергію до випромінювачів підводять за допомогою відрізків лінії передачі (хвилеводної, коаксіальної, полоскової та ін.) і подільників потужності.

Для формування променя в заданому напрямку θ_0, φ_0 на випромінювальній ділянці циліндричної ФАР необхідно створити такий фазовий розподіл, при якому поля, випромнені кожним випромінювачем, складаються в зазначеному напрямку синфазно.

Зокрема, для кільцевої решітки, розташованої в площині $z = 0$

$$\Phi_{0,n}(\theta_0 \varphi_0) = -2(\pi\lambda [R \sin \theta_0 \cos(\varphi_0 - \alpha_n)] \pm 2\pi k, \quad (2.25)$$

де $k = 0, 1, 2, \dots$ – ціле число.

Необхідна фаза:

$$\Phi_{\text{фаз } 0,n}(\theta_0 \varphi_0) = \Phi_{0,n}(\theta_0 \varphi_0) - \Phi_{0,n}(\theta_0 \varphi_0) + \Phi_{\text{фид } 0,n}(\theta_0 \varphi_0) + 2\pi k \quad (2.26)$$

Діаграми спрямованості кільцевих АР крім основної поляризаційної складової випромінюваного поля мають і паразитну (крос-поляризаційну) складову.

Паразитна складова відсутня тільки тоді, коли АР утворена з поздовжніх лінійок, а також коли ДС розглядається в екваторіальній площині $\theta = \pi/2$ [1].

Розрахунок ДС кільцевих решіток суттєво ускладнюється як через необхідність враховувати дифракційні явища на поверхні антени, так і через те,

що характеристики кожної випромінювальної решітки повинні бути знайдені в присутності всіх інших, тобто з урахуванням їх взаємодії.

Як і в плоских ФАР, через ефект взаємодії характеристики окремих випромінювачів в складі опуклою АР (вхідний опір, ДС, поляризація і ін.) Можуть помітно відрізнятися від цих же характеристик відокремленого випромінювача, що може призвести до погіршення очікуваних електричних характеристик проектованої АР. Безпосередній розрахунок ДС циліндричних і кільцевих ФАР громіздкий, вимагає застосування ЕОМ, і його виконання оправдано на етапі уточнення характеристик остаточного варіанти антени. На етапі вибору і оцінювання варіантів проектованої ФАР розрахунки бажано скоротити і спростити без істотного зниження їх точності. Для цього вводяться такі припущення:

1) у межах випромінює ділянки кільцевої АР з дискретними випромінювачами замінюється таким ж з безперервним розподілом струму $I(\alpha)$, рівним реальному амплітудному розподілу в точках розміщення випромінювачів, і з досить гладким розподілом струму між цими точками.

2) парціальна ДС випромінювача і амплітудний розподіл на випромінюючій ділянці апроксимується елементарними функціями.

З урахуванням зроблених припущень ДС кільцевої решітки в площині дуги при формуванні променя в напрямку $\theta_0 = \pi/2$, $\varphi_0 = 0$ з точністю до нормованого множника А

$$F_{\kappa}(\varphi) = A \int_{-\beta}^{\beta} I(\alpha) F_{\alpha}(\varphi) \exp\left\{-i \frac{2\pi}{\lambda} R[\cos \varphi - \cos \varphi - \alpha]\right\} d\alpha \quad (2.27)$$

де $F_{\alpha}(\varphi)$ – ДН в азимутальній площині окремого випромінювача з координатою α . [1]

Для наближеного обчислення ДС по (2.31) зручний метод еквівалентного лінійного випромінювача. Суть його полягає в тому, що ДС кільцевої антени


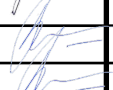


3 РЕЗУЛЬТАТИ МОДЕЛЮВАННЯ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ АНТЕНИ СИСТЕМ МЕТЕОРОЛОГІЧЕСКИХ РЛС

Для побудови комп'ютерної моделі АР спочатку необхідно змоделювати одиночний випромінювач з якого буде складатися кінцева ФАР.

3.1 Побудова феноменологічної моделі квадріфілярної спіральної антени

Для того, щоб оптимізувати процес підбору випромінювача для антенної системи, що входить в антенну решітку, будемо використовувати метод побудови феноменологічних моделей. Використання методу побудови феноменологічних моделей дозволить синтезувати складні антенні системи і комплекси без використання методів натурного моделювання і без побудови фізичних моделей, так як цей підхід показує максимально наближені до реальної фізичної моделі результати, в яких розбіжність з фізичної моделлю становить менше п'яти відсотків. В свою чергу завдяки використанню запропонованого методу, можна оперативно синтезувати антенні структури, які будуть мати хорошу повторюваність і лінійність електродинамічних характеристик при трансформації феноменологічних моделей в фізичні. На основі вищевикладеного підходу буде синтезована і антенна решітка для комплексу метеорологічного забезпечення. Для більш варіативної вибірки буде синтезовано кілька моделей квадріфілярних випромінювачів. За підсумком, для використання в антенній решітці, буде обраний випромінювач з найбільш оптимальними електродинамічними характеристиками. [8-10]

Використовуючи математичну модель квадріфілярного випромінювача, засновану на виразах (2.7) – (2.24), отримаємо першу модель – замкнуту чотирьохпортову чвертьхвильову КСА. Її 3D-модель і діаграму спрямованості,

					КПТР. 2017007.01.08 ПЗ			
Вип.	Аркуш	№ Докум.	Підпис	Дата	Антенна система радіолокаційної станції на базі фазованої антенної решітки	Літера	Аркуш	Аркушів
Розробив		Кім Д.С.					5	
Перевірив		Карпова Л.В.						
Н. контр.		Бойко Ю.М.						
Затв.		Бойко Ю.М.						
					Пояснювальна записка	ХНУ, гр. ТР-17-1		

змодельованих в програмних середовищах Altair FEKO і Matlab, можна побачити на рисунках 3.1–3.4 відповідно.

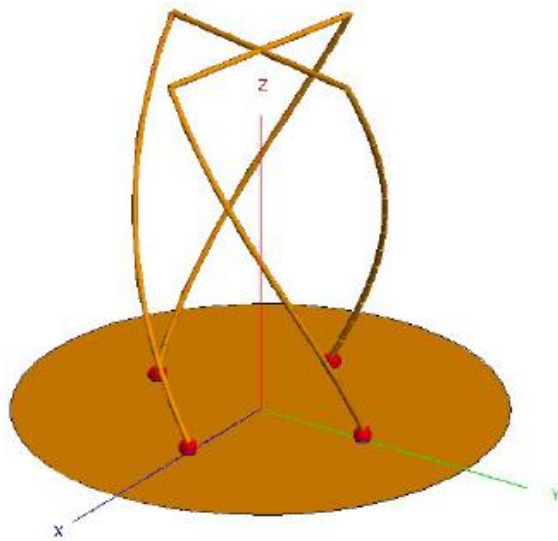


Рисунок 3.1 – 3D-модель замкнутої чвертьхвильової КСА в програмному середовищі Altair FEKO

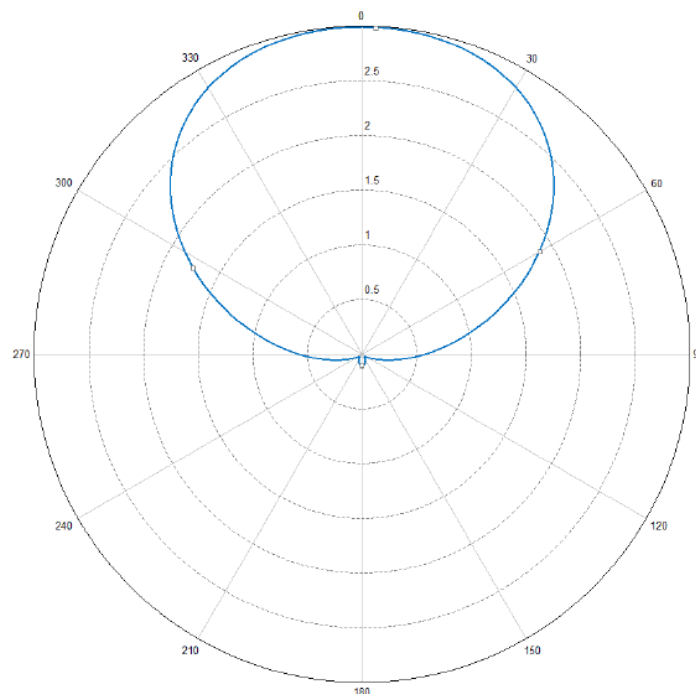


Рисунок 3.2 – Діаграма спрямованості КСА в програмному середовищі Altair FEKO

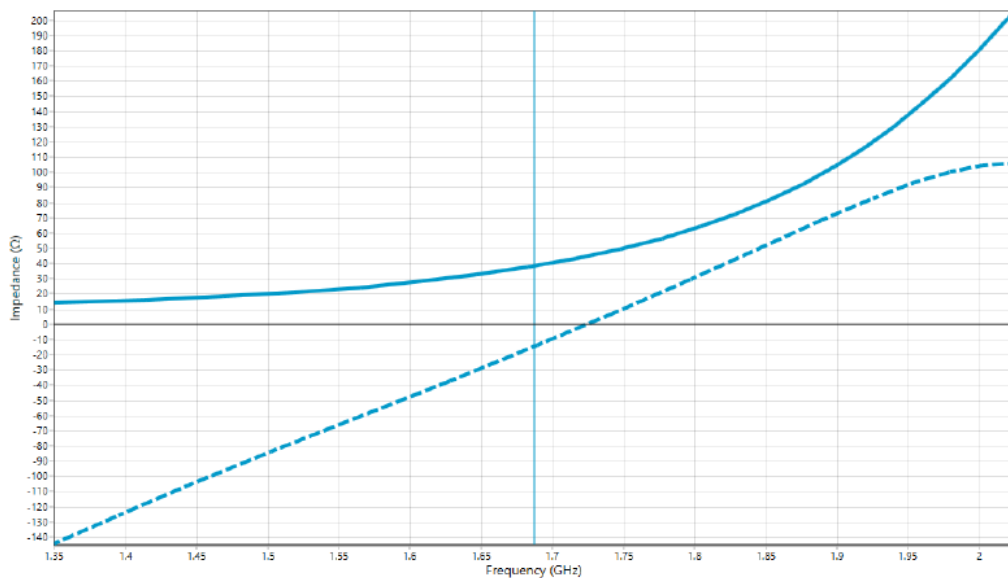


Рисунок 3.8 – Хвильовий опір замкнутої КСА

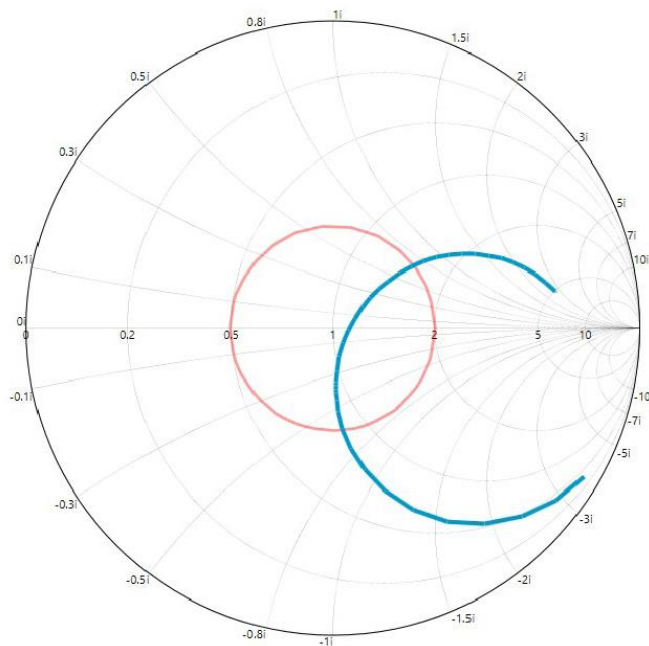


Рисунок 3.9 – Опір замкнутої КСА на діаграмі Вольперт-Сміта

Даний варіант квадріфілярного випромінювача має хороші електродинамічні характеристики і відмінно підходить для використання в системі антенної решітки.

Наступним варіантом є розімкнута КСА. Її модель і діаграма спрямованості в програмних середовищах Altair FEKO і Matlab представлені на рисунках 3.5 – 3.8 відповідно.

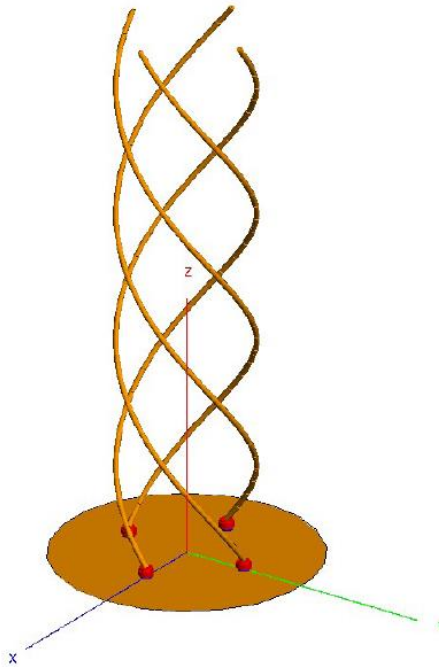


Рисунок 3.10 – 3D-модель розімкненої КСА в програмному середовищі Altair FEKO

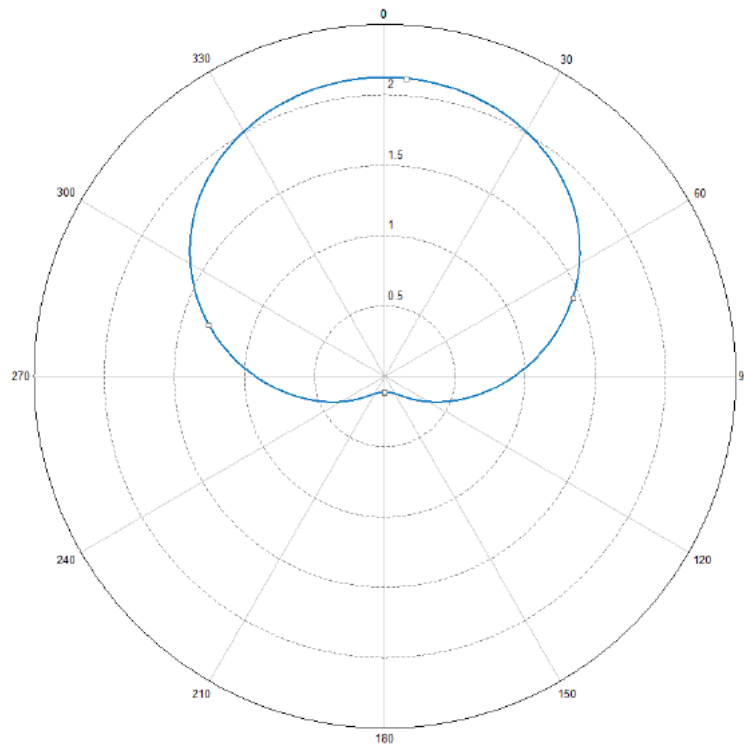


Рисунок 3.11 – Діаграма спрямованості КСА в програмному середовищі Altair FEKO

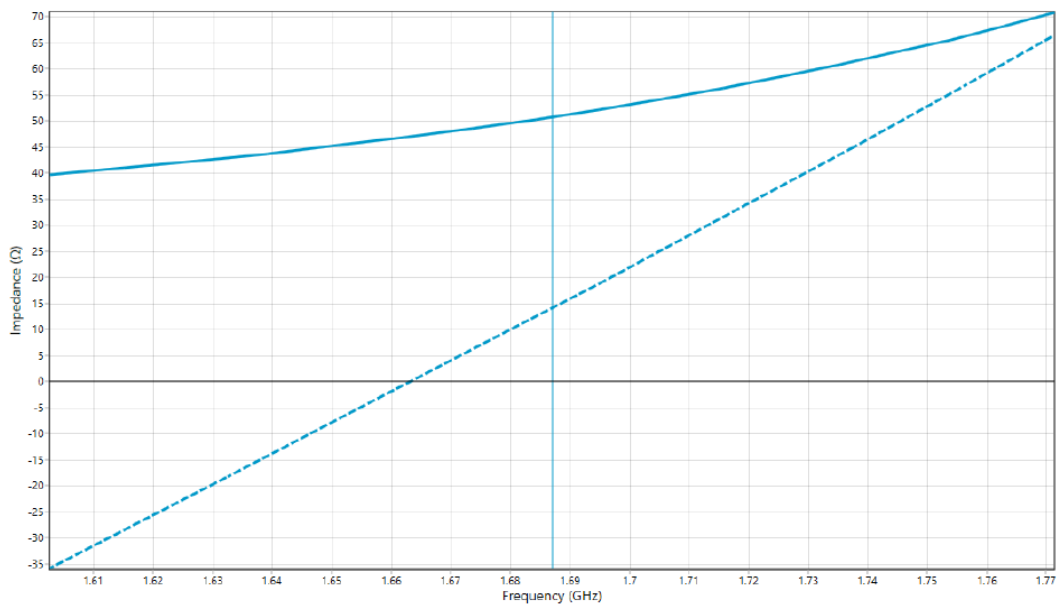


Рисунок 3.17 – Хвильовий опір розімкнутої КСА

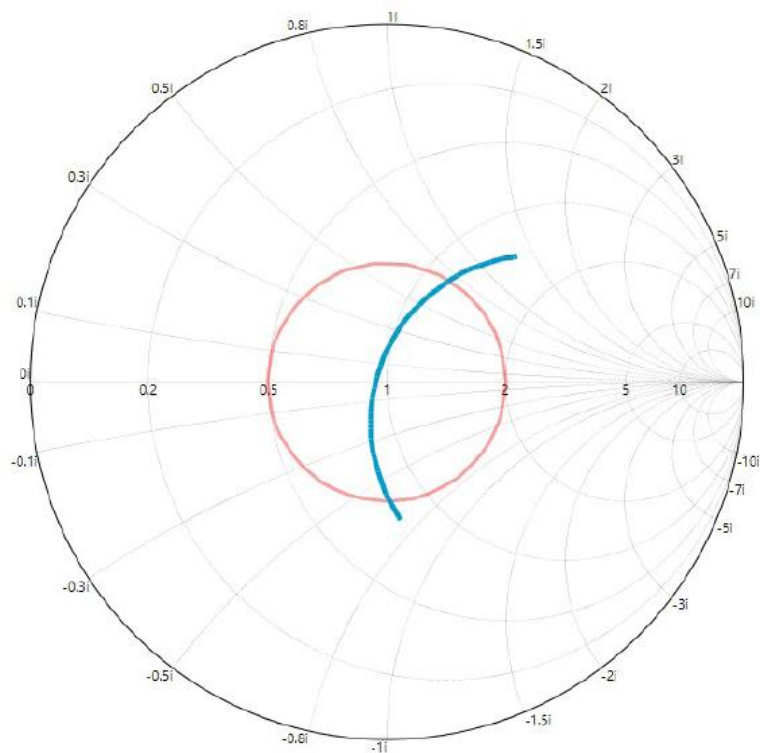


Рисунок 3.18 – Опір розімкнутої КСА на діаграмі Вольперт-Сміта

Даний випромінювач продемонстрував менш високі електродинамічні показники в порівнянні з попереднім, однак за результатами моделювання можна сказати, що він також відмінно підходить для використання в антенній решітці.

Порівняльні показники електродинамічних характеристик (на центральній частоті) змодельованих випромінювачів наведені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Порівняльні показники електродинамічних характеристик

Показник	Замкнута КСА	Розімкнута КСА
Коефіцієнт підсилення	3 дБ	2.8 дБ
Коефіцієнт стоячій хвилі	1.4	1.7
Коефіцієнт відображення	-20 дБ	-15 дБ

За підсумками порівняння, було вирішено використовувати замкнуту чвертьхвильову КСА як базовий випромінювач для синтезу антенної решітки. Даний випромінювач продемонстрував більш високі показники в кожній з ключових електродинамічних характеристик в порівнянні з розімкненим КСА.

Теж варто відзначити, що обидва випромінювачі мають хорошу спрямованість. Обидві антени мають симетрією повороту, а також обидва випромінювачі є взаємними, так як вони не мають навзаєм середовищ. Ці фактори дозволяють зменшити число елементів матриці розсіювання, полегшуючи процес моделювання даних випромінювачів, що було одним з ключових критеріїв при підборі випромінювачів для методу феноменологічних моделей. [10-12].

3.2 Побудова феноменологічної моделі циліндричної АР

Спираючись на побудовану математичну модель в пункті 2.4, засновану на виразах (2.25) – (2.34) і взявши за основу випромінювач, отриманий в пункті 3.1, синтезуємо антенну решітку, яка може вирішувати завдання сучасних метеорологічних РЛС. Дана антенна решітка складається з трьох кілець, що складаються з восьми випромінювачів, модель даної решітки показана на рисунку 3.12.

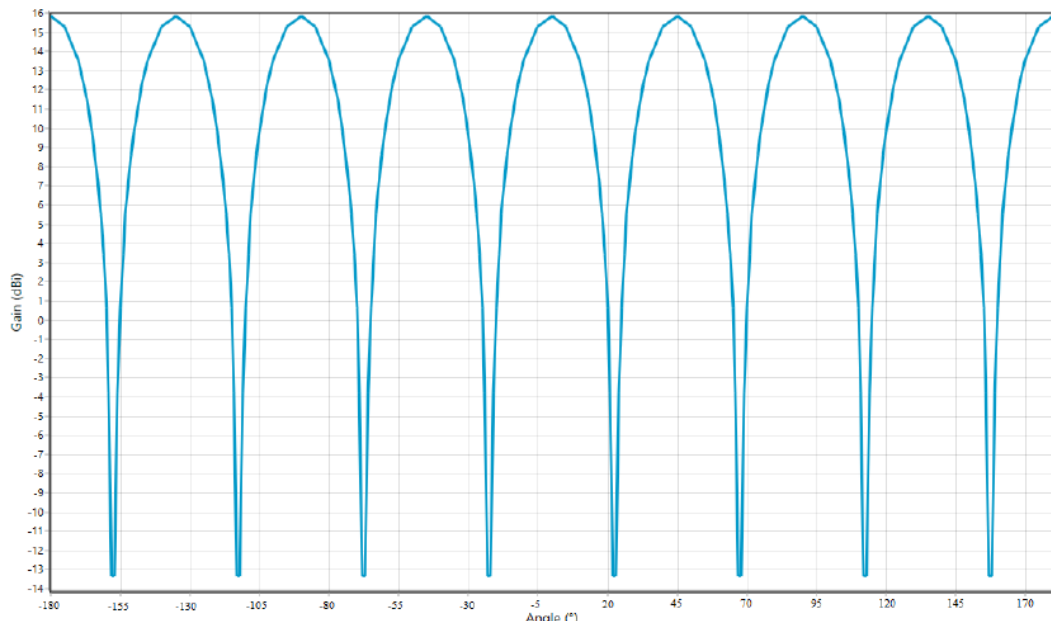


Рисунок 3.21 – діаграма спрямованості антенної решітки в **декартовій** системі координат в площині ХУ

Як можна побачити на рисунках 3.20-3.21, антенна решітка володіє багатопроменевістю, а саме має 8 променів, які на піку досягають коефіцієнта посилення в 16 дБ.

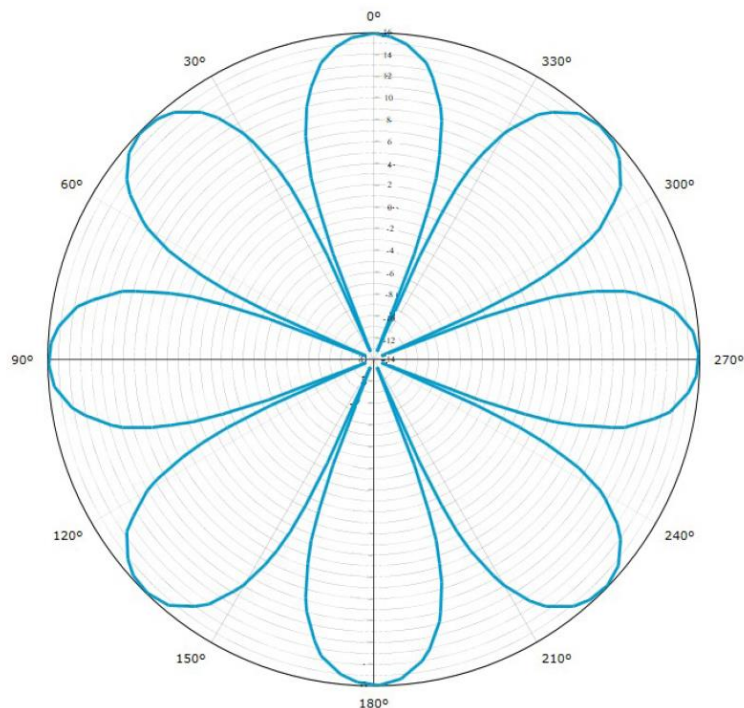


Рисунок 3.22 – ДС АР в полярній системі координат в площині ХУ

Вип.	Аркуш	№ Докум.	Підпис	Дата

7) зміна кутових координат виконується методом квадрантного сканування. При цьому діаграма спрямованості АФАР періодично займає одне з чотирьох положень: промінь відхиляється на половину ширини ДС вгору, вліво, вниз, вправо і т.д. Зазначені ДС перетинаються вздовж рівносигнальної лінії. Зсув радіозонда з рівносигнальною лінії призводить до амплітудної модуляції прийнятого сигналу з частотою сканування. глибина модуляції пропорційна поточної кутовий помилку, а фаза модуляції відповідає напрямку зміщення радіозонда з рівносигнальної лінії;

8) можливий супровід декількох радіозондів до 25 одночасно;

9) похила дальність автоматичного (напівавтоматичного) супроводу радіозонда і прийому телеметричної інформації становить: мінімальна (до пункту випуску радіозонда) – 35 м; максимальна понад 300 000 м.

10) максимальна висота радіозондування:

- для кутів місця до 70° – 60 000 м;

- для кутів місця від 70° до 90° – 35000 м.

					КПТР. 2017007.01.08 ПЗ	Арк
						18
Вип.	Аркуш	№ Докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВОК

В ході виконання кваліфікаційного проєкту була розроблена фазована антенна решітка для метеорологічних радіолокаційних комплексів. Для даної антенної решітки також був спроектований і розроблений випромінювач, оцінені його електродинамічні характеристики, обґрунтовано застосування такого типу випромінювача. На основі цього випромінювача була синтезована антенна решітка, були проведені розрахунки і моделювання антенної решітки, були отримані основні електродинамічні характеристики, що дозволяє робити висновки про те, що дана антенна решітка може бути використана в існуючих метеорологічних комплексах, і володіє хорошими електродинамічними характеристиками.

Таким чином, в результаті виконання даного кваліфікаційного проєкту була розроблена антенна система, що дозволяє підвищити ефективність роботи метеорологічних комплексів, шляхом збільшення території покриття, а також роботи в багатоканальному режимі з декількома зондами.

Ще дана антенна система, зважаючи на свої масо габаритних показників, а також швидкості розгортки може використовуватися як мобільна установка, що підвищує її універсальність і дозволяє використовувати її не тільки на цивільних об'єктах, але і на військових.

					КПТР. 2017007.01.08 ПЗ	Арк
						19
Вип.	Аркуш	№ Докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Вендик О. Г., Парнес М. Д., Бахрах Л. Д. Антенны с электрическим сканированием (введение в теорию). М.: Science Press, 2001. 252 с.
2. Вендик О.Г. Антенны с немеханическим движением луча: Введение в теорию. М.: Советское радио, 1965, –360 с.
3. Вендик О.Г. Фазированная антенная решетка – глаза радиотехнической системы. Соросовский образовательный журнал, №2, – 1997.
4. Активные фазированные антенные решетки. Под редакцией Гостюхина В.Л. Изд. 3-е, переработанное. Радиотехника. 2011, 304 с.
5. Вольперт А. Р. О фазовом центре антенны // Радиотехника. 1961. Т. 16, № 3. С. 3-12.
6. Лобкова Л.М. Проектирование антенн и устройств СВЧ: Учебное пособие для вузов / Л.М. Лобкова. – Севастополь.: СевНТУ, 2002. – 178с.
7. Сазонов Д. М. Антенны и устройства СВЧ. Учебник. – М.: Высшая школа, 1988. – 432 с.
8. Дубровин В.С., Колесникова И.В. К расчету параболической антенны для сверхширокополосных систем радиодоступа. И.В.ГОУВПО НИ «Мордовский государственный университет им. Н.П.Огарева», г. Саранск.
9. Гошин Г.Г. Устройства СВЧ и антенны: Учебное методическое пособие. В 2-х частях. / Г.Г. Гошин. – Томск: Томский межвузовский центр дистанционного образования, 2003. – Часть 2: Антенны. – 130с.
10. Банков С.Е., Курушин А.А. Проектирование СВЧ устройств и антенн с Ansoft HFSS. М., – 2009
11. С.Е. Банков, Э.М. Гутцайт, А.А. Курушин. Решение оптических и СВЧ задач с помощью HFSS. М., – «Оркада», – 2012
12. В.И. Гусевский, М.Д. Дупленкова, В.Н. Белан, С.Е. Елисеев. Сканирующая целевая антенная решетка РЛС с синтезированной апертурой. сб. тр. Международной научной конференции: Излучение и рассеяние электромагнитных волн, ИРЭМВ, Таганрог , 2013 С. 184-188.

					КПТР.2017007.01.08 ПЗ	Арк 20
Вип.	Аркуш	№ Докум.	Підпис	Дата		

ВІДГУК

на кваліфікаційний проєкт
студента групи ТР-17-1 Дмитра КОТА

АНТЕННА СИСТЕМА РАДІОЛОКАЦІЙНОЇ СТАНЦІЇ НА БАЗІ ФАЗОВАНОЇ АНТЕННОЇ РЕШІТКИ

В ході виконання кваліфікаційного проєкту була розроблена фазована антенна решітка для метеорологічних радіолокаційних комплексів. Для даної антенної решітки також був спроектований і розроблений випромінювач, оцінені його електродинамічні характеристики, обґрунтовано застосування такого типу випромінювача. На основі цього випромінювача була синтезована антенна решітка, були проведені розрахунки і моделювання антенної решітки, були отримані основні електродинамічні характеристики, що дозволяє робити висновки про те, що дана антенна решітка може бути використана в існуючих метеорологічних комплексах, і володіє хорошими електродинамічними характеристиками.

Метою кваліфікаційного проєкту є аналіз застосування антенних решіток у системах радіозв'язку та інших радіотехнічних системах, визначення напрямків удосконалення таких систем. А саме створення необхідної антенної решітки з електричним скануванням променя, що працює на частоті 1680 МГц (± 10), яка дозволить розширити функціонал РЛС, тобто: збільшити пропускну здатність за рахунок багатопроменевої антенної системи, зменшити час розгортки даної системи, можливість роботи в багатоканальному режимі з декількома зондами одночасно, а також приріст показників дальності і висоти зв'язку з зондом, в порівнянні з існуючими аналогами.

Під час роботи над кваліфікаційним проєктом Дмитро КІТ виконав детальний аналіз вітчизняної, закордонної технічної літератури та патентних матеріалів, що дозволило прийняти оптимальні рішення під час виконання роботи.

Під час виконання роботи Дмитро КІТ проявив креативність, ініціативність, старанність, наполегливість, здатність та вміння застосовувати набуті знання для вирішення складних завдань, обізнаність у сучасних системних та інформаційних технологіях.

Кваліфікаційний проєкт виконано на високому технічному рівні, він має безперечну актуальність в області сучасних телекомунікацій, а студент Дмитро КІТ заслуговує оцінки **«відмінно»**.

Керівник:
к.т.н., доцент



Леся КАРПОВА

РЕЦЕНЗІЯ

на бакалаврський кваліфікаційний проєкт
тема: «Антенна система радіолокаційної станції на базі
фазованої антенної решітки»
студента групи ТР-17-1 Дмитра КОТА

Однією із основних задач, що ставить перед нами сьогодні, є подальший розвиток теорії і практики проектування антенних решіток пов'язаний із зростанням їх ролі в радіотехнічних системах різного призначення. У таких областях радіоелектроніки, як радіолокація, радіонавігація, радіозв'язок, радіорозвідка і радіоелектронна протидія, характеристики антенних решіток визначають основні параметри і граничні можливості радіосистем в цілому.

Метою роботи є аналіз застосування антенних решіток у системах радіозв'язку та інших радіотехнічних системах, визначення напрямків удосконалення таких систем. А саме створення необхідної антенної решітки з електричним скануванням променя, що працює на частоті 1680 МГц (± 10), яка дозволить розширити функціонал РЛС, тобто: збільшити пропускну здатність за рахунок багатопроменевої антенної системи, зменшити час розгортки даної системи, можливість роботи в багатоканальному режимі з декількома зондами одночасно, а також приріст показників дальності і висоти зв'язку з зондом, в порівнянні з існуючими аналогами.

В результаті виконання даного кваліфікаційного проєкту була розроблена антенна система, що дозволяє підвищити ефективність роботи метеорологічних комплексів, шляхом збільшення території покриття, а також роботи в багатоканальному режимі з декількома зондами.

Ще дана антенна система, зважаючи на свої масо габаритних показників, а також швидкості розгортки може використовуватися як мобільна установка, що підвищує її універсальність і дозволяє використовувати її не тільки на цивільних об'єктах, але і на військових.

В цілому кваліфікаційний проєкт виконано на високому технічному рівні, він має безперечну актуальність в області сучасних технологій телекомунікацій, а студент Дмитро КІТ заслуговує оцінки **«відмінно»**.

Опонент:

к.т.н., доцент кафедри
фізики та електротехніки



Олександр СРЬОМЕНКО

Завідувачу кафедри телекомунікацій
та радіотехніки
д.т.н., професору БОЙКУ Юлію
здобувача вищої освіти
КОГА Дмитра
ФПКТС, гр. ТР-17-1


ЗАЯВА

З правилами чинного Положення «Про дотримання академічної доброчесності в Хмельницькому національному університеті» від 26.09.2020 (зі змінами від 26.11.2020), згідно з яким виявлення плагіату є підставою для відмови в допуску кваліфікаційної роботи до захисту та застосування заходів дисциплінарної та академічної відповідальності, ознайомлений. Про використання програмно-технічних засобів для перевірки кваліфікаційних робіт здобувачів вищої освіти на плагіат оповіщений (а) та надаю свою згоду на обробку та збереження університетом моєї роботи в інституційному репозитарії університету.

Також надаю університету право на передачу моєї роботи для обробки та збереження в базах даних програмно-технічних засобів (Unicheck та Anti-Plagiarism) та використання роботи для виявлення плагіату в інших роботах, які перевіряються програмно-технічними засобами та користувачами, що мають доступ до цих програмно-технічних засобів, виключно в обмежених цілях для виявлення плагіату в текстах робіт.

Робота для перевірки університетом надається в друкованому та електронному варіанті. Електронна версія моєї роботи збігається (ідентична) з друкованою.

25 травня 2021 р.
дата


підпис

Ім'я користувача:
Kafedra telekom_radiotechniki

ID перевірки:
1008237801

Дата перевірки:
08.06.2021 23:41:28 EEST

Тип перевірки:
Doc vs Internet

Дата звіту:
08.06.2021 23:42:26 EEST

ID користувача:
100005656

Назва документа: КІТ Д.С. _TP-17-1

Кількість сторінок: 64 Кількість слів: 5499 Кількість символів: 42203 Розмір файлу: 5.62 MB ID файлу: 1008310660

10.1% Схожість

Найбільша схожість: 4.31% з Інтернет-джерелом (<http://um.co.ua/14/14-9/14-94667.html>)

10.1% Джерела з Інтернету

11

Сторінка 66

Пошук збігів з Бібліотекою не проводився

0% Цитат

Вилучення цитат вимкнене

Вилучення списку бібліографічних посилань вимкнене

0% Вилучень

Немає вилучених джерел

Модифікації

Виявлено модифікації тексту. Детальна інформація доступна в онлайн-звіті.

Замінені символи

10

РІШЕННЯ КАФЕДРИ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ ТА РАДІОТЕХНІКИ

ПРО ДОПУСК КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ ДО ЗАХИСТУ

Підтверджуємо ознайомлення з результатом звіту подібності щодо роботи, генерованого системою виявлення текстових збігів/ідентичності/схожості:

Назва: Антенна система радіолокаційної станції на базі фазованої антенної решітки

Автор: Кім Дмитро Степанович

Спеціальність: 172 Телекомунікації та радіотехніка

Науковий керівник: к.т.н., доцент Карпова Леся Вікторівна

Після аналізу звіту подібності зроблено такий висновок:

№	Висновок	Позначка про відповідність
1	Запозичення, виявлені в роботі, є законними і не є плагіатом (далі – зазначаються підстави віднесення запозичень до правомірних). Робота приймається до захисту.	-
2	Виявлені запозичення не є плагіатом, розміщені в розділах, які не описують безпосередньо авторське дослідження, але кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи (далі – зазначаються детальні та аргументовані підстави віднесення запозичень до правомірних). Робота приймається до захисту, але має бути відкоригована. Відкоригований варіант має бути поданий на кафедру за 2 дні до захисту, разом із заявою щодо самостійності виконання письмової роботи та ідентичності друкованої та електронної версії роботи	відповідає
3	Виявлені запозичення не є плагіатом, але частково розміщені в розділах, які описують безпосередньо авторське дослідження, а кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи. В зв'язку з цим мета роботи та поставлені завдання не були досягнені. Робота може бути допущена до захисту (наступного року) після того як буде відкоригована та допрацьована і успішно пройде повторну перевірку на академічний плагіат.	-
4	Робота містить навмисні текстові спотворення, передбачувані спроби укриття запозичень або інші прояви академічного плагіату. Робота містить фабрикацію або фальсифікацію даних. Робота не допускається до захисту.	-
5	Інше:	-

Підтвердження: Виявленні запозичення не є плагіатом так як розміщені в розділах, які не описують безпосередньо авторське дослідження (є власні терміни, визначення тощо), складають 10,1% та мають посилання на приведений список літературних джерел.

«08» червня 2021 р.

Науковий керівник

Завідувач кафедру ТР





Леся КАРПОВА

Юлій БОЙКО