

Хмельницький національний університет
Факультет інформаційних технологій
Кафедра автоматизації, комп'ютерно-інтегрованих технологій та робототехніки

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

Бакалавр

Освітній рівень

Багатодіапазонна антена для мобільних терміналів

Назва теми

КвРТР.2020012.01.01 ПЗ

Галузь знань 17 «Електроніка та телекомунікації»

Шифр і назва

Спеціальність 172 «Телекомунікації та радіотехніка»

Шифр і назва

Освітня програма «Телекомунікації та інформаційно-комунікаційні технології»

Назва

Виконав:


студент III курсу, група ТР1с-20-1


Підпис

Олег ІВАНЧУК

Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Керівник:


Підпис, дата

Андрій СЕЛЬСЬКИЙ

Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Нормоконтролер:


Підпис, дата

Людмила КОРЕЦЬКА

Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

До захисту допускаю:

Зав. кафедри автоматизації,
комп'ютерно-інтегрованих
технологій та робототехніки:


Підпис

Валерій МАРТИНЮК

Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

«26» червня 2023р.

Хмельницький, 2023

Хмельницький національний університет

Факультет
Кафедра інформаційних технологій
автоматизації комп'ютерно-інтегрованих технологій та
робототехніки

Освітній рівень: бакалавр

Галузь знань: 17 Електроніка та телекомунікації

Спеціальність: 172 Телекомунікації та радіотехніка

Освітня програма: Телекомунікації та інформаційно-комунікаційні технології

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедру АКІТтаР

 Валерій МАРТИНЮК

« 01 » лютого 2023 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

ІВАНЧУКУ Олегу Ігоровичу

Прізвище, ім'я по батькові здобувача

1 Тема роботи: Багатодіапазонна антена для мобільних терміналів

Керівник роботи: к.ф.м.н., доцент Сельський Андрій Анатолійович

Затверджено наказом по університету від «01» березня 2023р. № 5

2 Строк подання здобувачем роботи на кафедру 03 червня 2023 року

3 Вихідні дані до роботи: схема технологічного процесу, технічне завдання

4 Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):
огляд біоніки та оцінка технологій сучасності; бездротові технології передачі
даних; методи розробки багатодіапазонних антен; структура антени та
процедура проектування.

5 Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень):

1. Конструкція багатодіапазонної антени. 2. Результати моделювання та
аналіз багатодіапазонної антени. 3. Тривимірні діаграми спрямованості.

Завдання отримав 

Керівник 

6 Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

Розділ	Прізвища, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Нормоконтроль	КОРЕЦЬКА Людмила к.т.н., доцент		
Антиплагиат	ФЕДУЛА Микола к.т.н., доцент		

7 Дата видачі завдання 01 лютого 2023 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ п/п	Найменування виду роботи	Форма звітності, термін виконання	Відмітка наукового керівника
1.	Розробка завдання на кваліфікаційну роботу	01.02.2023р.	виконано
2.	Складання індивідуального плану на кваліфікаційну роботу	15.02.2023р.	виконано
3.	Написання першого (теоретичного) розділу	10.03.2023р.	виконано
4.	Написання другого розділу	26.03.2023р.	виконано
5.	Написання третього розділу	15.04.2023р.	виконано
6.	Написання четвертого розділу	30.04.2023р.	виконано
7.	Написання вступу і загальних висновків та пропозицій до кваліфікаційної роботи	10.05.2023р.	виконано
8.	Оформлення кваліфікаційної роботи	15.05.2023р.	виконано
9.	Рецензування кваліфікаційної роботи	20.05.2023р.	виконано
10.	Презентаційні матеріали за результатами виконання кваліфікаційної роботи	28.05.2023р.	виконано

Здобувач

(підпис, дата)

Олег ІВАНЧУК

Науковий керівник

(підпис, дата)

Андрій СЕЛЬСЬКИЙ

АНОТАЦІЯ

Тема кваліфікаційної роботи: «Багатодіапазонна антена для мобільних терміналів»

Автор роботи: Іванчук Олег Ігорович

Керівник роботи: к.ф.м.н., доцент Сельський Андрій Анатолійович.

Пояснювальна записка: 58 сторінок, 26 рисунків, 2 таблиці, 40 джерел.

Графічна частина: технічні креслення.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: МІКРОСМУЖКОВА АНТЕНА, ФРАКТАЛ, ІТЕРАЦІЯ, БІОНІКА, КОПЛАНАРНА ЛІНІЯ, УЗГОДЖЕННЯ, ДІАГРАМА СПРЯМОВАНОСТІ.

Об'єктом дослідження є багатодіапазонна антена.

Метою кваліфікаційної роботи є моделювання електродинамічних параметрів фрактальної випромінюючої структури на основі мікросмужкового монополя.

У даній кваліфікаційній роботі представлено структурні характеристики хризантем у природі та теорію фрактальної геометрії в структурі антени, а також пропонується нова структурована фрактальна багатоканальна мікросмугова антена зі структурою пелюстки хризантеми. Антена може охоплювати комерційні діапазони частот від другого до четвертого покоління (4G), супутникову навігацію, бездротові локальні мережі та Bluetooth. Випромінювач антени імітує структуру пелюсток хризантеми в природі, а основна форма дуги повторюється багато разів відповідно до певного пропорційного коефіцієнта. Після моделювання та порівняння другого повторення може досягти найкращих характеристик антени, і в антені застосовано метод копланарного хвилеводу для розширення смуги пропускання антени. Антена виконує фрактальне повторення при малому розмірі, а приблизний розрахунок смуги частот завершується порівнянням співвідношення кожного кільця з поточною векторною діаграмою. Конструкція антени полягає в тому, щоб використовувати HFSS для моделювання антени та оптимізації параметрів, а моделі в різних умовах порівнювали та аналізували.

03.06.2023 р.



ЗМІСТ

	С.
ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ	4
ВСТУП.....	5
1 ОГЛЯД БІОНІКИ ТА ОЦІНКА ТЕХНОЛОГІЙ СУЧАСНОСТІ.....	9
1.1 Принципи архітектурної біоніки.....	11
1.2 Можливості та перспективи застосування біоніки	13
1.3 Нові біологічні матеріали	15
1.4 Висновки до першого розділу	17
2 БЕЗДРОТОВІ ТЕХНОЛОГІЇ ПЕРЕДАЧІ ДАНИХ	19
2.1 Класифікація бездротових каналів	20
2.1.1 Канали стільникового радіо	20
2.2 Мережева модель OSI	21
2.3 Стандарти IEEE для Wi-Fi мережі	27
2.4 Пристрої передачі даних.....	31
2.5 Перспективи використання бездротових мереж	33
2.6 Переваги бездротової синхронізації.....	34
2.7 Висновки до другого розділу	35
3 МЕТОДИ РОЗРОБКИ БАГАТОДІАПАЗОННИХ АНТЕН.....	36
3.1 Технології зі слот-завантаженням.....	36
3.2 З'єднувальні технології живлення.....	39
3.3 Фрактальні технології	41

КВРТР.2020012.01.01 ПЗ								
Ім'я.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Багатодіапазонна антена для мобільних терміналів	Літ.	Арк.	Акрушів
Розроб.		Іванчук О.І.		21.08.23				
Перевір.		Сельський А.А.		21.08.23			2	63
Реценз.						ХНУ, гр. ТР1с-20-1		
Контр.		Корецька Л.О.		21.08.23	Пояснювальна записка			
Відповід.		Мартинюк В.В.		21.08.23				

3.4	Принцип мікросмушкової монопольної антени та резонансної антени	42
3.5	Дводіапазонна антена з класичною літерною структурою.....	43
3.6	Плоска фрактальна конструкція антени Вівальді.....	44
3.7	Висновки до третього розділу.....	45
4	СТРУКТУРА АНТЕНИ ТА ПРОЦЕДУРА ПРОЕКТУВАННЯ	46
4.1	Характеристики конструкції антени	46
4.2	Результати моделювання та аналіз антени	47
4.3	Висновки до четвертого розділу.....	57
	ВИСНОВКИ.....	58
	ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ.....	59
	ДОДАТКИ	63

					КВРТР.2020012.01.01 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		3

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

LTE	–	Long Term Evolution
OFDM	–	Orthogonal Frequency Division Multiplexing
OSI	–	Open Systems Interconnection
WWAN	–	Wireless Wide Area Network)
WMAN	–	Wireless Metropolitan Area Networks
WLAN	–	Wireless Local Area Network
WPAN	–	Wireless Personal Area Network
IoT	–	Internet of Things
mmWave	–	Міліметрові хвилі
WiMAX	–	Worldwide Interoperability for Microwave Access
	–	
	–	
	–	

					КВРТР.2020012.01.01 ПЗ	Арк.
						4
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

В останні роки дизайну антен приділялося багато уваги. Це пов'язано зі сплеском інтересу до різноманітних додатків, починаючи від IoT і закінчуючи низькочастотними додатками дальнього радіусу дії і закінчуючи високочастотною мобільною технологією mmWave 5G. Переносні антени, які створюють телемережі, також викликали зацікавленість. Прикладом цього є одяг і матеріали, які прилягають безпосередньо до шкіри, наприклад, електронна шкіра. Постачання ще більшої швидкості передачі даних мобільним клієнтам, доставка мультимедійного вмісту з нульовою затримкою та підключення різноманітних послуг тісно пов'язані на шляху до проектування та впровадження широкосмугових бездротових мереж нового покоління. Мета полягає в тому, щоб створити стільникове мережеве середовище, в якому датчики, прилади, автомобілі та дрони можуть взаємодіяти один з одним.

Ємність стільникової мережі має бути значно збільшена, щоб підтримувати такі взаємодії. Індустрія бездротового зв'язку нещодавно оголосила про 5G, нове покоління мобільної бездротової технології, яка пропонує швидкість передачі даних у кілька гігабіт за секунду з вищою пропускну здатністю та меншою затримкою, ніж у сучасних бездротових системах.

Майбутнім телефонам і базовим станціям знадобиться технологія багатомодової антени, яка є енергоефективною та може працювати в міліметровому діапазоні хвиль у поєднанні зі застарілими 4G і 5G нижче 6 ГГц.

Антени мають бути невеликими за розміром, але вони мають відповідати технічним критеріям, таким як більша потужність, ширша смуга пропускання, вищий коефіцієнт підсилення та нечутливість до впливу рук користувача. Використання міліметрового діапазону хвиль, яке забезпечить мережу крихітних

					КвРТР.2020012.01.01 ПЗ	Арк.
						5
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

комірок, уможливлуючи зони гарячих точок високої пропускнуої спроможності та площі, є критично важливим для 5G. Наступна система 5G стане справжньою мобільною мультимедійною комунікаційною платформою, яка включатиме не лише застарілі різноманітні мобільні мережі, але й складні радіоінтерфейси та здатність працювати на частотах міліметрового діапазону, щоб використовувати величезну кількість доступної ємності. Це запровадить суворі стандарти дизайну, які виходять за межі останнього розгортання 5G у діапазоні нижче 6 ГГц.

У давньокитайській книзі «Дао де цзин» сказано: «Дао є природним». Це корінь усіх речей і головне джерело людських думок і застосувань. Спостерігаючи за практиками від давніх часів до сьогодення, люди отримали багато уявлень про процес наслідування природних створінь [1]. Біоніка – це передова технологія, яка винаходить і створює, імітуючи структуру та функції істот у природі, щоб покращити людське життя та виробництво інформаційних технологій [2, 3].

Біонічна антена є важливим застосуванням антени в поєднанні з біонікою. При вивченні антен аналізуються структури рослин і органи тварин у природі та використовуються для сприяння створенню нових структур антен [4]. Принципи роботи та продуктивність антен подібні до принципів живих організмів у природі; отже, імітуючи структуру організмів для проектування геометричної структури антен, можна отримати хороші характеристики та продуктивність [5, 6]. Приклади включають використання мініатюрних антен Вівальді, розташованих на площині, натхненних природними папоротями [7], широкосмугова антена, що імітує форму листа гінкго [8], багатодіапазонні антени, що імітують бананове листя [9], та щілинні антени, що імітують тінь від крил метелика під сонцем [10, 11]. Антена може змінювати доступний діапазон

					КвРТР.2020012.01.01 ПЗ	Арк.
						6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

частот з одночастотного на подвійний, додаючи напівкруглі дугові гілки до круглого монополя, щоб сформувати структуру «С + О» [12].

Таблиця 1 – Порівняння характеристик запропонованої антени з останніми передовими сучасними технологіями

Тип антени	Розмір (мм ³)	Робочі діапазони (ГГц)	Підкладка	Коефіцієнт підсилення (дБі)	Техніка живлення
Дводіапазонна бінарна фрактальна біонічна антена	50×40 × 1.6	2G/3G/4G	FR-4	2.26	Копланарна хвилеводна антена
Багатогранна широкопугмова прямокутна мікросмужкова фрактальна антена	25 × 20 × 1.6	3.5-12ГГц	FR-4	5.6	Мікросмугова
Широкопугмова антиподальна антена Вівальді на основі фрактального листа папороті	50.8 × 62 × 0.8	1.3-20ГГц	FR-4	8	Вівальді
Біонічна антена з листа гінго	50 × 50 × 1	2.4/3/4	PTFE	NG	Мікросмугова
Багатодіапазонна біонічна антена	45 × 50 × 1.6	0.9/1.5/2.4/ 3.8/5.6/6.9	FR-4	3.45	Копланарна хвилеводна антена
Надширокопугмова біонічна антена Butterfly	26 × 27.8 × 1	3.5/6.8/9	PTFE	2.2-5.6	Мікросмугова
Багатодіапазонна мікросмугова антена з панельною структурою	85 × 70 × 1.6	1.6/2.35/3.8/5.85	FR-4	3.5	Мікросмугова
Фрактальна багатодіапазонна антена у вигляді монети	88.5 × 60 × 0.4	1.6/2.6/3.7/5.3	FR-4	3-5.9	Мікросмугова
Запропонована антена	41 × 29 × 1.6	1.7/3.6/5	FR-4	1.16-3.75	Копланарна хвилеводна антена

Останнім часом у зв'язку з мініатюризацією та багатофункціональністю комунікаційного обладнання вимоги до багаточастотності, мініатюризації та

інтегрованості антен значно підвищилися [13–15]. На даний момент вивчено багато методів багатодіапазонної антени, наприклад, технологія зв'язку [16], технологія щілинного завантаження [17] і реконфігурована технологія [18, 19]. Тому використано біоніку як точку прориву для дослідження нових структур для спрощення теоретичного аналізу. Порівняння продуктивності між антеною, запропонованою в даній кваліфікаційній роботі, та антеною в еталоні показано в таблиці 1.

У кваліфікаційній роботі структура випромінювача антени є інноваційною. Випромінювач інтегрує рослинну структуру, застосовує структуру хризантеми в біоніці до випромінювача антени та пропускає основну структуру півкола через фрактал із потрійним повторенням. Збільшуючи шлях струму на випромінювачі, таким чином збільшуючи електричну довжину антени, щоб розроблена антена могла досягти багатодіапазонності та мініатюризації в обмеженому просторі.

У даній роботі пропонується та обговорюється пелюсткова антена хризантеми з багатодіапазонними характеристиками, розроблена за принципом біоніки. Хризантема в природі – красива квітка правильної будови. Натхненна формою пелюсток хризантеми, антена, розроблена в кваліфікаційній роботі, реалізує конструкцію багатодіапазонної біонічної антени. Розроблена антена має три діапазони частот, які можна охопити: 1,51-2,31 ГГц (64,7%), 3,32-3,8 ГГц (33,9%) і 4,59-5,2 ГГц (13,4%). Запропоновану антену можна широко використовувати в системах зв'язку WLAN, WiMAX, Bluetooth, GPS та ін.

					КВРТР.2020012.01.01 ПЗ	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1 ОГЛЯД БІОНІКИ ТА ОЦІНКА ТЕХНОЛОГІЙ СУЧАСНОСТІ

У стратегічних напрямках розвитку та спрямованості соціальної складової сталого розвитку акцентується увага на важливості збереження стійкості існуючих соціальних систем. Соціальні домінанти сталого розвитку пов'язані з одним із найактуальніших завдань сучасності – пошуком інструментів подолання обмежень так званого суспільства споживання.

Виходячи з мети сталого розвитку – підвищення якості життя відповідно до можливостей навколишніх екологічних систем – високий рівень життя населення має поєднуватися з його ставленням до довкілля як безпосереднього продовження довкілля. місце проживання. Ось чому необхідно звертати увагу на природні процеси, використовувати їх як основу для подальшого розвитку для оптимального вирішення проблем людства. У цьому допоможе молода, але вже експериментально реалізована наука – біоніка.

Біоніка – це наука про використання знань про форми, принципи та технологічні процеси живої природи в архітектурі, техніці та будівництві. Дослідження з моделювання живих систем становлять основу біоніки.

Предметом дослідження біоніки є біологічні системи форм, структур, конструкцій живих організмів та механізмів їх адаптації у навколишньому середовищі, а також вивчення принципів побудови «біологічного матеріалу» з властивими йому природними характеристиками: перетворення, рухливість, виживання та адаптація у навколишньому середовищі. Біоніка передбачає використання біологічних прототипів до створення людиною власних, штучних систем.

Архітектурна біоніка в цілому розглядає систему «жива природа (навколишнє середовище) – архітектура (технологія – будівництво) – людина»,

					КвРТР.2020012.01.01 ПЗ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

завдяки чому соціальна і технічна сфери отримують можливість розвиватися в гармонійній єдності з навколишнім середовищем.

Локальні дослідження структур живої природи для створення ефективних, досконалих об'єктів в архітектурі та дизайні відкривають великі можливості для використання закономірностей побудови біосистем як у сфері взаємодії суспільства і природи в цілому, так і в питання урбанізації та навколишнього середовища. Вирішення екологічної проблеми полягає в необхідності розвитку всіх видів людської діяльності при забезпеченні збереження біорівноваги в природі. Містобудівна система стає глобальним об'єктом проектування, а такі об'єкти, як споруда, будівля, комплекс, місто – у підциль.

Останнім часом з'являється все більше напрямків дослідження і впровадження біоніки, постійно розширюються перспективи створення нових унікальних матеріалів і пристроїв. І це не дивно, адже біоніка є досить перспективним і цікавим напрямком дослідження та практичного впровадження технологій, покликаних повністю перевести людство на шлях сталого розвитку.

Велика кількість будівель по всьому світу спроектовано на основі біоніки. Серед них найвідоміші: Ейфелева вежа в Парижі, стадіон «Ластівчине гніздо» в Пекіні, Оперний театр в Сіднеї.

Зараз, мабуть, ще рано говорити про всі можливості біоніки, але практичний досвід у цій галузі відкриває широкі горизонти для вирішення різноманітних завдань за допомогою патентів живої природи. Тут і можливості пошуку нових, функціонально виправданих архітектурних форм, що відрізняються красою та гармонією, та створення нових раціональних будівель з одночасним використанням дивовижних властивостей будівельного матеріалу живої природи, та відкриття шляхів реалізації єдності будівництва та створення архітектурних засобів з використанням альтернативних джерел енергії.

					КвРТР.2020012.01.01 ПЗ	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.1 Принципи архітектурної біоніки

Біоніка – наука про використання знань про форми, принципи та технологічні процеси живої природи в архітектурі, техніці та будівництві. Дослідження з моделювання живих систем складають основу біоніки.

Біоніка не просто досліджує живу природу, як це роблять фізика, хімія, біологія тощо, а, спираючись на вивчення законів природи та використання досягнень інших галузей знань, створює нові структури та структури за образом природи взагалі, які безпосередньо в природі не існують.

Архітектурна біоніка в сукупності розглядає систему «жива природа (середовище) – архітектура (техніка – будівництво) – людина», завдяки якій соціальна та технічна сфери набувають можливість розвиватися в гармонійній єдності з навколишньою природою.

Разом із практикою архітектурної біоніки поступово формується наука, з одного боку, як галузь архітектурної науки, а з іншого, як частина нового наукового напрямку – загальної біоніки у будівництві.

Складовими частинами архітектурно-біонної науки у будівництві є практична основа створення будівель та споруд та необхідні знання у сфері використання законів живої природи у будівництві.

До основних методів архітектурно-будівельної біоніки належать:

- метод функціональних аналогій – оцінка функціональних аспектів живої природи здійснюється на основі використання досвіду формування архітектури, її технічних засобів та з урахуванням тенденцій її перспективного розвитку;
- діалектичний метод – об'єкти вивчаються діалектично, тобто. у всіх протиріччях їх розвитку, а також історично, у процесі зростання та з урахуванням єдності організму та середовища;

					КвРТР.2020012.01.01 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

- метод моделювання – модель служить основою абстрактних математичних висновків у сфері закономірностей одержуваної форми – її характеру, пропорцій, ритму тощо.

Біонічну технологію можна визначити як потік концепцій від техніки до біології та навпаки. Удосконалення біонічних технологій протягом багатьох років допомогло вченим створити різноманітні інноваційні матеріали, які покращують наші можливості.

Біонічні пристрої, такі як протези рук і ніг, навіть допомагають людям з обмеженими можливостями вести нормальний спосіб життя. Але наукова фантастика буквально підвищила наші очікування, і дослідники та інноватори по всьому світу докладають усіх зусиль, щоб створити біонічну технологію, яка колись зможе зробити нас надлюдьми.

Біоніка намагається вчитися «у природи», використовуючи наукові засоби для вирішення технічних проблем. Під біонікою розуміються підходи до досліджень і розробок, які переслідують технічний інтерес до знань і під час пошуку рішень проблем, винаходів та інновацій збирають знання зі спостереження та аналізу живих систем і передають ці знання технічним системам. Концепція передачі знань про функції та структуру живих систем на технічні системи є центральною для біоніки.

Біоніка викликає велике захоплення у широкого загалу. Розглядання живих організмів як високотехнологічних систем і дивування їх «технологічної ефективності» відкриває можливість подолання суперечності між природою та технікою, яка часто спостерігається. «Обіцянка біоніки» також передбачає, що за допомогою біонічних підходів на практиці буде впроваджено більш природну, ближчу до природи або краще адаптовану технологію. Це означало б, що стали б можливими більш відповідні характеристики, такі як вписування в природні цикли, нижчі рівні ризику, відмовостійкість і екологічна сумісність. Це

					КвРТР.2020012.01.01 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

переконання є суттєвим стимулом для багатьох інженерів-біоніків, а також центральним підтвердженням їхніх підходів.

Щоб обґрунтувати ці уявлення, зроблені посилання на характеристики вирішення проблем у природних живих системах, такі як багатокритеріальна оптимізація за змінних граничних умов, використання матеріалу, доступного в замкнених циклах. Ці аргументи допомагають зрозуміти, що біонічні рішення проблем відповідно мають потенціал. Чи можна реалізувати цей потенціал на практиці в окремих випадках і за яких обставин це може статися, ще належить побачити. Таким чином, біонічні рішення проблем самі по собі не є менш ризикованими або більш екологічними, ніж традиційні технічні рішення. Це пояснюється тим, що в природі відбувається еволюційна оптимізація за іншими критеріями та умовами, ніж ті, що застосовуються до вирішення технічних проблем. Передача знань, отриманих із живих систем, у технічне середовище не є тривіальною процедурою, яка може звести потенціал біоніки нанівець або навіть перетворити його на небезпеку.

З цієї причини відношення біоніки до природи роздвоюється. Природа, з одного боку, має взірцевий характер у біоніці, але, з іншого боку, представляє інтерес не як сама природа, а радше «тільки» як модель для технічного вирішення проблем. З цієї причини біоніка кидає технічне око на природу, на відміну від оригінального «прямого» погляду на природу як природу.

1.2 Можливості та перспективи застосування біоніки

Чітких поділів всередині біоніки поки що немає. У зв'язку з тим, що біонічне уявлення про передачу функціональних і структурних знань із живого в технічні системи може досягти чогось, ймовірно, майже в кожній технічній галузі, в біоніці немає окремої класифікації. Класична біоніка стосується

					КвРТР.2020012.01.01 ПЗ	Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

біонічних застосувань, напр. у сферах будівництва та кондиціонування повітря, конструкцій та обладнання, стилю та дизайну, процедур та процесів, матеріалів та конструкцій, а також пересування.

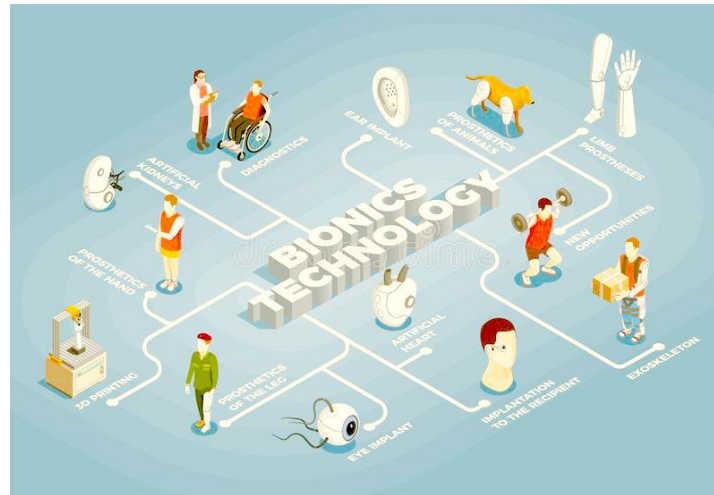


Рисунок 1.1 – Галузі досліджень технологій біоніки

Важливою актуальною галуззю досліджень із значним потенціалом застосування є нові матеріали. Нова біоніка відповідає сучасним розробкам у нанотехнологіях та еволюційній біології. З одного боку, це мікропідходи в нанобіотехнології, застосування протезів і нервовий контроль, натхненний молекулярною біологією; і, з іншого боку, розвиток інформаційних технологій та організації колективних процесів, мотивованих теорією еволюції. Німецькі біонічні дослідження є тематично широкими та мають дуже гарну основу. Сегменти біоніки, які досліджуються, і сфери застосування стикаються з привабливими ринками значною мірою як вдома, так і за кордоном. Як усталені галузі (наприклад, нові матеріали, функціональні поверхні або дизайн), так і сектори біоніки, що нещодавно розвиваються (наприклад, розробки протезів), прагнуть зробити інноваційний внесок у соціально та промислово значущі дослідження та розробки. Атрибут «біонічний» має позитивний відтінок у громадській обізнаності та охоче використовується в рекламних цілях.

Поряд зі США та Великою Британією, які позиціонуються нарівні з Німеччиною, біонікою активно займаються зокрема Франція, Швейцарія та Австрія. Японія – особливо в секторі локомоції та робототехніки – і Китай (морська біоніка) розширюють свою участь. Однак інформаційна ситуація частково досить погана, зокрема щодо Росії та США, оскільки багато проектів біоніки знаходяться у військових дослідженнях і, відповідно, є секретними.

1.3 Нові біологічні матеріали

Біологічні матеріали розроблені таким чином, щоб вони були ресурсозберігаючими, і відрізняються високим рівнем стабільності та функціональності з відносно низьким використанням матеріалів. Крім того, використовувані матеріали, як правило, легко доступні в навколишньому середовищі (принцип опортунізму у виборі матеріалів). У природі немає високоефективних матеріалів, а прості матеріали з ефективними внутрішніми структурами, які ідеально синхронізовані з відповідним біологічним дизайном і, таким чином, демонструють дивовижні механічні характеристики з технічної точки зору.

Завдяки поєднанню багатокomпонентних матеріалів або композитів багато матеріалів виділяються з технічної точки зору ідеальним поєднанням часто суперечливих властивостей матеріалів, таких як міцність і еластичність. Істотний внесок в ефективність біологічних матеріалів вносить багатофункціональність. Їхня трудова діяльність пристосована до функцій, які вони мають виконувати. Завдяки своїй простій хімічній основі всі матеріали є біологічно розкладаними і, отже, є складовими природного циклу. Щоб проілюструвати матеріально-біонічні аспекти, у якості прикладів наведено кілька сфер досліджень:

					КвРТР.2020012.01.01 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

- На прикладі біокераміки стають зрозумілими проблеми визначення, які, однак, не створюють перешкод для практичного застосування: кристалічний вигляд кераміки (наприклад, з несприятливими для життя температурами виробництва понад 1000 °C) більш контрастує з біологічними речами та живими. Тим часом «біокераміка» являє собою дуже динамічну, надзвичайно перспективну галузь наук про матеріал, орієнтовану на кераміку.

- Від адаптованих матеріалів (розумних матеріалів) очікується високий потенціал технічного застосування. Самовідновлення (загоєння ран) є адаптивною характеристикою всіх живих організмів. Результати досліджень свідчать про те, що процеси самовідновлення в рослинах досяжні в технічних виробках. На даний момент напр. для технічного застосування розробляються мембрани, що самовідновлюються. Взаємодія «сенсора, блоку керування та приводу» може бути використана для біологічно інспірованої ходьби (робототехніка, біомехатроніка).

- Біонічно структуровані покриття тим часом пропонують властивості, які виходять далеко за межі добре відомого ефекту лотоса (самоочищення у зв'язку з водою). Тим часом на ринку є цілий ряд продуктів (наприклад, фарби для дому, антипригарні покриття, ребристі листи).

- Природні адгезивні цементи все ще в деяких випадках є технічно кращими (наприклад, довгострокова адгезія в екстремальних умовах, таких як, наприклад, солоня вода). Крім того, усі клеї, що використовуються в природі, є екологічно чистими. Крім того, мова йде також про розробку роз'ємних з'єднань з метою створення нерухомих з'єднань між матеріалами без зварювання чи склеювання.

Що можна відзначити в усіх перерахованих прикладах, так це те, що для того, щоб прийти до «технічних» рішень на основі природничо-наукових пояснень (наприклад, молекулярно-біологічних принципів), чисті дослідження

					КвРТР.2020012.01.01 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

все ще повинні досягти «певної зрілості» у багатьох випадках наявні продукти потребують подальшої оптимізації.

Кількість розробок, що базуються на матеріалах, настільки велика, що класифікувати статус дослідження важко. Тим не менш, можна відзначити, що біоніка відіграє важливу роль у майбутньому розвитку матеріалів. Оскільки такі властивості природних матеріалів, як адаптаційні здібності, багатофункціональність і ресурсоефективна структура, є водночас і властивостями, які є метою сучасних розробок матеріалів. Однак необхідною умовою є глибше розуміння взаємодії функції та структури природних матеріалів, а також механізмів створення, трансформації та самовідновлення.

У сферах виробництва електроніки, автомобілів і конструкцій/архітектури біоніка може зробити різні ефективні внески в технології (майбутнього) (наприклад, полегшена конструкція на основі біонічних моделей, рідинна оптимізація транспортних засобів, розробка спеціальних дисків і протекторів шин, опорних конструкцій, орієнтованих навколо розподіл сил, прозорі ізоляційні матеріали).

1.3 Висновки до першого розділу

Біоніка веде до значного розширення «набору інструментів» в інноваційній технологічній системі, в якій технічні рішення проблем у світі людства вивчаються з величезної різноманітності «технічних» рішень проблем природи. Це значне збільшення можливостей для людської діяльності вже виправдовує спеціальні зусилля, спрямовані на використання біонічного потенціалу, де це можливо. «Обіцянка біоніки», більш природна технологія, безумовно, сприяє мотивації багатьох дослідників; однак це зовсім не є необхідним поясненням того, чому біоніку слід розвивати та підтримувати публічно. Тут цілком

					КвРТР.2020012.01.01 ПЗ	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

достатньо аргументів на користь розвитку великого фонду ідей для людських цілей.

Для диференційованої точки зору біоніки та методів роботи, які практикуються в цьому секторі, необхідним є розгляд усього процесу інновацій від його біологічних основ (ідея) аж до його технічного перетворення (продукт) – також для того, щоб мати можливість реалістично описати потенціал біоніки.

Для створення біоніки як «базу ідей» для інновацій, однією з фундаментальних передумов є розробка стратегій для ефективного фільтрування відповідних аспектів для вирішення технічних проблем. Через величезну різноманітність «природних рішень проблем», подальша систематизація та доступність функціональних принципів з біології були б доречними. Ще одним моментом є зосередження науково-орієнтованого просування на вибраних аспектах (наприклад, використання знань, стратегії патентних прав, структура нових пріоритетів просування).

Потенціал застосування біоніки надзвичайно широкий. Відповідний ринковий потенціал є, однак для отримання детальної картини необхідне відповідне дослідження ринку.

					КвРТР.2020012.01.01 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

2 БЕЗДРОТОВІ ТЕХНОЛОГІЇ ПЕРЕДАЧІ ДАНИХ

Практично всі комерційні пристрої бездротового зв'язку, що виробляються в сучасному світі, такі як смартфони, планшети, ноутбуки та портативні пристрої повинні підтримувати різні стандарти зв'язку (WiFi, Bluetooth і LTE).

Ідея Інтернету речей, де кожен комунікаційний пристрій об'єднується з іншими в одну систему, реалізується шляхом швидкого розвитку нових стандартів бездротового зв'язку з метою забезпечення більш високої швидкості передачі даних, безперебійного зв'язку та низьких витрат на впровадження. Для підтримки існуючих бездротових мереж, а також стандартів майбутнього покоління, таких як 5G, життєво важливі дослідження інтелектуальних і ефективних конфігурацій антен.

Численні наукові публікації в літературі з проектування антен охоплюють різні типи застосувань, починаючи від комунікацій і закінчуючи програмами ідентифікації та виявлення. Стандартизований метод, за допомогою якого вузли можуть передавати на шину або мережу, називається протоколом. Існує багато різних протоколів для арбітражного використання спільної мережі між декількома вузлами, і розглянуто лише деякі з них. Однак добре знати про ці кілька і розуміти, чому деякі працюють краще для одних цілей, ніж інші. Зазвичай певний протокол пов'язаний зі стандартизованим типом мережі. Це лише ще один «рівень» до набору стандартів, які вказані під назвами різних мереж.

Міжнародна організація стандартів (ISO) визначила загальну архітектуру специфікацій мережі у своїй моделі DIS7498 (застосовна до більшості будь-яких цифрових мереж).

					КВРТР.2020012.01.01 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

2.1 Класифікація бездротових каналів

Залежно від природи середовища передачі розрізняють чотири типи бездротової передачі даних.

Передача даних здійснюється бездротовим способом від передавача до приймача. Передавач генерує радіоімпульс певної частоти і амплітуди, коливання випромінюється в простір. Приймач фільтрує і обробляє сигнал, після чого витягується необхідна інформація. Радіохвилі частково поглинаються атмосферою, тому цей зв'язок може бути спотворений високою вологістю або дощем. Мобільний зв'язок працює на основі стандартів радіохвиль; Бездротові канали передачі даних відрізняються швидкістю передачі інформації та діапазоном робочих частот. Радіочастотна категорія передачі даних включає Bluetooth, технологію бездротового обміну даними між пристроями. В Україні використовуються наступні протоколи:

- це глобальна система стільникового зв'язку. Частота - 900/1800 МГц, максимальна швидкість передачі даних – 270 Кбіт/с.
- цей стандарт забезпечує найкращу якість зв'язку. Робоча частота – 450 МГц.
- він має два робочих діапазони частот: 1885-2012 МГц і 2110-2200 МГц.

2.1.1 Канали стільникового радіо

Супутникові канали. Цей спосіб передачі інформації полягає у використанні супутника, на якому встановлена антена зі спеціальним обладнанням. Сигнал надходить від абонента на найближчу наземну станцію, потім сигнал перенаправляється на супутник. Звідти інформація надсилається на приймач, іншу наземну станцію. Супутниковий зв'язок використовується для

					КвРТР.2020012.01.01 ПЗ	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

телебачення і радіомовлення. Супутниковий телефон можна використовувати в будь-якій точці, віддаленій від стільникових станцій.

Інфрачервоні канали. Зв'язок встановлюється між приймачем і передавачем, розташованими на близькій відстані один від одного. Такий канал бездротової передачі даних працює за допомогою світлодіодного випромінювання. Зв'язок може бути двостороннім або широкомовним.

Лазерні канали. Принцип роботи такий же, як і в попередньому варіанті, тільки замість світлодіодів використовується лазерний промінь. Об'єкти повинні знаходитися в безпосередній близькості один від одного.

Бездротові середовища передачі даних відрізняються своєю специфікою. Основними відмінними рисами є асортимент і сфера застосування.

2.2 Мережева модель OSI

Усі протоколи бездротової передачі даних можна класифікувати за топологією мережі, швидкістю або алгоритмами безпеки. На рисунку 2.1. наведено для прикладу класифікацію за максимальною дальністю бездротової мережі.

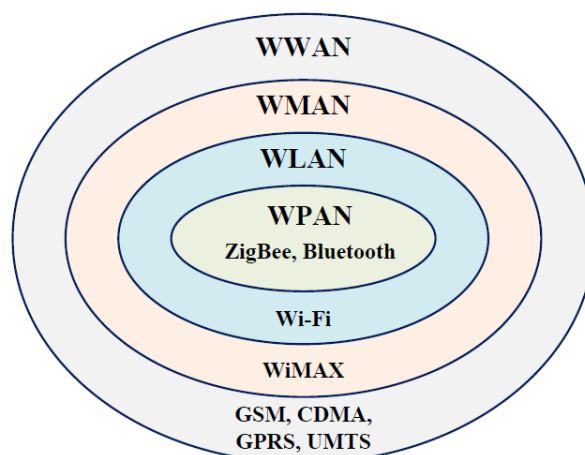


Рисунок 2.1 – Класифікація протоколів бездротової передачі даних за діапазоном

1. WWAN (Wireless Wide Area Network) – мережі стільникового зв'язку з радіусом дії в десятки кілометрів (протоколи GSM, CDMA, iDEN, PDC, GPRS і UMTS);

2. WMAN (Wireless Metropolitan Area Networks) – бездротові мережі масштабу міста, радіус дії яких кілька кілометрів (протокол WiMAX);

3. WLAN (Wireless Local Area Network) – бездротова локальна мережа з радіусом дії кілька сотень метрів (протоколи: UWB, Wi-Fi);

4. WPAN (Wireless Personal Area Network) застосовується для зв'язку різних пристроїв, наприклад комп'ютерів, побутових приладів, оргтехніки, засобів зв'язку тощо, радіус дії яких становить від кількох метрів до кількох десятків метрів (протоколи ZigBee, RuBee, X10, Insteon Bluetooth, Z-Wave, ANT, RFID).

Окрім діапазону мереж, протоколи відіграють важливу роль у визначенні рівнів у моделі мережі OSI (Open Systems Interconnection). Еталонна модель OSI (стек OSI) передбачає 7-рівневу ієрархію мережі, розроблену Міжнародною організацією стандартів (ISO). У таблиці 2.1 наведено розподіл рівнів і задачі, що вирішуються на цих рівнях.

Деякі встановлені мережеві протоколи покривають лише один або кілька рівнів DIS7498. Наприклад, широко використовуваний протокол послідовного зв'язку RS-232C справді стосується лише першого («фізичного») рівня цієї семирівневої моделі. Інші протоколи, такі як графічна система клієнт/сервер X-windows, розроблена в Массачусетському технологічному інституті для комп'ютерних систем з розподіленим графічним інтерфейсом користувача, охоплюють усі сім рівнів.

					КВРТР.2020012.01.01 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

Зв'язок цих пристроїв здійснюється в радіусі від 10 до 100 метрів один від одного.

Особливості:

- Технологія Bluetooth використовує радіохвилі для зв'язку між пристроями. Більшість цих радіохвиль мають діапазон 15-50 футів.
- Згідно з офіційним веб-сайтом Bluetooth, Bluetooth використовує сигнал малої потужності з максимальним радіусом дії 50 футів із достатньою швидкістю для передачі даних.
- Процес створення пари ідентифікує та з'єднує будь-які два пристрої один з одним. Це також запобігає перешкодам від інших несполучених пристроїв Bluetooth у цьому регіоні.
- Він використовує максимальну потужність лише тоді, коли це необхідно, зберігаючи таким чином час роботи акумулятора.

UWB – це протокол, який був розроблений компанією WiMedia, а потім затверджений ISO/IEC26907 як міжнародний стандарт. UWB є стандартом для широкого діапазону з'єднання на коротких відстанях. Протокол регулює аспекти зв'язку між пристроями на фізичному рівні (PHY) і рівні доступу до медіа (MAC). Пристрої працюють в діапазоні частот від 3,1 до 10,6 ГГц. Протокол UWB конкурує з протоколом Bluetooth.

ZigBee – це стандарт недорогих малопотужних бездротових мереж з стільниковою топологією, низька вартість якого дозволяє широко використовувати цю технологію для бездротового контролю та спостереження, а завдяки малій потужності мережеві датчики здатні працювати тривалий час завдяки до використання автономних джерел живлення. Нижні рівні цього стандарту визначаються стандартами IEEE 802.15.4-2006.

Особливості:

- Пристрої ZigBee розроблені для низького енергоспоживання.

					КвРТР.2020012.01.01 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

- ZigBee використовується в комерційних програмах, як-от датчики та моніторинг.
- ZigBee споживає дуже низьку енергію та надзвичайно довго працює від батареї пристрою.
- ZigBee дає змогу робити більше завдяки надійній бездротовій роботі та роботі від батареї.

X10 – міжнародний відкритий промисловий стандарт, який використовується для зв'язку електронних пристроїв у системах домашньої автоматизації. Стандарт X10 визначає методи і протокол передачі керуючих сигналів для електронних модулів, до яких підключаються побутові прилади, за допомогою звичайної електропроводки або бездротових каналів.

WI-FI – це стандарт IEEE 802.11 для передачі цифрових потоків даних по радіоканалах, який підходить для побудови мереж, де розгортання кабельної системи неможливо або економічно недоцільно. Користувачі можуть переміщатися між точками доступу в зоні покриття мережі за допомогою мобільних пристроїв, оснащених клієнтськими трансиверами Wi-Fi, і виходити в Інтернет.

WiMAX – це телекомунікаційна технологія, призначена для забезпечення універсального бездротового зв'язку на великих відстанях у широкому спектрі пристроїв (від робочих станцій до мобільних телефонів). Ця технологія базується на стандарті IEEE 802.16.

GSM – це глобальний цифровий стандарт мобільного стільникового зв'язку з поділом частотних каналів TDMA та середнім рівнем безпеки.

GPRS – це доповнення до технології мобільного зв'язку GSM, яка виконує пакетну передачу даних і дозволяє користувачеві стільникової мережі обмінюватися даними з іншими пристроями в мережі GSM і зовнішніми мережами, включаючи Інтернет.

					КВРТР.2020012.01.01 ПЗ	Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Усі бездротові мережі працюють в одній або комбінації топологій як показано на рисунку 2.2.

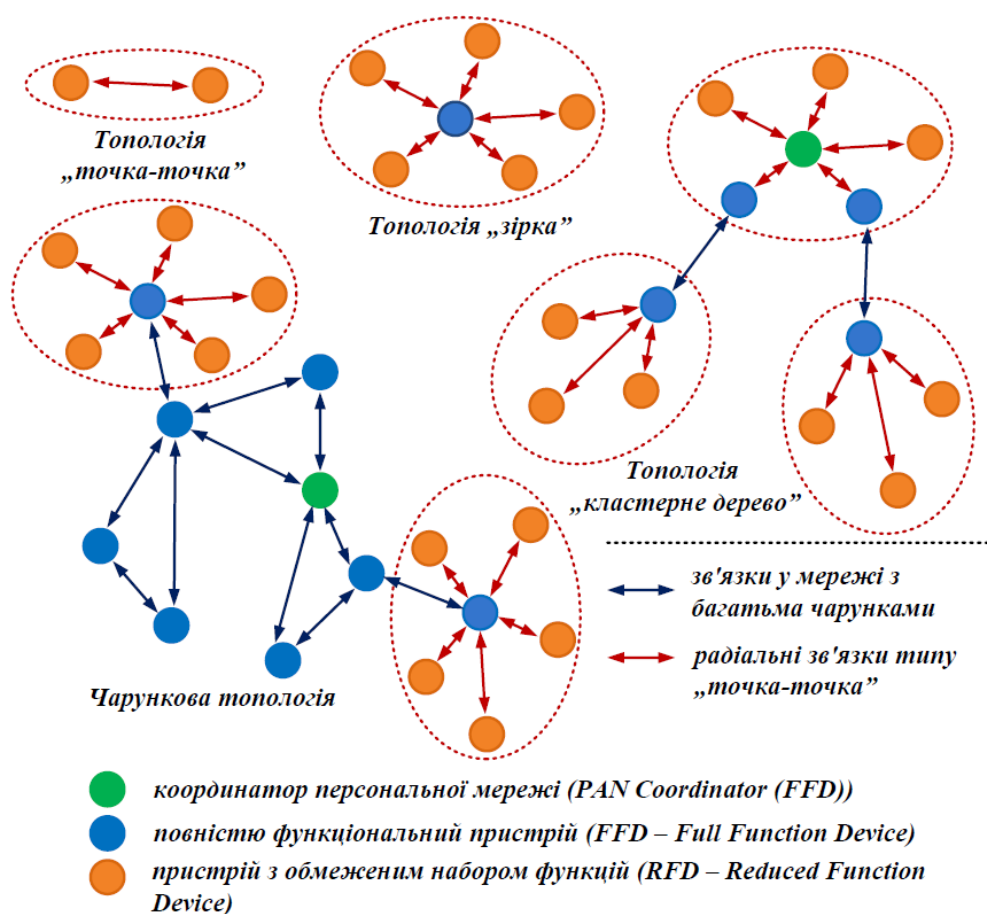


Рисунок 2.2 – Топології бездротових мереж різних конфігурацій

Топологія «точка-точка». Це незалежний режим конфігурації, який називається Independent Basic Service Set (IBSS). Дана топологія є найпростішим варіантом організації мережі з двох пристроїв. Як правило, вузли цієї мережі рівноправні, тобто мережа однорангова. Топологія «точка-точка» характерна для протоколів Bluetooth, ANT, RFID, RuBee, PDC, Wi-Fi, Insteon, UWB, ZigBee та інших.

Топологія «зірка». Ця топологія є основою для організації всіх сучасних мереж зв'язку та комп'ютерних мереж. Усі комп'ютери мережі з'єднані з центральним вузлом (комутатором), утворюючи фізичний сегмент мережі, який

може функціонувати як окремо, так і як частина складної топології мережі (наприклад, «дерева»). Топологія зірка використовується протоколами WI-FI, Insteon, ZigBee, UWB, IDEN, CDMAOne, WIMAX, GSM, GPRS, UTMS.

Топологія комірки – це базова топологія для комп'ютерних мереж і мереж зв'язку, у яких кожна робоча станція в мережі з'єднана з усіма іншими робочими станціями в тій самій мережі. Меш-топологія характеризується високою відмовостійкістю, складністю конфігурації та надмірним споживанням кабелю в провідних мережах. Кожен вузол має кілька можливих шляхів зв'язку з іншими вузлами, завдяки цьому ця топологія є дуже стабільною. Оскільки зникнення одного з каналів не призводить до втрати зв'язку між двома комп'ютерами, така топологія дозволяє підключати велику кількість вузлів і є типовою для великих мереж. Стільникова топологія застосовна для мереж з протоколами UWB, WI-FI, Insteon, ZigBee, UWB, IDEN, CDMAOne, WIMAX, GSM, GPRS, UTMS.

Топологія кластерного дерева формується в основному як комбінація мережевих топологій, розглянутих вище. Основа дерева комп'ютерної мережі знаходиться в точці (корені), де збираються інформаційні лінії зв'язку (гілки дерева). Обчислювальні мережі з деревовидною структурою будуються там, де неможливо безпосередньо застосувати базові мережеві структури в чистому вигляді.

2.3 Стандарти IEEE для Wi-Fi мережі

Сегмент телекомунікацій, що розвивається найшвидше – це бездротова локальна мережа Wi-Fi. В останні роки зростає попит на мобільні пристрої на базі бездротових технологій. Слід зазначити, що програми Wi-Fi передають і отримують інформацію за допомогою радіохвиль. Для передачі інформації пристрої Wi-Fi повинні накладати дані на радіохвилю, також відому як несуча

					КвРТР.2020012.01.01 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

хвиля. Цей процес називається модуляцією. Існують різні типи модуляції, які розглянемо далі. Кожен тип модуляції має свої переваги та недоліки щодо ефективності та вимог до застосування. Робочий діапазон і тип модуляції визначають фізичний рівень даних (PHY) для стандартів передачі даних. Продукти сумісні з PHY, якщо вони використовують один діапазон і один тип модуляції.

Перший стандарт бездротової мережі 802.11 був схвалений Інститутом інженерів з електротехніки та електроніки (IEEE) у 1997 році та підтримував швидкість передачі даних до 2 Мбіт/с. У цьому стандарті використовуються такі модуляції: псевдовипадкове стрибкоподібне перемикання частоти (FHSS - Frequency Hopping Spread Spectrum) і метод прямої послідовності для розширення спектру (DSSS - Direct Sequence Spread Spectrum).

У 1999 році IEEE схвалив ще два стандарти бездротової мережі Wi-Fi: 802.11a та 802.11b. Стандарт 802.11a працює в діапазоні частот 5 ГГц зі швидкістю передачі даних до 54 Мбіт/с [20–22]. Цей стандарт базується на технології цифрової модуляції OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing). Стандарт 802.11b використовує діапазон частот 2,4 ГГц і забезпечує швидкість передачі даних до 11 Мбіт/с. На відміну від стандарту 802.11a, стандартна схема 802.11b заснована на принципі DSSS.

Оскільки DSSS легше реалізувати, ніж OFDM, продукти, що використовують стандарт 802.11b, почали з'являтися на ринку раніше (з 1999 року).

Усі продукти, сертифіковані Wireless Ethernet Compatibility Alliance (WECA), позначені офіційно зареєстрованим логотипом Wi-Fi. Альянс WECA включає всіх основних виробників бездротових пристроїв на основі технології Wi-Fi. Альянс сертифікує, маркує та перевіряє сумісність обладнання, що використовує технологію Wi-Fi.

					КВРТР.2020012.01.01 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

На початку 2001 року Федеральна комісія зв'язку США (FCC) ратифікувала нові правила, які дозволяли додаткову модуляцію в діапазоні 2,4 ГГц. Це дозволило IEEE розширити стандарт 802.11b, що призвело до підтримки вищих швидкостей передачі даних. Так з'явився стандарт 802.11g, що працює на швидкості передачі даних до 54 Мбіт/с і розроблений за технологією OFDM.

Маршрутизатор Wi-Fi – це маршрутизатор, який приймає рішення про пересилання пакетних даних для різних сегментів модульної мережі. Стандартна схема бездротового маршрутизатора передбачає як мінімум одне підключення. Роздача Інтернету відбувається на різних частотах.

Стаціонарний бездротовий доступ 5150–5350 МГц і 5650–6425 МГц забезпечує високу швидкість передачі даних в Інтернеті. Для пошуку вільного каналу зв'язку необхідно узгодити підключення мережі з адміністраціями інших мереж. Кожна мережа повинна використовувати частоту каналу, відокремлену від іншого каналу на 25 МГц.

Стандарт 802.11a має високу продуктивність і швидкість. Завдяки використанню частоти 5 ГГц і модуляції OFDM цей стандарт має переваги перед стандартом 802.11b. Діапазон 5 ГГц (відомий як UNII) насправді складається з трьох піддіапазонів: UNII1 (5,15–5,25 ГГц), UNII2 (5,25–5,35 ГГц) і UNII3 (5,725–5,825 ГГц). При одночасному використанні двох піддіапазонів UNII1 і UNII2 ви можете отримати до восьми незвичайних каналів проти лише трьох у діапазоні 2,4 ГГц. Крім того, цей стандарт має набагато більшу доступну пропускну здатність. Таким чином, використовуючи стандарт 802.11a, можна підтримувати більше одночасних, вищих продуктивних безконфліктних бездротових з'єднань.

Слід зазначити, що оскільки стандарти 802.11a та 802.11b працюють у різних діапазонах, продукти, розроблені для цих стандартів, несумісні. Так, наприклад, точка доступу Wi-Fi, що працює в діапазоні 2,4 ГГц стандарту

					КвРТР.2020012.01.01 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

802.11b, не працюватиме з бездротовою мережевою картою, що працює в діапазоні 5 ГГц.

Проте обидва стандарти можуть співіснувати і існують. Наприклад, користувачі, підключені до точок доступу, які використовують різні стандарти, також можуть використовувати будь-які ресурси внутрішньої мережі, якщо ці точки доступу підключено до однієї базової мережі.

Стандарт 802.11g характеризується високою швидкістю в діапазоні 2,4 ГГц. Цей стандарт забезпечує вищу швидкість передачі даних, зберігаючи при цьому сумісність із стандартними продуктами 802.11b. Стандарт працює за допомогою модуляції DSSS на швидкостях до 11 Мбіт/с, але додатково використовує модуляцію OFDM на швидкостях вище 11 Мбіт/с. Таким чином, обладнання 802.11b і 802.11g сумісне на швидкостях, що не перевищують 11 Мбіт/с. Якщо в діапазоні 2,4 ГГц вам потрібна швидкість вище 11 Мбіт/с, вам потрібно використовувати стандартне обладнання 802.11g. Тобто стандарт 802.11g поєднує в собі все найкраще від стандартів 802.11b і 802.11a.

Стандарт 802.11n наразі є найсучаснішим комерційним стандартом Wi-Fi. 802.11n використовує частотні канали в частотних діапазонах Wi-Fi 2,4 ГГц і 5 ГГц. Сумісний з 11b/11a/11g. Хоча рекомендується будувати мережі лише з акцентом на 802.11n, оскільки потрібно налаштувати спеціальні режими захисту, якщо потрібна сумісність із застарілими стандартами. Це призводить до значного збільшення сигнальної інформації та значного зменшення доступної корисної пропускної здатності радіоінтерфейсу. Насправді навіть один клієнт Wi-Fi 802.11g або 802.11b вимагає спеціальних налаштувань для всієї мережі та миттєвого значного зниження її продуктивності. Підтримуються частотні канали Wi-Fi шириною 20 МГц і 40 МГц (2x20 МГц). Використовуваний РЧ дизайн: OFDM. Він також використовує технологію OFDM MIMO (Multiple Input Multiple Output) до рівня 4x4.

					КвРТР.2020012.01.01 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

Стандарт 802.11ac є розвитком широко поширеної технології 802.11n і в цілому групи стандартів Wi-Fi IEEE 802.11. Основними перевагами стандарту Wi-Fi 802.11a є високі швидкості передачі в радіоканалі і, відповідно, велика сукупна пропускна здатність точки доступу, а також більш розвинені механізми моніторингу активного і пасивного стану клієнтських пристроїв. Все це разом призводить до значної економії батареї мобільного пристрою.

2.4 Пристрої передачі даних

У нашому повсякденному житті нас оточують пристрої, які працюють на основі технологій бездротової передачі даних. Крім того, кожен пристрій має кілька додатків для активності певних стандартів. Приклад: класичний смартфон використовує GSM, 3G, LTE для передачі пакетних і голосових даних, Wi-Fi для доступу в Інтернет через точку доступу, Bluetooth для синхронізації пристрою з аксесуарами.



Рисунок 2.3 – Застосування бездротової мережі зв'язку

Найпопулярніші пристрої бездротової передачі даних, які отримали широке поширення:

						КВРТР.2020012.01.01 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			31

1. Wi-Fi роутер. Цей пристрій здатний забезпечити доступ до Інтернету для кількох пристроїв. Сам пристрій синхронізується з джерелом інтернету по дроту або за допомогою сім-карти оператора стільникового зв'язку.

2. Смартфон. Універсальний засіб зв'язку, який дозволяє передавати голосову інформацію, відправляти короткі текстові повідомлення, виходити в Інтернет і синхронізуватися з бездротовими або дротовими аксесуарами.

3. Планшетний комп'ютер. Функціонально він може бути ідентичний смартфону. Відмінною рисою є великий екран, завдяки якому використання гаджета стає більш зручним для певних видів роботи.

4. ПК. Повноцінний стаціонарний пристрій з вбудованою операційною системою, що дозволяє працювати в Інтернеті, в тому числі бездротовому. Бездротова передача даних на комп'ютер з точки доступу, як правило, здійснюється через адаптер Wi-Fi, підключений через роз'єм USB.

5. Ноутбук. Зменшена версія ПК. Більшість ноутбуків мають вбудований Bluetooth-адаптер і Wi-Fi-модуль, що дозволяє здійснювати синхронізацію для доступу в Інтернет, а також підключати бездротові аксесуари без додаткових USB-адаптерів.

6. Бездротові аксесуари та периферія. До цієї категорії входять бездротові колонки, навушники, гарнітури, миші, клавіатури та інші популярні аксесуари, які підключаються до пристроїв або комп'ютерів.

7. TV або Smart TV. Телевізор з операційною системою функціонально нагадує комп'ютер, тому наявність вбудованих бездротових модулів йому необхідна.

8. Ігрова приставка. Для встановлення програмного забезпечення цей гаджет має бездротове підключення до Інтернету. Ігрові приставки синхронізуються з пристроєм через технологію Bluetooth.

					КвРТР.2020012.01.01 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

9. Бездротове обладнання «Розумний дім». Дуже складна та універсальна система, яка керується бездротовим способом. Всі датчики та елементи обладнання оснащені спеціальними модулями для передачі сигналу.

З удосконаленням бездротових технологій старі пристрої постійно замінюються новими, які функціонально більш ефективні та практичні. Обладнання для бездротової передачі даних швидко змінюється та модифікується.

2.5 Перспективи використання бездротових мереж

Поточна тенденція полягає в заміні дротового обладнання новими бездротовими варіантами. Це набагато зручніше не тільки через мобільність пристроїв, але і з точки зору зручності використання.

Виробництво бездротового обладнання дозволить не тільки впровадити новітні системи в світ комунікаційних пристроїв, але і оснастити новітньою технікою житло звичайного середньостатистичного жителя будь-якого населеного пункту. Зараз це можуть собі дозволити лише люди з високим рівнем доходу, які проживають у мегаполісах.

У сфері бездротового радіозв'язку ведуться постійні дослідження, результатом яких є інноваційні технології, що відрізняються від своїх попередників більш високою продуктивністю, зниженим енергоспоживанням і практичністю використання. Результатом таких досліджень є поява нової техніки. Виробники завжди зацікавлені у випуску продукції, яка відповідає інноваційним технологіям.

Швидші точки доступу та потужні базові станції дозволять новим технологіям бути повсюдними у великих підприємствах. Устаткування можна керувати дистанційно. У сфері освіти бездротові технології можуть полегшити

					КвРТР.2020012.01.01 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

процес навчання та контролю. Деякі школи вже починають впроваджувати процес мобільного навчання. Він полягає в дистанційному навчанні за допомогою відеозв'язку через Інтернет. Наведені приклади є лише початковим кроком у переході розвитку суспільства на новий етап, який будуватиметься на основі бездротових технологій.

2.6 Переваги бездротової синхронізації

Якщо порівнювати дротову і бездротову передачу даних, то можна знайти багато переваг останньої:

- не заважають дроти;
- висока швидкість передачі даних;
- практичність і швидкість підключення;
- мобільність використання обладнання;
- відсутність зносу або роз'єднання;
- є можливість використовувати кілька варіантів бездротового підключення в одному пристрої;
- можливість підключення відразу декількох пристроїв до точки доступу в Інтернет.

Разом з цим є і деякі недоліки:

- випромінювання від великої кількості приладів може негативно вплинути на здоров'я людини;
- якщо різне бездротове обладнання розташоване близько одне до одного, існує ймовірність перешкод і збоїв зв'язку.

Причини масового поширення бездротових мереж очевидні. Потреба завжди залишатися на зв'язку потрібна будь-якому пересічному члену сучасного суспільства.

					КвРТР.2020012.01.01 ПЗ	Арк.
						34
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.7 Висновки до другого розділу

Отже, розглянувши декілька моделей антен, можна констатувати, що всеспрямовані антени влаштовані приблизно однаково і дуже прості. Якщо антена панельного типу, то в її конструкцію входить екран і випромінювач, виконаний у вигляді прямокутника і встановлений на деякій відстані від екрану. Відмінності між антенами полягають лише в розмірах випромінювача і екрану, а також у відстані між ними. Антени, призначені для внутрішнього використання, мають один випромінювач, тоді як антени, призначені для зовнішнього використання, можуть містити кілька випромінювачів. Також відзначимо, що вартість всіх антен явно завищена і незрозуміло чому.

					КВРТР.2020012.01.01 ПЗ	Арк.
						35
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3 МЕТОДИ РОЗРОБКИ БАГАТОДІАПАЗОННИХ АНТЕН

За останні роки через швидкий розвиток технологій і програм бездротового зв'язку зростає попит на багатодіапазонні бездротові мобільні термінали. Отже, необхідність розробити багатодіапазонні, компактні, низькопрофільні та недорогі антени, і було запропоновано багато типів антен для досягнення багатодіапазонних функцій. Крім того, широкосмугові властивості резонансних характеристик монопольних і дипольних антен були широко досліджені протягом багатьох років з використанням різних методів [1, 2].

3.1 Технології зі слот-завантаженням

Мікросмужкова антена, будучи компактною, недорогою, низькопрофільною, сумісною з плоскими та неплоскими поверхнями, є кращим вибором для різноманітних застосувань. Крім того, вона може демонструвати як лінійну, так і кругову поляризацію. Антени з круговою поляризацією (КП) пропонують переваги в продуктивності, такі як покращена продуктивність за несприятливих погодних умов і їх нечутливість до орієнтації приймача. Кругова поляризація може бути досягнута за допомогою конфігурацій одинарного та подвійного живлення. Кругові поляризації антен, які демонструють ліву кругову поляризацію і праву кругову поляризацію на одній і тій же частоті, можуть бути розроблені з використанням поляризаційно реконфігурованих структур, які використовують активні пристрої (діоди) для перемикання між станами поляризації. Багатодіапазонні антени дуже бажані, оскільки одну й ту саму антену можна використовувати для різних застосувань.

					КВРТР.2020012.01.01 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

лінійну поляризацію. Третя смуга надихається резонансом комплементарного резонатора з розділеним кільцем (CSRR) і демонструє LHCP.

Також пропонується багатодіапазонна монопольна антена на основі хвилеводу (CPW), яка живиться на основі багатодіапазонного хвилеводу. За допомогою запропонованого підходу цю антену можна легко сконструювати, щоб відповідати вимогам кількох робочих частот. Кілька зігнутих монополів на рисунку 3.2, які відповідають різним робочим частотам, генеруються шляхом травлення прорізів різної довжини на метелику. Довжина кожного зігнутого монополя визначається за умови резонансу чверті довжини хвилі. Кожну смугу частот можна легко задовольнити для широкосмугового характеру, оскільки накладку метелика можна розглядати як широкосмугову структуру для узгодження імпедансу. Це дослідження демонструє тридіапазонну щілинну монопольну антену для додатків WLAN/WiMAX/LTE із смугами частот 2,4–2,7 ГГц, 3,4–3,7 ГГц і 5,2–5,8 ГГц. Розмір запропонованої антени, виготовленої на підкладці FR4 товщиною 0,8 мм з діелектричною проникністю 4,2 без урахування розміру заземленої поверхні, становить лише $19,5 \times 9,0 \text{ мм}^2$. Хороша узгодженість між результатами моделювання та вимірюванням підтверджує запропонований підхід до проектування.

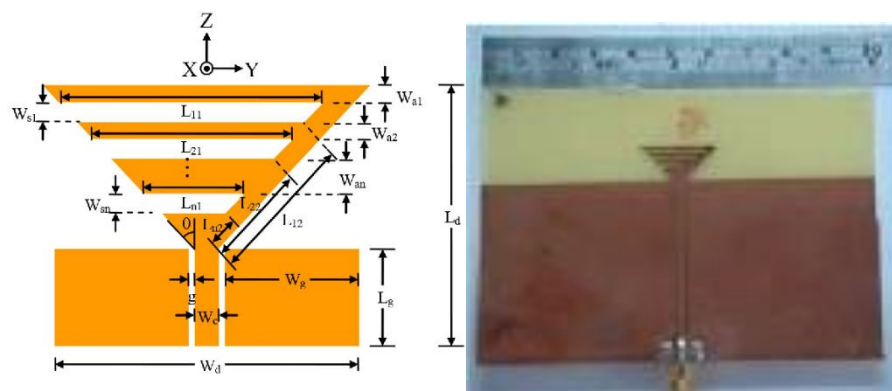


Рисунок 3.2 – Багатоширокосмугова щілинна монопольна антена

					КВРТР.2020012.01.01 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

3.2 З'єднувальні технології живлення

Багатодіапазонні антени вважаються прийнятним способом покриття різних діапазонів частот. Щоб виготовити багатодіапазонні антени, за останні кілька років було впроваджено кілька методів розробки багатодіапазонних антен, здатних охоплювати поточні стандарти.

У [3] представлена чотиридіапазонна щілинова антена, антена складається з Т-подібного патча та прямокутного слота на стороні землі, що містить перевернутий Т-подібний шлейф і два рівних розміру Е-подібні шлейфи, що генерують чотири діапазони частот на 1,575, 2,45, 3,5 і 5,4 ГГц для покриття GPS, WLAN і WiMAX. Крім того, в [4] представили компактну багатодіапазонну монопольну антену. Вона складається з прямокутної ділянки з двома складеними прорізами однакового розміру, які живляться ступінчастою мікросмужковою лінією з частковим заземленням. Слоти використовуються для збільшення шляху струму, щоб забезпечити мультирезонансну поведінку для покриття діапазону UMTS на 2 ГГц, WiMAX на 3,5 ГГц і WLAN на 5,2 ГГц. Також в [5] представлено тридіапазонну дугоподібну стрічкову монопольну антену. Монополіус складається з чотирьох круглих дугоподібних смуг, для яких радіус кожної дуги змінюється пропорційно послідовності арифметичної прогресії, тоді як біноміальна вигнута площина провідника використовується з частковим заземленням. Антена забезпечує п'ять діапазонів частот 2,5, 3,5, 4,5, 6,5 і 8,4 ГГц.

Односмугова дводіапазонна антена з круговою поляризацією для бездротового зв'язку 5G представлена в [6]. Антена складається з квадратної ділянки, на яку подається нецентрована одиночна мікросмужкова лінія. Квадратний патч містить два L-подібні слоти біля краю патча для досягнення двох резонансних частот. Запропонована антена забезпечує подвійні резонансні

					КвРТР.2020012.01.01 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

частоти 28 і 38 ГГц. Крім того, усі ці багатодіапазонні методи не можуть охоплювати одночасно мікрохвильовий і міліметровий діапазони.

Деякі дослідження проводяться для забезпечення здатності багатодіапазонних антен охоплювати одночасно мікрохвильовий і міліметровий діапазони. Верхній рівень містить дві антени МІМО для стандарту 4G, а нижній містить антенну решітку 2×4 слота з живильною мережею для забезпечення достатнього підсилення для мм-хвиль діапазону 5G (28 ГГц), тоді як наземний рівень затиснутий між двома шарами діелектрика. Антена МІМО 4G забезпечує смугу пропускання -6 дБ 660 МГц (1870–2530 МГц) із максимальним посиленням 4,42 дБі, тоді як антена 5G із мм-хвилями забезпечує смугу пропускання -10 дБ 2,4 ГГц (26–28,4 ГГц) із максимальним посиленням 10 дБі. Ці антени мають багатосарові, багатопортові та складну структуру.

Щоб вирішити ці проблеми, багатодіапазонна антена з одним живленням розроблена для покриття 4G і 5G одночасно в мікрохвильовому та міліметровому діапазонах. Антена складається з подвійної резонансної мікрохвильової смугової монопольної антени Франкліна та прямокутної патч-антени мм-діапазону. Крім того, між частинами антени надруковано модифікований фільтр низьких частот (LPF) з компактною мікросмужковою резонансною коміркою (CMRC). На рисунку 2.2 представлена антена, яка призначена для покриття Bluetooth на частоті 2,4 ГГц, діапазонів 4G LTE на частотах 2,3 і 2,5 ГГц, WiMAX на частотах 2,5 і 5,5 ГГц, WLAN на частотах 2,4, 5,2 і 5,8 ГГц і 5G на частотах 28 ГГц.

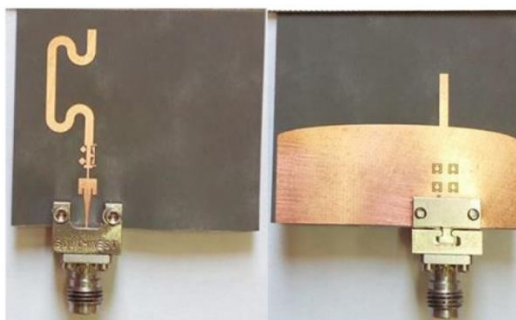


Рисунок 3.3 – Багатодіапазонна антена для покриття Bluetooth

					КВРТР.2020012.01.01 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		40

3.3 Фрактальні технології

Метод резонаторів з роздільними кільцями можна застосовувати для кращого узгодження імпедансу та покращення пропускну здатності фракталантени. Запропоний метод було успішно перевірено шляхом проектування багатодіапазонної кругової фрактальної антени (рисунок 3.4) та її завантаження SRR, а потім порівняння результатів для обох випадків. Виготовлено апаратний прототип антени на основі запропонованої теорії, і знайдено хорошу узгодженість між змодельованими та виміряними результатами.

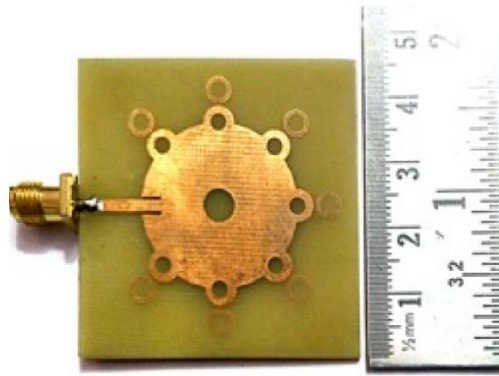


Рисунок 3.4 – Кругла фрактальна антена з ECSRR

Дана кругла мікросмужкова патч-антена, яка розроблена на базовій частоті 3,2 ГГц на недорогій епоксидній скляній підкладці FR4, у центрі патча вигравіровано круглий проріз, щоб зробити його кільцевою структурою. Одна ітерація кільця зменшеного масштабу використовується для створення круглої фрактальної антени, яка показує багатодіапазонну поведінку. Антена вставляється через лінію передачі 50 Ом, SRR з краєвим зв'язком, які використовуються як паразитні елементи, надруковані навколо антени, щоб покращити узгодження імпедансу та мінімізувати відбиття від країв антени.

					КВРТР.2020012.01.01 ПЗ	Арк.
						41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Дана антена демонструє краще узгодження імпедансу на всіх резонансних частотах, а також демонструє покращення смуги пропускання на 280 МГц на 8,5 ГГц. Розрахункове посилення для фрактальної антени як у навантаженому, так і в ненавантаженому стані на цій частоті становить 13,3 і 12,5 дБі відповідно. Антена може використовуватися в різних діапазонах у WiMAX IEEE 802.16d (2–11 ГГц) без прямої видимості у багатоточкових програмах, таких як бездротова міська мережа фізичного рівня з однією несучою (WMAN-SCa PHY), фізичне мультиплексування з ортогональним частотним поділом WMAN рівень (WMAN-OFDM PHY), фізичний рівень множинного доступу з ортогональним частотним поділом WMAN (WMAN-OFDMA PHY) і бездротовий HUMAN (високошвидкісна неліцензована міська мережа). Ефективність антени дуже хороша в застосуванні WiMAX 8,5 ГГц. Такий тип гібридних комбінацій може бути використаний для отримання кращих характеристик антени з точки зору пропускну здатності, підсилення та багатодіапазонних характеристик.

3.4 Принцип мікросмужкової монопольної антени та резонансної антени

Даний метод реалізується за допомогою двоітераційної антени з фрактальною біонічною структурою бінарного дерева для третього покоління (3G), четвертого покоління (4G), WLAN і бездротових додатків Bluetooth, яка базується на принципах звичайної мікросмужкової монопольної антени та резонансної антени. Техніка сполучення, поєднана з перевагами фрактальної геометрії. Для випромінювача антени була представлена нова фрактальна структура, схожа на дерево в природі, яка представлена на рисунку 3.5. Запропонована антена адаптувала дві ітерації на випромінювачі фрактальної структури, які охоплюють мобільні додатки у двох широких діапазонах частот із смугою пропускання 44,2% (1,85–2,9 ГГц) для діапазонів TD-SCDMA, WCDMA, CDMA2000, LTE33-41 і Bluetooth, і 11,5% (4,9–5,5 ГГц) для діапазону частот WLAN. Пропонована антена була виготовлена на підкладці G10/FR4 з

						КвРТР.2020012.01.01 ПЗ	Арк.
							42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

діелектричною проникністю 4,4 і розміром $50 \times 40 \text{ мм}^2$. Хороша узгодженість між результатами вимірювання та результатами моделювання підтверджує, що запропонований підхід проектування відповідає вимогам для різноманітних бездротових застосувань.

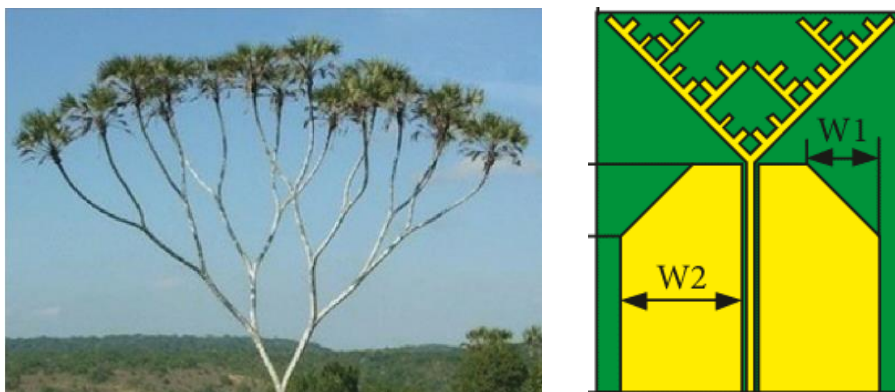


Рисунок 3.5 – Фрактальна антена бінарного дерева.

3.5 Дводіапазонна антена з класичною літерною структурою

Багатодіапазонна антена зі структурою «С+О», яка використовує дві класичні круглі літери та поєднує їх показана на рисунку 3.6. Антена підходить для бездротових додатків, таких як друге покоління (2G), третє покоління (3G), четверте покоління (4G), WLAN і Bluetooth. Антена базується на структурних характеристиках класичної монопольної антени. Це вертикальна чвертьхвильова антена.

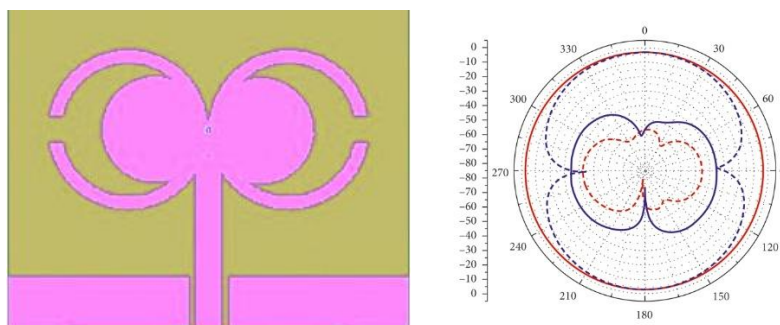


Рисунок 3.6 – Модель антени зі структурою «С + О»

Випромінювач антени в основному складається з літер, і випромінювач симетричний уздовж лінії фідера. Випромінювач антени складається зі структури «С + О». В антені використовується компланарний хвилеводний метод живлення. Після фактичного тестування антена охоплює два діапазони частот: 1,82–2,66 ГГц і 3,46–3,72 ГГц. Центральна частота становить 2,06 ГГц і 3,68 ГГц. Антена використовує діелектричний матеріал FR-4, відносна діелектрична проникність діелектричної пластини становить 4,4, а фактичний розмір антени становить 15×15×1,6 мм³. Випробування та моделювання мають добру послідовність, яка підтверджує, що запропонована антена відповідає вимогам різних бездротових програм.

3.6 Плоска фрактальна конструкція антени Вівальді

В даному методі реалізовано плоску антиподальна конструкція антена Вівальді. Тут реалізовано структуру фрактального листа, натхненну природою папороті. Смуга пропускання імпедансу (-10 дБ) запропонованої антени становить близько 19,7 ГГц, починаючи з 1,3 до 20 ГГц. Нижня робоча частота цієї антени зменшується на 19% з другою ітерацією порівняно з першою ітерацією фрактальної листової структури. Прототип антени виготовлено та перевірено в частотних і часових областях для отримання різних характеристик передачі разом із загальними параметрами антени. Експериментальні результати показують, що отримано хорошу широкосмугову характеристику, стабільну діаграму спрямованості та багатообіцяючу групову затримку менше 1 нс сигнатур, які добре узгоджуються з змодельованими даними. Запропонована мініатюрна структура антени стає привабливим вибором для мікрохвильових зображень завдяки її надширокій фракційній смузі пропускання 175%, високому коефіцієнту підсилення спрямованості 10 дБі та, нарешті, помітно високому коефіцієнту точності вище (>90%).

					КвРТР.2020012.01.01 ПЗ	Арк.
						44
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 3.6 – Широкопугова антиподальна антена Вівальді

3.7 Висновки до третього розділу

Швидкий розвиток технологій і програм бездротового зв'язку зростає попит на багатодіапазонні бездротові мобільні термінали. Відповідно, У даному розділі проведено огляд існуючих методів розробки багатодіапазонних антен, які необхідні для розробки багатодіапазонних, компактних, низькопрофільних та недорогих антен. Розглянуто деякі типи антен для досягнення багатодіапазонних функцій. Крім того, широкопугові властивості резонансних характеристик монопольних і дипольних антен були широко досліджені протягом багатьох років з використанням різних методів і технологій, а саме: технології зі слот-завантаженням, з'єднувальні технології живлення, фрактальні технології, а також принцип мікросмужкової монопольної антени та резонансної антени.

					КВРТР.2020012.01.01 ПЗ	Арк.
						45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4 СТРУКТУРА АНТЕНИ ТА ПРОЦЕДУРА ПРОЕКТУВАННЯ

4.1 Характеристики конструкції антени

Конструкція та параметри планарної антени показані на рисунку 4.1, а розміри наведено в таблиці 4.1.

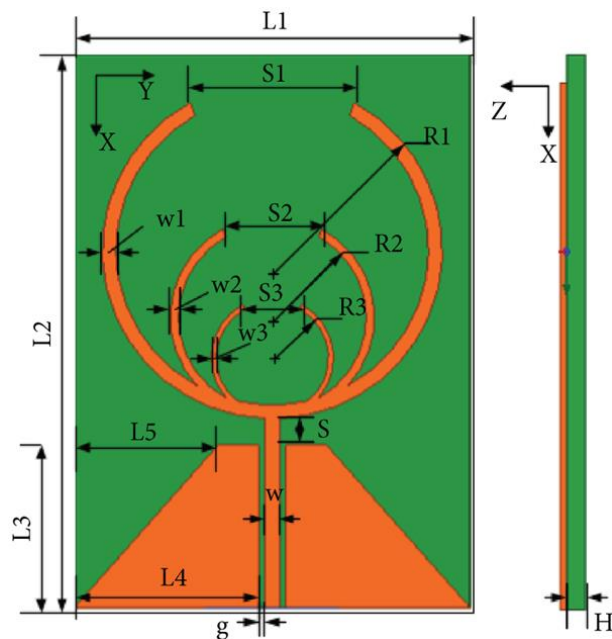


Рисунок 4.1 – Схема розміщення запропонованої антени

Таблиця 4.1 – Розміри запропонованої антени

Параметри розмірів	L1	L2	L3	L4	L5	R1	R2	R3	W1
Одиниця (мм)	29	41	12	13.5	9.5	12.5	7.73	4.77	1
Параметри розмірів	W2	W3	S	S1	S2	S3	g	H	W
Одиниця (мм)	0.618	0.382	2	9.54	5.90	3.64	0.5	1.6	1

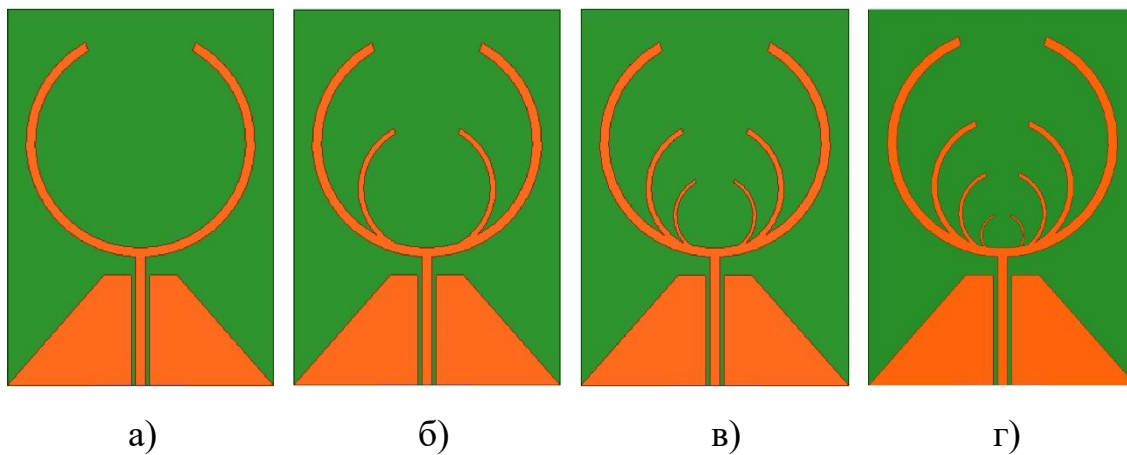


Рисунок 4.2 – Ітераційний процес антени:

а) 0 ітерація, б) 1-ша ітерація, в) 2-га ітерація, г) 3-я ітерація.

4.2 Результати моделювання та аналіз антени

Моделювання та аналіз антени на програмному забезпеченні високочастотного моделювання. Як показано на рисунках 4.2 і 4.3, рисунок 4.2, а складається з неповної петлі як диполя для формування випромінювача антени, що призводить до двох частотних діапазонів 1,34–2,7 ГГц і 4,7–5,8 ГГц. Фрактальні ітерації на основі одного кільця були виконані та повторені послідовно відповідно до коефіцієнта зменшення $\varepsilon = 0,618$.

Синя пунктирна лінія на рисунку 4.3 – це крива параметра S_{11} нульової ітерації антени. Рисунок 4.2, б базується на рисунку 4.2, а для першої ітерації. Завдяки збільшенню траєкторії струму створюється нова смуга частот 3,12–4,61 ГГц, а смуга пропускання низькочастотної смуги зменшується.

Чорна прямокутна пунктирна лінія на рисунку 4.3 є кривою S_{11} першої ітерації антени. На рисунку 4.3, в фігура виконує другу ітерацію. Смуга низьких частот така ж, як і до ітерації. Смуга частот 3,5 ГГц трохи скорочується для кращої ізоляції, і створюється нова смуга частот 4,68–6 ГГц, яка нарешті досягає 1,34–2,76 ГГц. У трьох частотних діапазонах 3,26–4,1 ГГц і 4,68–6 ГГц ізоляція між кожним частотним діапазоном ідеальна, а продуктивність S_{11} хороша.

					КВРТР.2020012.01.01 ПЗ	Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Крива S_{11} показана суцільною червоною лінією на рисунку 4.3. На рисунку 4.2,2 показано третю ітерацію. Смуга частот, згенерована на низьких частотах, не така хороша, як продуктивність другої ітерації, а смуга частот, згенерована на високих частотах, не така широка, як смуга пропускання другої ітерації. З кривих S_{11} від другого до третього порядку відомо, що оскільки розмір випромінювача, доданий після фрактальної ітерації, малий, то безперервна ітерація мало впливає на характеристики антени. Тому друга ітерація використовується як остаточна модель. Отримана антена може охоплювати кілька діапазонів мобільних комерційних частот, таких як 2G, 3G, 4G, 5G, WLAN і Bluetooth.

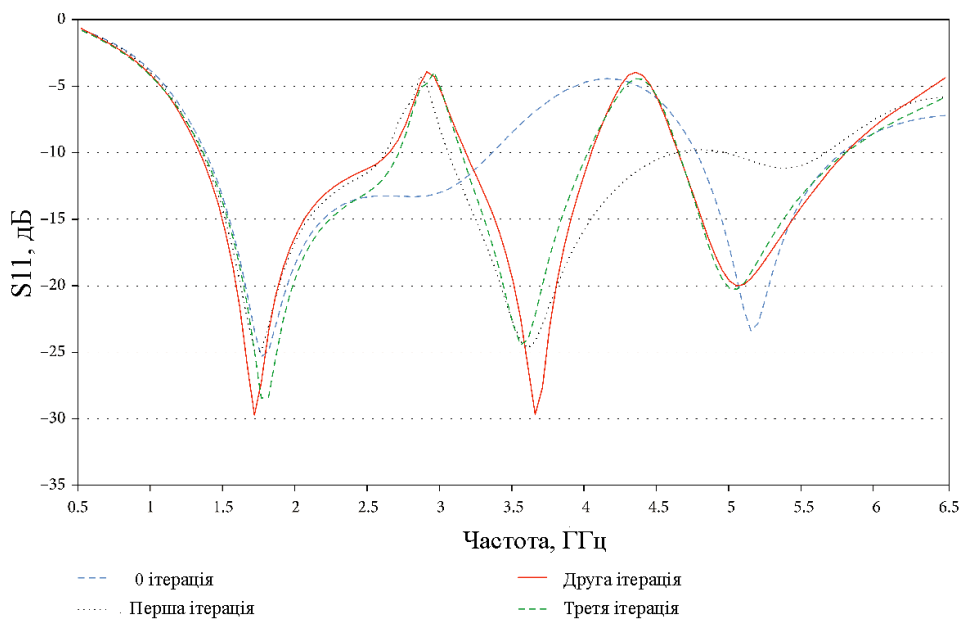


Рисунок 4.3 – S_{11} для антени від 0 до 3 ітерацій моделювання

Як показано на рисунку 4.4, довжина $L5$ змінюється від 0 мм до 13,5 мм. $L5$ визначає форму заземлення антени. Коли $L5 = 0$ мм, заземлення антени має форму прямокутника, а зворотні втрати показані довгою фіолетовою

пунктирною лінією на рисунку 4.4. Вимоги до характеристик антени не відповідають високим частотам.

Коли $L5 = 13,5$ мм, заземлення антени є трикутним. Зворотні втрати показані жовтою пунктирною лінією на рисунку 4.4. Смуга пропускання є вузькою в усіх діапазонах частот, а частотні точки не відповідають комерційним частотним точкам. Результат аналізу частотної розгортки показує, що коли $L5 = 9,5$ мм, антена має найкращу продуктивність і ширшу смугу пропускання, яка може охоплювати більше комерційних діапазонів частот.

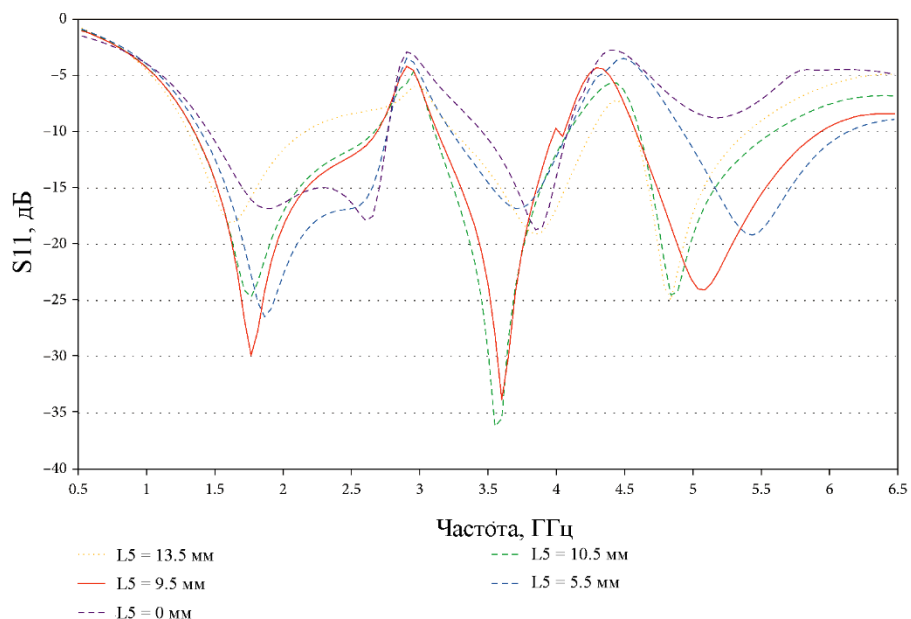


Рисунок 4.4 – Зміна S_{11} (дБ) для різних довжин $L4$

Аналіз частотної розгортки ширини антенного шлейфа $W1$ показаний на рисунку 4.5. Із розширенням $W1$ дві смуги частот із центральною частотою антени на 3,65 і 5,15 ГГц поступово переходять до високої частоти та поступово не можуть покрити доступну смугу частот. Таким чином, кінцева ширина антени становить $W1 = 1$ мм.

зосереджується у внутрішньому контурі. Помічено, що чим довша довжина, тим нижча точка резонансної частоти, а чим коротша довжина, тим вища точка резонансної частоти. Випромінювач повторюється, щоб збільшити електричну довжину антени. Під дією взаємного зв'язку між випромінювачами виявляється відповідна частотна точка, яка збільшує смугу пропускання.

Таблиця 4.2 – Смуги частот, охоплені антеною

Група №	Пропускна здатність	Кавери комерційних груп
1	1.34-2.65ГГц (81%)	TD-LTE (1.447-1.467ГГц), GPS (1.575-1.625ГГц), DCS (1.71-1.88ГГц), LTE33-37(1.9-2.025ГГц), TD-SCDMA (1.88-2.025ГГц), ISM2.4G (2.4-2.4835ГГц), Bluetooth, WLAN (802.11b/g/n:2.4-2.48ГГц), BDS(B1), GLONASS(L1), GALILEO(E1, E2)
2	3.26-4.1ГГц (22%)	LTE42/43 (3.4 - 3.8 ГГц), WiMAX (3.3 - 3.8 ГГц)
3	4.68-6ГГц (25%)	WLAN (802.11a/n:5.15 - 5.35 ГГц), 5G(5.725-5.825ГГц)

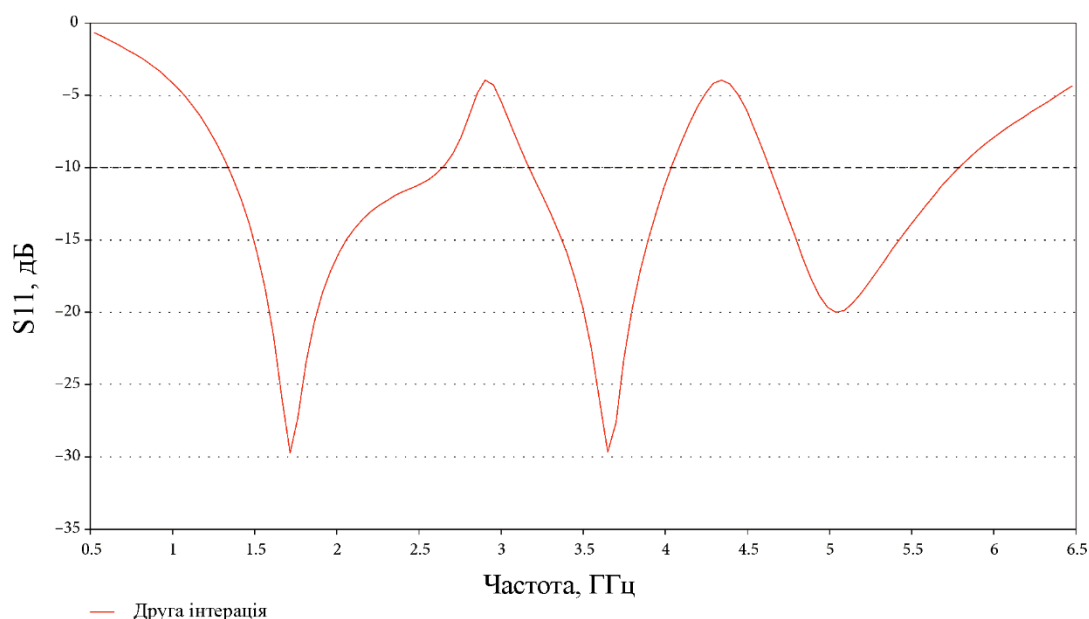


Рисунок 4.6 – Модель S11 для запропонованої антени

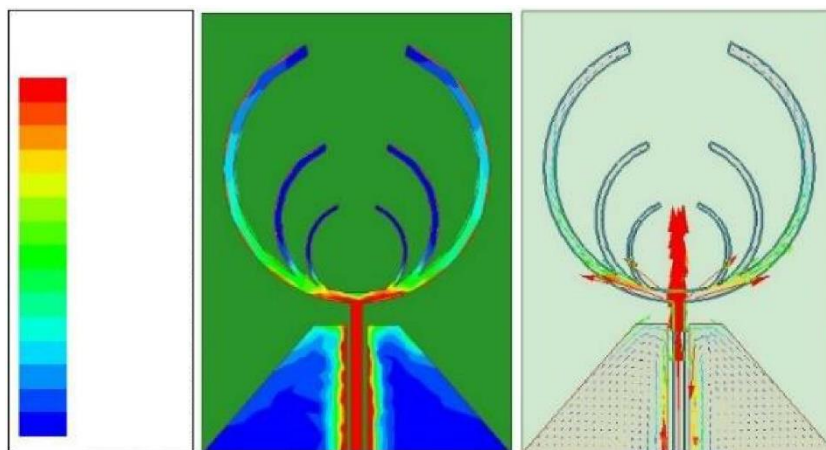


Рисунок 4.7 – Поверхневий струм і вектор струму на частоті 1,74 ГГц

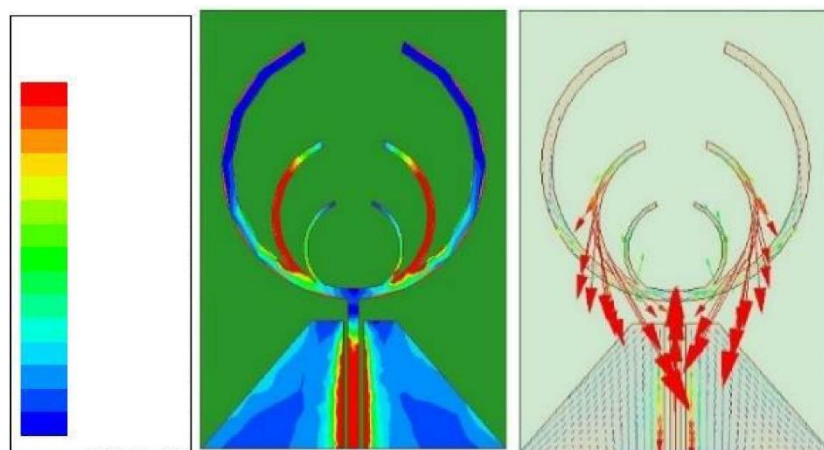


Рисунок 4.8 – Поверхневий струм і вектор струму на частоті 3,68 ГГц

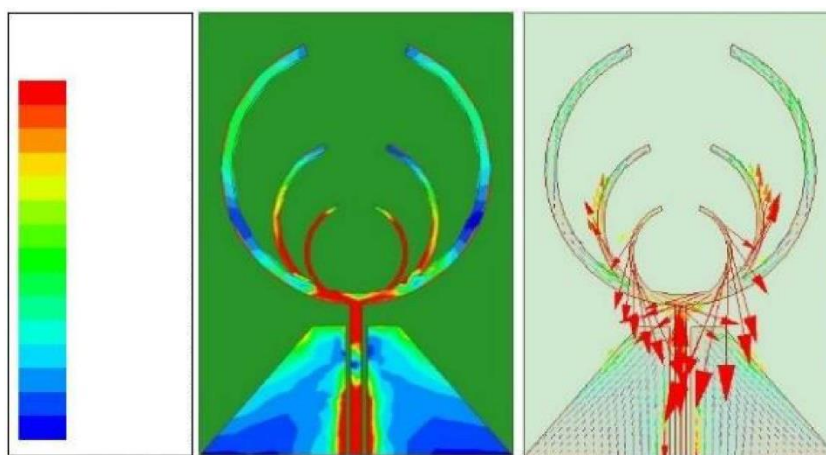


Рисунок 4.9 – Поверхневий струм і вектор струму на частоті 5,15 ГГц

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

На рисунку 4.7 видно, що максимальний струм, коли антена з'являється в головній середній гілці та частині зовнішнього кільця, коли антена працює на частоті 1,74 ГГц. Тому довжину радіаційної плями, яка спричинила перший резонанс, можна розрахувати як:

$$L_a = 2\pi R_1 - \frac{2\pi R_1}{2} + S = 41,25 \text{ мм} \quad (4.1)$$

За даними таблиці 4.1 отримано $L_a = 41,25$; отже,

$$f_a = \frac{c}{2L_a \sqrt{\epsilon_r}} \approx 1,82 \text{ ГГц} \quad (4.2)$$

Оскільки дуга посередині збуджує другий резонанс, то максимальне значення струму з'являється на середній дузі, як показано на рисунку 4.8. Згідно з даними таблиці 4.1, довжина максимального струмового шляху L_b становить:

$$L_b = 2\pi R_2 - \frac{2\pi R_2}{3} - \frac{2\pi R_2}{5} = 22,65 \text{ мм} \quad (4.3)$$

$$f_b = \frac{c}{2L_b \sqrt{\epsilon_r}} \approx 3,31 \text{ ГГц} \quad (4.4)$$

На рисунку 4.9 видно, що максимальний струм антени на резонансній частоті 5,15 ГГц з'являється у більшості внутрішніх дуг і в невеликій частині середніх дуг. Довжина шляху максимального струму L_c становить:

$$L_c = 2\pi R_3 - \frac{2\pi R_3}{2} = 14,98 \text{ мм} \quad (4.5)$$

					КВРТР.2020012.01.01 ПЗ	Арк.
						53
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$f_c = \frac{c}{2L_c \sqrt{\epsilon_r}} \approx 5,01 \text{ ГГц} \quad (4.6)$$

Тривимірні діаграми спрямованості та діаграми крос-поляризації антени на частотах 1,74, 3,68 і 5,15 ГГц показані на рисунках 4.10 – 4.15.

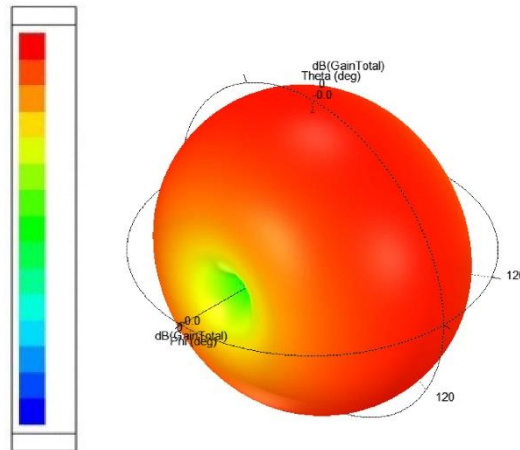


Рисунок 4.10 – Змодельовані тривимірні діаграми випромінювання на частоті 1,74 ГГц

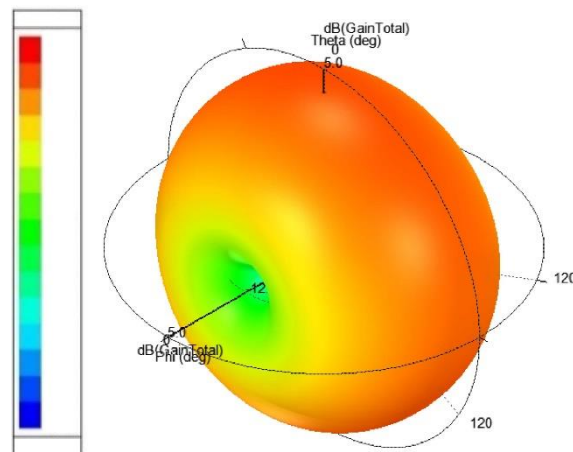


Рисунок 4.11 – Змодельовані тривимірні діаграми випромінювання на частоті 3,68 ГГц

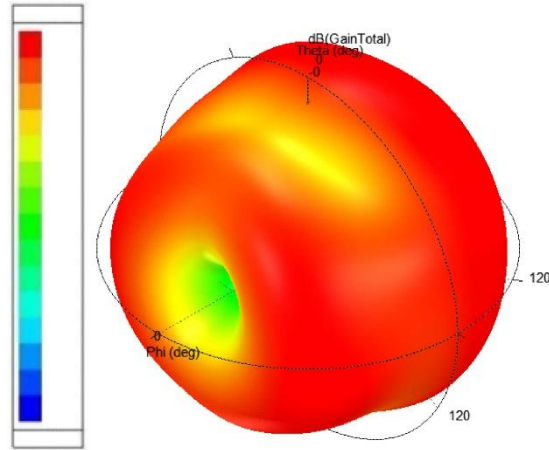


Рисунок 4.12 – Змодельовані тривимірні діаграми випромінювання на частоті 5,15 ГГц

На центральних резонансних частотах 1,74 ГГц, 3,68 ГГц і 5,51 ГГц тривимірна діаграма випромінювання демонструє підсилення -4 , $0,59$ і $-0,04$ дБі відповідно. У діапазонах частот 1,34–2,65 ГГц і 3,26–4,1 ГГц антена має всенаправлене випромінювання. Є деякі бічні пелюстки на високих частотах, але антена все одно зберігає хороші характеристики випромінювання.



Рисунок 4.13 – Змодельована перехресна поляризація в площині Е та Н на частоті 1,74 ГГц



Рисунок 4.14 – Змодельована перехресна поляризація в площині Е та Н на частоті 3,68 ГГц

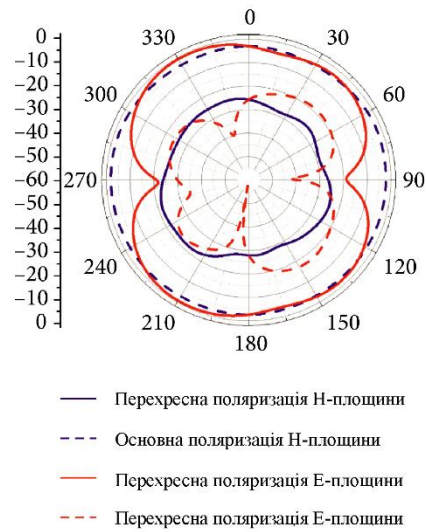


Рисунок 4.15 – Змодельована перехресна поляризація в площині Е та Н на частоті 5,15 ГГц

Антенa розміщується на руці для перевірки значення SAR (Specific Absorption Rate), як показано на рисунку 4.16. Пікове значення SAR становить 0,0352 Вт/кг. Максимальне значення може відповідати міжнародним стандартам.

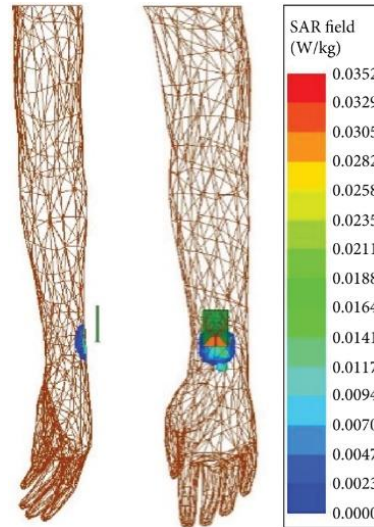


Рисунок 4.16 – Перевірка значення коефіцієнта поглинання (SAR) при прикріпленні до руки

4.3 Висновки до четвертого розділу

У даному розділі представлено характеристики конструкції запропонованої антени. Проведено моделювання та аналіз антени на програмному забезпеченні високочастотного моделювання. Досліджена смуга частот і смуга пропускання запропонованої антени становлять 1,51-2,31 ГГц (64,7%), 3,32-3,8 ГГц (33,9%) і 4,59-5,2 ГГц (13,4%). Відповідно дана антена може охоплювати такі діапазони частот як: LTE Band 40, WiMAX, SCDMA, LTE42/43, Bluetooth, WLAN, GPS.

ВИСНОВКИ

У даній кваліфікаційній роботі запропоновано багатодіапазонну антену, яка нагадує хризантему. Остаточна модель складається з півдуг із поступовим зменшенням золотого перетину. Випробувана смуга частот і смуга пропускання становлять 1,51-2,31 ГГц (64,7%), 3,32-3,8 ГГц (33,9%) і 4,59-5,2 ГГц (13,4%). Антена охоплює кілька комерційних діапазонів частот: LTE Band 40, WiMAX, SCDMA, LTE42/43, Bluetooth, WLAN, GPS тощо.

Випромінювач антени використовує структуру, подібну до хризантеми, у біоніці, щоб досягти багатодіапазонності та мініатюризації в обмеженому просторі шляхом фрактальної ітерації. Через певні похибки в точності виготовлення та діелектричної проникності діелектричної пластини під час виробництва антени, буде певне відхилення між даними тестування та даними моделювання. Тим не менш, фактичні вимірювання та моделювання антени мають хорошу узгодженість, а випромінювання на поверхні H має повний тропізм. Раціональність антени перевірена, і вона підходить для більшості бездротових застосувань.

					КВРТР.2020012.01.01 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		58

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Чумак В. К. Можливість використання технології МІМО для підвищення ефективності передачі даних каналами короткохвильового радіозв'язку [Електронний ресурс] / В. К. Чумак, Д. М. Руденко, О. В. Залужний // Збірник наукових праць [Військового інституту телекомунікацій та інформатизації Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут"]. - 2013. - Вип. 2. - С. 96-102.

2. Зінченко А. О. Модель функціонування багатопозиційної інтегрованої системи зв'язку і радіолокації у режимі МІМО радіолокації [Електронний ресурс] / А. О. Зінченко, В. І. Слюсар // Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони. - 2014. - № 2. - С. 49-55.

3. Восколович О. І. Метод ітеративної оцінки стану каналів зв'язку системи МІМО [Електронний ресурс] / О. І. Восколович, О. В. Кувшинов // Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Військово-спеціальні науки. - 2011. - Вип. 26. - С. 4-10.

4. R. Muller and J. C. T. Hallam, "Knowledge mining for biomimetic smart antenna shapes," *Robotics and Autonomous Systems*, vol. 50, no. 4, pp. 131–145, 2005.

5. Q. X. Huan, "Review of industrial application research of bionics in my country," *Modern Commerce*, vol. 48, no. 9, pp. 49-50, 2019.

6. L. Lan, Y. Fang, D. Q. Ji, D. Oertel, and A. Grunwald, "Progress and Prospect of the application of bionics," *Science and Technology Communication*, vol. 63, no. 22, pp. 149–153, 2019.

7. C. Y. Li, "A meander branch antenna for MIMO antenna decoupling," *Modern Navigation*, vol. 4, no. 12, pp. 382–386, 2015.

8. X. Y. Ran, Z. Yu, and T. Y. Xie, "Design of a dual-band binary branch fractal bionic antenna for mobile terminal," *International Journal of Antennas and Propagation*, vol. 2020, article 6109093, no. 8, pp. 1–9, 2020.

9. J. S. Khinda, M. R. Tripathy, and D. Gambhir, "Multi-Edged wide-band rectangular microstrip fractal antenna array for C- and X-band wireless applications," *Journal of Circuits Systems and Computers*, vol. 26, no. 4, p. 1750068, 2017.

					КВРТР.2020012.01.01 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		59

10. B. Biswas, R. Ghatak, and D. R. Poddar, “A Fern Fractal Leaf Inspired Wideband Antipodal Vivaldi Antenna for Microwave Imaging System,” IEEE Transactions on Antennas and Propagation, vol. 65, no. 11, pp. 6126–6129, 2017.

11. H. M. Zhang, “Conception and design of ginkgo leaf bionic antenna,” Xinjiang Normal University News, vol. 33, no. 1, pp. 33–39, 2012.

12. L. Wang, Y. Jianguo, T. Xie, Y. Zhen, B. Liang, and X. Xingqiu, “The design of a multi-band bionic antenna for mobile terminals,” International Journal of RF and Microwave Computer-Aided Engineering published, vol. 31, no. 6, 2021.

13. J. Z. Sun and X. Chen, “Butterfly bionic ultra-wideband antenna,” Modern Electronic Technology, vol. 53, no. 5, pp. 1004–1006, 2011.

14. W. Jiang, S. X. Gong, T. Hong, and X. Mu, “Printed L-band monopole antenna with a bionical structure,” Microwave and Optical Technology Letters, vol. 53, no. 5, pp. 1004–1006, 2011.

15. T. Xie, J. Yu, Z. Lin, Y. Li, G. Zhang, and Z. Yu, “A Novel Dual-Band “C+O” Structure Antenna,” International Journal of Antennas and Propagation, vol. 2021, Article ID 7974349, 8 pages, 2021.

16. N. T. Thanh, Y. Yang, K. Y. Lee, and K. C. Hwang, “Dual circularly-polarized spidron fractal slot antenna,” Electromagnetics, vol. 37, no. 1, pp. 40–48, 2017.

17. Y. X. Guo, M. Y. W. Chia, and Z. N. Chen, “Miniature built-in multiband antennas for mobile handsets,” IEEE Transactions on Antennas and Propagation, vol. 52, no. 8, pp. 1936–1944, 2004.

18. Z. Yu, Z. Lin, X. Ran, Y. Li, B. Liang, and X. Wang, “A novel” pane structure multiband microstrip antenna for 2G/3G/4G/5G/WLAN/navigation applications,” International Journal of Antennas and Propagation, vol. 2021, article 5567417, 15 pages, 2021.

19. Z. Yu, J. G. Yu, X. Y. Ran, and C. Zhu, “A novel ancient coin-like fractal multiband antenna for wireless applications,” International Journal of Antennas and Propagation, vol. 2017, Article ID 6459286, 10 pages, 2017.

20. R. K. Yadav, J. Kishor, and R. L. Yadava, “A Chaucer microstrip fractal antenna for mobile applications,” Journal of Communications Technology and Electronics, vol. 61, no. 2, pp. 138–144, 2016.

					КВРПТ.2020012.01.01 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		60

21. A. Kumar, V. Sankhla, J. K. Deegwal, and A. Kumar, “An offset CPW-fed triple-band circularly polarized printed antenna for multiband wireless applications,” *AEU-International Journal of Electronics and Communications*, vol. 86, pp. 133–141, 2018.

22. F. Akhtar, S. I. Naqvi, F. Arshad, Y. Amin, and H. Tenhunen, “A flexible and compact semicircular antenna for multiple wireless communication applications,” *Radio Engineering*, vol. 27, no. 3, pp. 671–678, 2018.

23. Жорнет, Дж.М.; Акйилдиз, І.Ф. Плазмонічна наноантена на основі графену для зв'язку в терагерцовому діапазоні в наномережах. *IEEE J. Sel. Areas Commun.* 2013, 31, 685–694.

24. Фейсал А. Надмасивні системи МІМО на терагерцевих діапазонах: перспективи та виклики // Фейсал, А.; Sarieddeen, Н.; Dahrouj, Н.; Аль-Наффурі, Т.Й.; Алуїні, М.С. / arXiv 2019, arXiv:1902.11090.

25. Сивик О. С. Аналіз напрямків розвитку майбутніх телекомунікаційних технологій // *Зв'язок*. - 2021. - № 3.

26. A. A. Althwayb, M. Alibakhshikenari, B. S. Virdee, H. Benetatos, F. Falcone, and E. Limiti, “Antenna on chip (AoC) design using metasurface and SIW technologies for THz wireless applications,” *Electronics*, vol. 10, no. 9, 1120 pages, 2021.

27. B. S. Virdee and S. Salekzamankhani, “High-isolation antenna array using SIW and realized with a graphene layer for sub-terahertz wireless applications,” *Scientific Reports*, vol. 11, Article ID 10218, 2021.

28. M. Alibakhshikenari, B. S. Virdee, M. Khalily et al., “High-gain on-chip antenna design on silicon layer with aperture excitation for terahertz applications,” *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, vol. 19, no. 9, pp. 1576–1580, 2020.

29. S. Zhang, A. A. Glazunov, Z. Ying, and S. He, “Reduction of the envelope correlation coefficient with improved total efficiency for mobile LTE MIMO antenna arrays: mutual scattering mode,” *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 61, no. 6, pp. 3280–3291, 2013.

30. L. Zhao and K.-L. Wu, “A dual-band coupled resonator decoupling network for two coupled antennas,” *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 63, no. 7, pp. 2843–2850, 2015.

					КВРТР.2020012.01.01 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		61

31. A. Zhao and Z. Ren, "Size reduction of self-isolated MIMO antenna system for 5G mobile phone applications," *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, vol. 18, no. 1, pp. 152–156, 2019.

32. C. F. Ding, X. Y. Zhang, C.-D. Xue, and C.-Y.-D. Sim, "Novel pattern-diversity-based decoupling method and its application to m antenna," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 66, no. 10, pp. 4976–4985, 2018.

33. M. S. Khan, A. D. Capobianco, A. Naqvi, B. Ijaz, S. Asif, and B. D. Braaten, "Planar, compact ultra-wideband polarisation diversity antenna array," *IET Microwaves, Antennas & Propagation*, vol. 9, no. 15, pp. 1761–1768, 2015.

34. K.-L. Wong, C.-Y. Tsai, and J.-Y. Lu, "Two asymmetrically mirrored gap-coupled loop antennas as a compact building block for eight-antenna MIMO array in the future smartphone," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 65, no. 4, pp. 1765–1778, 2017.

35. Русек, Ф. Розширення МІМО: можливості та виклики з дуже великими масивами // Русек, Ф.; Перссон, Д.; Лау, Б.К.; Ларссон, Е.Г.; Марцетта, Т.Л.; Едфорс, О.; Туфвессон, Ф. Процес сигналу ІЕЕЕ. Маг. 2013, 30, 40–60.

36. Ларссон, Е.Г. Масивний МІМО для бездротових систем нового покоління // Ларссон, Е.Г.; Туфвессон, Ф.; Едфорс, О.; Т.Л. Марцетта / ІЕЕЕ Commun. Маг. 2014, 186–195.

37. Ван, Х. Зв'язок на міліметрових хвилях: комплексне дослідження // Конг, Л.; Конг, Ф.; Цю, Ф.; Ся, М.; Арнон, С.; Чен, Г. І ІЕЕЕ Commun. Surv. Tutor. 2018, 20, 1616–1653.

38. Чакраборті, Р.; Кумарі, Н.; Мусам, М.; Мукерджі, А. Майбутнє 5G і міліметрових хвиль. У матеріалах Другої міжнародної конференції з електроніки, зв'язку та аерокосмічних технологій 2018 р. (ICESA), Коїмбатор, Індія, 29–31 березня 2018 р.; С. 1679–1683.

39. Сінгх, Р. За межами 5G: роль терагерцової спектру // Лер, В.; Сікер, Д.; Гук, С.М. – Доступно в Інтернеті: <https://ssrn.com/abstract=3426810/>

40. Y. Li, C. Y. D. Sim, Y. Luo, and G. Yang, "Multiband 10 antenna array for sub 6 GHz MIMO applications in 5G smartphones," *IEEE Access*, vol. 6, 2018.

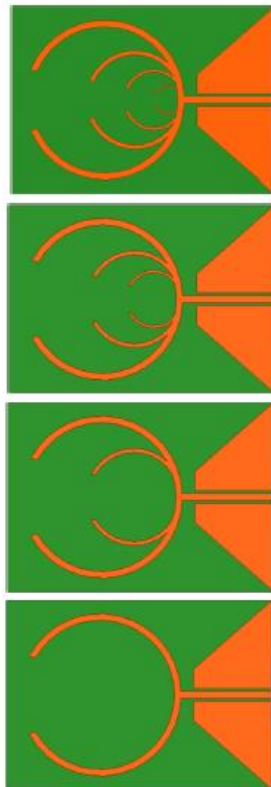
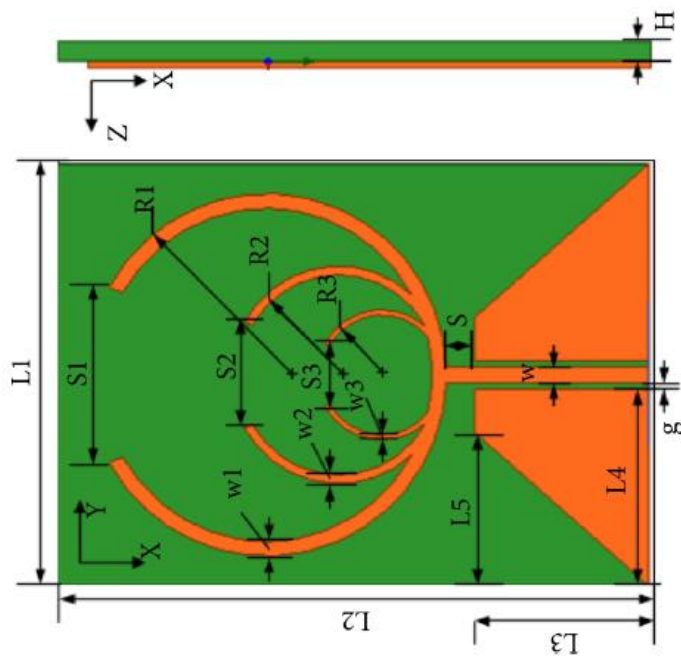
										Арк.
										62
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

ДОДАТКИ

Додаток А

Конструкція багатодіапазонної антени

КвРГР.2020012.01.01 Е8



Таблиця А.1 – Розміри запропонованої антени

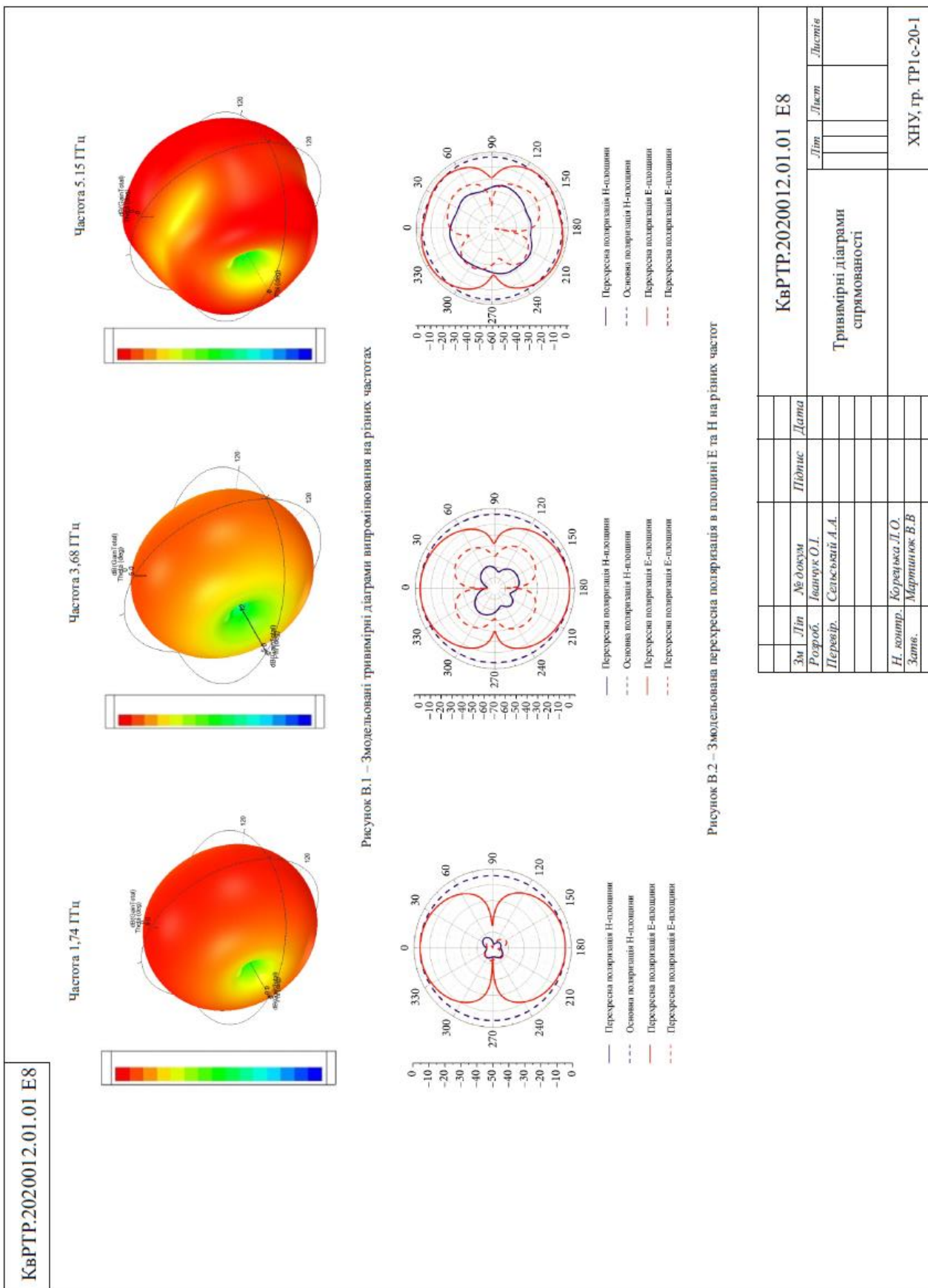
Параметри розмірів	L1	L2	L3	L4	L5	R1	R2	R3	W1
Одиниця (мм)	29	41	12	13.5	9.5	12.5	7.73	4.77	1
Параметри розмірів	W2	W3	S	S1	S2	S3	g	H	W
Одиниця (мм)	0.618	0.382	2	9.54	5.90	3.64	0.5	1.6	1

Зм	Лист	№ докум	Підпис	Дата
Розроб.		Іванчук О.І.		
Перевір.		Сельський А.А.		
Н. констр.		Корчак Л.О.		
Зам.		Мартинюк В.В.		

КвРГР.2020012.01.01 Е8				
Конструкція багатодіапазонної антени				
Лист	Лист	Листів		
			ХНУ, гр. ТР1с-20-1	

Додаток В

Тривимірні діаграми спрямованості



Ім'я користувача:
Кафедра АКІТІТК

ID перевірки:
1015668994

Дата перевірки:
21.06.2023 17:37:10 EEST

Тип перевірки:
Doc vs Internet + Library

Дата звіту:
21.06.2023 17:44:03 EEST

ID користувача:
100005862

Назва документа: Іванчук

Кількість сторінок: 61 Кількість слів: 10883 Кількість символів: 80239 Розмір файлу: 4.01 MB ID файлу: 1015314271

1438 слів позначені як "вилучені" та не враховуються у підрахунку слів

13.5% Схожість

Найбільша схожість: 7.22% з Інтернет-джерелом (<https://er.nau.edu.ua/bitstream/NAU/45082/1/%d0%91%d0%be%d0%b>).

13.5% Джерела з Інтернету

230

Сторінка 63

0.22% Джерела з Бібліотеки

8

Сторінка 65

0.03% Цитат

Цитати

2

Сторінка 66

Не знайдено жодних посилань

0.02% Вилучень

Деякі джерела вилучено автоматично (фільтри вилучення: кількість знайдених слів є меншою за 8 слів та 0%)

Немає вилучених Інтернет-джерел

0.02% Вилученого тексту з Бібліотеки

10

Сторінка 66

Модифікації

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

Замінені символи

12

Anti-Plagiarism v-15.257

Максимальне співпадіння з одним документом 1.0%

Словники перевірки: en_US, ru_RU, ua_UA. Помилки в документах: 14%

ID: 117563 Назва: БКР Багатодіапазонна антена для мобільних терміналів Додано в БД: 2023-06-21 Автора: Олег ІВАНЧУК Керівники: Андрій СЕЛЬСЬКИЙ Консультанти: Опоненти:	Документ		Сумарний збіг по Базі Даних	
	Символи	Лексеми	Символи	Лексеми
	70737	580	678 (1%)	11 (2%)

Джерело плагіату

ID	Опис	Наявність плагіату в документі	
		Символи	Лексеми

МІНІСТЕРСТВО ОВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

РЕЦЕНЗІЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Дипломник: Іванчук Олег Ігорович

Тема роботи: Багатодіапазонна антена для мобільних терміналів

Спеціальність 172 «Телекомунікації та радіотехніка»

Обсяг кваліфікаційної роботи

Кількість листів креслень 3 Кількість сторінок записки 62

1. Короткий зміст роботи та прийнятих рішень в результаті виконаного наукового дослідження Метою кваліфікаційної роботи є моделювання електродинамічних параметрів фрактальної випромінюючої структури на основі мікросмужкового монополя. У даній кваліфікаційній роботі запропоновано багатодіапазонну антену, яка нагадує хризантему. Остаточна модель складається з півдуг із поступовим зменшенням золотого перетину. Випробувана смуга частот і смуга пропускання становлять 1,51-2,31 ГГц (64,7%), 3,32-3,8 ГГц (33,9%) і 4,59-5,2 ГГц (13,4%). Антена охоплює кілька комерційних діапазонів частот: LTE Band 40, WiMAX, SCDMA, LTE42/43, Bluetooth, WLAN, GPS тощо.

2. Висновок про відповідність роботи дипломному завданню Кваліфікаційна робота відповідає виданому завданню

3. Характеристика виконання кожного розділу, ступінь використання останніх досягнень науки та техніки і передових методів роботи: У відповідності до технічного завдання у даній кваліфікаційній роботі подано структурні характеристики хризантем у природі та теорію фрактальної геометрії в структурі антени, а також пропонується нова структурована фрактальна багатоканальна мікросмужова антена зі структурою пелюстки хризантеми. Антена може охоплювати комерційні діапазони частот від другого до четвертого покоління (4G), супутникову навігацію, бездротові локальні мережі та Bluetooth. Випромінювач антени імітує структуру пелюсток хризантеми в природі, а основна форма дуги повторюється багато разів відповідно до певного пропорційного коефіцієнта. Після моделювання та порівняння другого повторення може досягти найкращих характеристик антени, і в антені застосовано метод копланарного хвилеводу для розширення смуги пропускання антени.

4. Позитивні сторони роботи: Результати виконаної роботи показали, що необхідно проводити подальші дослідження в даному напрямку та рухатися шляхом удосконалення багатодіапазонних антен. Напрямок досить перспективний і попит на дані компоненти з кожним днем тільки зростатиме.

5. Негативні сторони роботи: У роботі бажано було б більш детально розглянути методи розробки багатодіапазонних антен. Присутні невеликі граматичні помилки. Однак, ці недоліки не мають принципового значення, суттєво не впливають на кінцевий результат і не знижують загального враження від проведеної роботи.

6. Оцінка графічного оформлення та пояснювальної записки роботи: немає

7. Відгук про роботу в цілому: В цілому кваліфікаційно робота виконано на високому технічному рівні, вона має безперечну актуальність в області сучасних технологій телекомунікацій

8. Інші зауваження: немає

9. Оцінка кваліфікаційної роботи: Кваліфікаційна робота відповідає встановленим вимогам і заслуговує оцінки добре (3.25/D), а її автору Іванчук О.І., присвоєння кваліфікації бакалавра зі спеціальності «Телекомунікації та радіотехніка»

10. Рецензент (прізвище, ім'я, по батькові, місце роботи) Мишан Віктор Володимирович –к.т.н., доцент кафедри ТМІТ

«22» червня 2023р.



підпис

Завідувачу кафедри АКІТтаР
д-ру техн.наук, проф. Мартинюку В.В.

Іванчука О.І.

ПІБ здобувача вищої освіти

ФІТ, 3 курсу, групи ТР1с-20-1

ЗАЯВА

З правилами чинного Положення «Про систему забезпечення академічної доброчесності у Хмельницькому національному університеті» від 01.07.2022, згідно з яким виявлення плагіату є підставою для відмови в допуску кваліфікаційної роботи до захисту та застосування заходів дисциплінарної та академічної відповідальності, ознайомлений (а). Про використання програмно-технічних засобів для перевірки кваліфікаційних робіт здобувачів вищої освіти на наявність плагіату ознайомлений(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.

29 травня 2023 р. _____
дата


_____ підпис

РІШЕННЯ ЕКСПЕРНОЇ КОМІСІЇ
КАФЕДРИ АВТОМАТИЗАЦІЇ, КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ТА
РОБОТОТЕХНІКИ

ПРО ДОПУСК КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ ДО ЗАХИСТУ

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

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

Назва: Багатодіапазонна антена для мобільних терміналів

Автор: Іванчук Олег Ігорович

Освітня програма: Телекомунікації та інформаційно-комунікаційні технології

Науковий керівник: к.ф.м.н., доцент Сельський Андрій Анатолійович

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.	Відповідає
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	
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:

Запозичення, виявлені в роботі, є законними і не є плагіатом, оскільки:

1) у тексті кваліфікаційної роботи системами перевірки на плагіат виявлено схожість з деякими документами в частині загальноживаних обов'язкових словосполучень у стандартних бланках (титулка, відомість документів), у структурі змісту, назвах розділів/підрозділів тощо, у назвах публікацій у переліку джерел посилання;

2) усі запозичення є фрагментарними або мають належним чином оформленні посилання;

3) виявлені модифікації тексту не впливають на відсоток схожості.

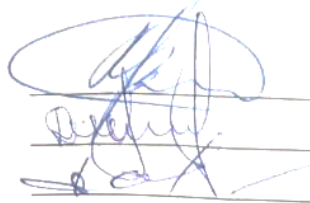
Сумарний обсяг всіх запозичень, визначений системою виявлення збігів ідентичності/схожості, складає 13.5% і адресується до 16 джерел, що, з урахуванням наведених обґрунтувань, відповідає характеру теми і свідчить на користь кваліфікаційної роботи.

Л.О. С. С. С.

Завідувач кафедри

Гарант освітньої програми

Керівник кваліфікаційної роботи



Валерій МАРТИНЮК

Денис МАКАРИШКІН

Андрій СЕЛЬСЬКИЙ