

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

Бакалавр

Освітній рівень

Реконфігурована антена для ефективного збору енергії

Назва теми

КвРТР.2021007.01.07 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 TR1e-21-1


Підпис

Олександр ПИЛИПЧУК
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Керівник:


Підпис, дата

Віталій НОРИК
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Нормоконтролер:


Підпис, дата

Людмила КОРЕЦЬКА
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

До захисту допускаю:

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


Підпис

Валерій МАРТИНЮК
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

« 11 » червня 2024р.


Хмельницький, 2024

Хмельницький національний університет

Факультет інформаційних технологій
Кафедра 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 кафедри АКТР

 Валерій МАРТИНЮК


« 10 » січня 2024 р

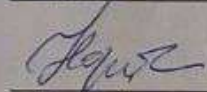
**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

ПИЛИПЧУКУ Олександр Валерійовичу

Прізвище, ім'я по батькові здобувача

- 1 Тема роботи: Реконфігурована антена для ефективного збору енергії
Керівник роботи: Норик Віталій Григорович, асистент
Затверджено наказом по університету від «15» лютого 2024р. №8
- 2 Строк подання здобувачем роботи на кафедру 01 червня 2024 року
- 3 Вихідні дані до роботи: схема технологічного процесу, технічне завдання
- 4 Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):
огляд технології збору радіочастотної енергії та телекомунікаційних систем; теоретичні основи, принципи та перспективи використання реконфігурованих антен; конструкція та живлення реконфігурованої антени для ефективного збору енергії; результати експериментального дослідження реконфігурованої антени.
- 5 Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень):
1. 3D конфігурація складання запропонованої антени. 2. Модель еквівалентної схеми запропонованої конструкції антени. 3. Параметричні дослідження запропонованої реконфігурованої антени

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		
Антиплагіат	ФЕДУЛА Микола к.т.н., доцент		

7 Дата видачі завдання 10 січня 2024 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ п/п	Найменування виду роботи	Форма звітності, термін виконання	Відмітка наукового керівника
1.	Розробка завдання на кваліфікаційну роботу	10.01.2024р.	виконано
2.	Складання індивідуального плану на кваліфікаційну роботу	15.01.2024р.	виконано
3.	Написання першого (теоретичного) розділу	10.02.2024р.	виконано
4.	Написання другого розділу	26.03.2024р.	виконано
5.	Написання третього розділу	15.04.2024р.	виконано
6.	Написання четвертого розділу	30.04.2024р.	виконано
7.	Написання вступу і загальних висновків та пропозицій до кваліфікаційної роботи	10.05.2024р.	виконано
8.	Оформлення кваліфікаційної роботи	15.05.2024р.	виконано
9.	Рецензування кваліфікаційної роботи	20.05.2024р.	виконано
10.	Презентаційні матеріали за результатами виконання кваліфікаційної роботи	28.05.2024р.	виконано

Студент

(підпис, дата)

Олександр ПИЛИП

Науковий керівник

(підпис, дата)

Віталій НОРИК

АНОТАЦІЯ

Тема кваліфікаційної роботи: «Реконфігурована антена для ефективного збору енергії»

Автор роботи: Пилипчук Олександр Валерійович.

Керівник роботи: Норик Віталій Григорович, асистент.

Пояснювальна записка: 70 сторінок, 23 рисунка, 1 таблиця, 40 джерел.

Графічна частина: технічне креслення.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ДИПОЛЬНА АНТЕНА, ЗБІР ЕНЕРГІЇ, РЕКОНФІГУРОВАНА АНТЕНА, ВЧ КОМУТАЦІЙНА МАТРИЦЯ, ДІАГРАМА СПРЯМОВАНОСТІ, РАДІОЧАСТОТНЕ ПЕРЕМІКАННЯ, ВСЕНАПРАВЛЕНИЙ РЕЖИМ, ШИРОКОСМУГОВИЙ ДИПОЛЬ

Об'єктом дослідження є антена з реконфігурованою діаграмою спрямованості, яка складається з восьми елементів.

Метою кваліфікаційної роботи є розробка та дослідження антени з реконфігурованою діаграмою спрямованості для ефективного збору енергії з різних бездротових джерел.

У даній кваліфікаційній роботі досліджується восьмиелементна антена з реконфігурованою діаграмою спрямованості для збору енергії з бездротових джерел. Антена керується матрицею радіочастотного перемикачання, що дозволяє охоплювати кути від 0 до 360 градусів із кроком 45 градусів. Вона працює в діапазоні частот 4,17-4,5 ГГц із смугою пропускання 7,6%. Кожен з восьми диполів має однакове збудження і симетруючий елемент. Антена може працювати у всенаправленому режимі або керуватися для точного кута обертання. Результати досліджень показують високу узгодженість між чисельними та експериментальними даними щодо коефіцієнта відбиття та характеристик випромінювання.

01.06.2024 р.



ЗМІСТ

	С.
ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ	4
ВСТУП	5
1 ОГЛЯД ТЕХНОЛОГІЇ ЗБОРУ РАДІОЧАСТОТНОЇ ЕНЕРГІЇ ТА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ СИСТЕМ	8
1.1 Сучасні технології збору енергії	13
1.2 Антени з реконфігурованою діаграмою спрямованості	17
1.3 Технічні рішення для керування антенами	19
1.4 Висновок до першого розділу	22
2 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ, ПРИНЦИПИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ РЕКОНФІГУРОВАНИХ АНТЕН	24
2.1 Загальні методи реконфігурації	26
2.2 Електронні методи реконфігурації	27
2.3 Неелектронні методи реконфігурації	28
2.4 Матриця радіочастотного перемикавання: структура та функціонування ...	31
2.4 Реконфігуровані топології антен	32
2.5.1 Друковані монопольні антени	33
2.5.2 Друковані дипольні антени	35
2.5.3 Друковані щілинні антени	36
2.5.4 Метаповерхневі антени	37
2.5.5 Патч-антени	38
2.6 Висновок до другого розділу	40
3 КОНСТРУКЦІЯ ТА ЖИВЛЕННЯ РЕКОНФІГУРОВАНОЇ АНТЕНИ ДЛЯ ЕФЕКТИВНОГО ЗБОРУ ЕНЕРГІЇ	41
3.1 Переваги та перспективи реконфігурованих антен	41

КвРТР.2021007.01.07 ПЗ								
№	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Реконфігурована антена для ефективного збору енергії	Літ.	Арк.	Акрушів
		Палачук О.В.		11.06.21			2	71
		Нарок В.Г.		11.06.21				
		Корсенька Л.О.		11.06.21				
		Мартинюк В.В.		11.06.21	Пояснювальна записка	ХНУ, гр. ТР1с-21-1		

3.2	Конфігурація збору енергії з різних радіочастотних джерел	41
3.3	Конструкція реконфігурованої восьмидипольної антени.....	43
3.4	Висновок до третього розділу.....	49
4	РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ РЕКОНФІГУРОВАНОЇ АНТЕНИ.....	51
4.1	Результати коефіцієнта відбиття	53
4.2	Радіаційні характеристики	60
4.3	Висновок до четвертого розділу.....	63
	ВИСНОВКИ.....	65
	ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ.....	67
	ДОДАТОК А 3D конфігурація складання запропонованої антени	71
	ДОДАТОК Б Модель еквівалентної схеми запропонованої конструкції антени.....	72
	ДОДАТОК В Параметричні дослідження запропонованої реконфігурованої антени	73

					КВРТР.2021007.01.07 ПЗ	Арк.
						3
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

DSP	– Digital Signal Processing (Цифрова обробка сигналів)
IoT	– Internet-of-things
LPED	– вбудовані пристрої малої потужності
RF	– Ratio frequency
RF-EH	– радіочастотна енергія для бездротового збору енергії
S2P	– Scattering Parameters (Розсіюючі параметри)
SW	– Перемикач
WSN	– Бездротові сенсорні мережі
РЧ	– радіочастотна енергія

					КВРТР.2021007.01.07 ПЗ	Арк.
						4
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

У сучасному світі, де бездротові технології стали необхідною складовою повсякденного життя, питання ефективного збору енергії з різних бездротових джерел стає все більш актуальним. Надзвичайно важливо мати ефективні методи, які дозволять максимально використовувати потенціал цих джерел. У цьому контексті виникає потреба в пошуку нових технологій, що забезпечать якісний та ефективний збір енергії.

Одним із перспективних напрямків у цій сфері є використання антен з реконфігурованою діаграмою спрямованості. Ці антени мають потенціал не лише покращувати якість прийому сигналів, але й оптимізувати процес збору енергії, що стає критично важливим для розвитку бездротових систем та технологій Інтернету речей (IoT).

Ідея реконфігурованої діаграми спрямованості дозволяє адаптувати антену до змінних умов навколишнього середовища та потреб користувачів. Це дозволяє антенам працювати в різних режимах, включаючи напрямлені та всенаправлені, та забезпечувати стабільний та надійний збір енергії в широкому діапазоні частот.

Дослідження антен з реконфігурованою діаграмою спрямованості має велике значення для багатьох галузей, включаючи телекомунікації, радіолокацію, космічні дослідження та системи бездротового зв'язку. Використання таких антен дозволяє значно підвищити ефективність збору енергії з навколишнього середовища, що є критично важливим для розвитку автономних бездротових систем, зокрема пристроїв IoT, які потребують постійного та надійного джерела живлення.

Розробка антен з можливістю електронного управління діаграмою спрямованості дозволяє покращити якість прийому сигналів, забезпечуючи стабільність і надійність роботи бездротових систем в умовах мінливого навколишнього середовища. Крім того, така технологія сприяє зменшенню втрат

					КвРТР.2021007.01.07 ПЗ	Арк.
						5
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

енергії та підвищенню ефективності роботи антенних систем, що має вирішальне значення для економічності та екологічності бездротових мереж.

Однією з ключових проблем, яку потрібно вирішувати в цьому контексті, є забезпечення оптимальної ефективності збору енергії з різних бездротових джерел. Це включає в себе розробку антен з реконфігурованою діаграмою спрямованості, які могли би ефективно адаптуватися до змінних умов навколишнього середовища та потреб користувачів. Такі антени повинні бути здатні працювати в різних режимах, включаючи напрямлені та всенаправлені, та забезпечувати стабільний та надійний збір енергії в широкому діапазоні частот.

Додатковою важливою проблемою є розробка ефективних методів управління антенами з реконфігурованою діаграмою спрямованості. Це включає в себе розробку алгоритмів та протоколів, які б дозволяли адаптувати діаграму спрямованості в реальному часі з урахуванням змінних умов зовнішнього середовища та потреб бездротових мереж.

Також важливою проблемою є підвищення ефективності та надійності антен з реконфігурованою діаграмою спрямованості шляхом використання нових матеріалів та технологій виготовлення. Це допоможе знизити втрати енергії та підвищити стійкість антен до зовнішніх впливів.

Однією з ключових переваг використання антен з реконфігурованою діаграмою спрямованості є їхня здатність адаптуватися до змінних умов навколишнього середовища та потреб користувачів. Це означає, що такі антени можуть ефективно працювати в різних режимах, включаючи напрямлені та всенаправлені, забезпечуючи оптимальний збір енергії в широкому діапазоні частот.

Крім того, антени з реконфігурованою діаграмою спрямованості дозволяють оптимізувати процес збору енергії, що стає надзвичайно важливим у контексті розвитку бездротових систем та технологій Інтернету речей (IoT). Їхня можливість працювати в різних режимах дозволяє адаптувати їх до конкретних

					КвРТР.2021007.01.07 ПЗ	Арк.
						6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

вимог та умов експлуатації, що забезпечує ефективність та надійність роботи систем.

Метою даної кваліфікаційної роботи є дослідження та розробка антени з реконфігурованою діаграмою спрямованості для оптимізації процесу збору енергії з різних бездротових джерел. Крім того, робота спрямована на вдосконалення методів управління антеною та вивчення її характеристик з метою покращення ефективності та надійності бездротових систем.

Результати цієї кваліфікаційної роботи демонструють успішну розробку та ефективність антени з реконфігурованою діаграмою спрямованості для збору енергії з різних бездротових джерел. Дослідження показали, що ця антена здатна ефективно адаптуватися до змінних умов навколишнього середовища та потреб користувачів, забезпечуючи стабільний та надійний збір енергії в широкому діапазоні частот.

Крім того, результати експериментальних досліджень підтверджують високу узгодженість між чисельними та експериментальними даними щодо коефіцієнта відбиття та характеристик випромінювання запропонованої реконфігурованої антени. Це свідчить про успішність та перспективність використання таких антен у бездротових системах та технологіях.

Отримані результати кваліфікаційної роботи можуть бути використані для розробки та вдосконалення бездротових систем та технологій, що потребують ефективного збору енергії з різних джерел. Зокрема, антени з реконфігурованою діаграмою спрямованості можуть бути застосовані у таких областях: Інтернет речей, бездротові мережі зв'язку, енергетичні системи, автономні та дистанційно керовані пристрої. Отже, використання антен з реконфігурованою діаграмою спрямованості відкриває нові можливості для розвитку бездротових технологій, сприяючи їхньому подальшому зростанню та вдосконаленню.

					КВРТР.2021007.01.07 ПЗ	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1 ОГЛЯД ТЕХНОЛОГІЇ ЗБОРУ РАДІОЧАСТОТНОЇ ЕНЕРГІЇ ТА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ СИСТЕМ

Технологія збору радіочастотної енергії значно підвищує зручність завдяки використанню навколишніх радіочастотних сигналів. Це не тільки сприяє економії коштів, але й усуває потребу в періодичному обслуговуванні пристроїв. Попри доступність різноманітних екологічних джерел енергії, їх потенціал часто залишається невикористаним. Однак, радіочастотна (РЧ) енергія виділяється як перспективне альтернативне джерело живлення, яке може замінити батареї в сенсорах. Ця технологія знаходить широке застосування в Інтернеті речей (IoT) та бездротових сенсорних мережах (WSN), що робить її ідеальною для різноманітних програм .

З ростом попиту на вбудовані пристрої малої потужності (LPED) виникає необхідність досліджень, спрямованих на покращення енергетичних вимог для конкретних сценаріїв. Використання багатофункціональних електронних компонентів у цих середовищах створює додаткові виклики . У таких умовах важливо забезпечити безбатарейну роботу через обмежений термін служби батарей. Одним із основних обмежень є також проблема утилізації відходів акумуляторів, які викидаються на звалища. Це стає особливо критичним з огляду на те, що велика кількість вбудованих пристроїв використовується у повсякденному житті для різних завдань, де батарея є єдиним джерелом енергії.

Радіочастотна енергія пропонує екологічно чисте та економічно ефективно рішення для живлення таких пристроїв. Вона забезпечує стабільне джерело енергії, яке не вимагає регулярної заміни батарей, що знижує експлуатаційні витрати та мінімізує екологічний вплив. Інтеграція РЧ енергії в системи IoT та WSN може суттєво змінити підхід до живлення вбудованих пристроїв, забезпечуючи більш надійні та тривалі рішення для різних технологічних потреб.

					КвРТР.2021007.01.07 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

Отже, використання радіочастотної енергії для бездротового збору енергії (RF-EH) виявилось важливим рішенням (як показано на рисунку 1.1 і в таблиці 1.1), яке не лише економить витрати, але й усуває необхідність у періодичному обслуговуванні. Це робить пристрої більш автономними та надійними, оскільки вони можуть постійно живитися з навколишнього середовища. За допомогою отримання енергії від радіочастотних сигналів, ця технологія забезпечує постійне живлення вбудованим пристроям, що істотно підвищує їхню продуктивність та тривалість роботи. Використання RF-EH також сприяє зменшенню ризику втрати даних та забезпечує більш безпечне та ефективне функціонування пристроїв у вимогливих умовах [1].

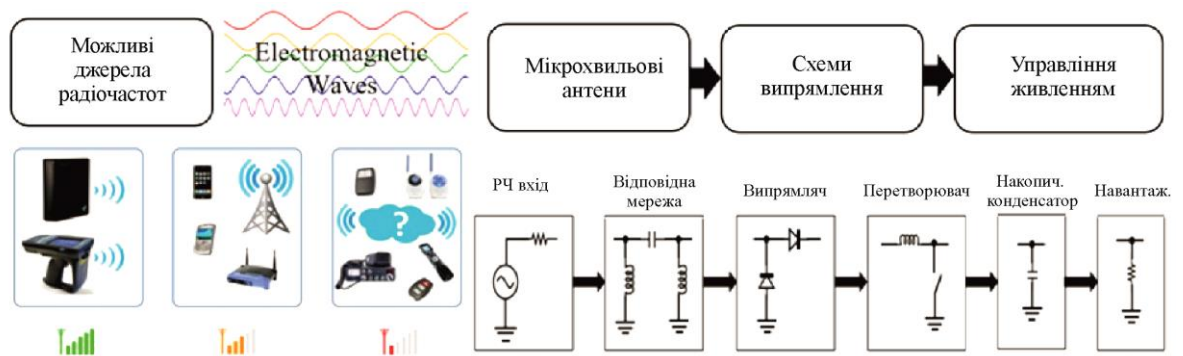


Рисунок 1.1 – Складові елементи системи збору радіочастотної енергії

Серед широкого розмаїття доступних антенних систем кругова поляризація здобула значну популярність завдяки своїй здатності покращувати продуктивність бездротових програм, особливо в контексті системної інтеграції. Висока ефективність і низькопрофільні характеристики антен із круговою поляризацією роблять їх привабливими для сучасних радіочастотних інтерфейсів. Незважаючи на значний прогрес у цій галузі, моделювання та розробка таких антен залишається складним завданням, яке потребує подальших досліджень для вирішення існуючих проблем.

Таблиця 1.1 – Список комерційно доступних джерел радіочастотної енергії

Джерела	Частота роботи	Рівні потужності випромінювання	Утилізація
FM вежа	88–108 МГц	від –36 дБм до +36 дБм	WPT
Телевежа	180–220 МГц	від –36 дБм до +36 дБм	WPT
Вежа AM	530–1620 МГц	від –36 дБм до +36 дБм	WPT
Діапазон CDMA	824–890 МГц	від –36 дБм до +36 дБм	Збирання енергії
Діапазон GSM 900 (UL)	890–915 МГц	±(5 дБм до 39 дБм)	Збирання енергії
Діапазон GSM 900 (DL)	935–960 МГц	±(5 дБм до 39 дБм)	Збирання енергії
GPS	1575 ± 10 МГц	—	—
Діапазон GSM 1800 (UL)	1710–1780 МГц	±(2 дБм до 36 дБм)	Збирання енергії
Діапазон GSM 1800 (DL)	1810–1900 МГц	±(2 дБм до 36 дБм)	Збирання енергії
3G (Band-I)	1920–1980 МГц	±(2 дБм до 33 дБм)	Збирання енергії
3G (Band-II)	2110–2170 МГц	±(2 дБм до 33 дБм)	Збирання енергії
4G (LTE/LTE-A)	2300–2400 МГц	від –36 дБм до +36 дБм	Збирання енергії
Діапазон Wi-Fi	2400 МГц	від –36 дБм до +36 дБм	Збирання енергії
Смуга Bluetooth	2450 МГц	від –36 дБм до +36 дБм	Збирання енергії
Діапазон ISM	2400–2484 МГц	від –36 дБм до +36 дБм	Збирання енергії
Діапазон ISM	2400 МГц	від –36 дБм до +36 дБм	Збирання енергії
WiMAX	3300–3700 МГц	від –30 дБм до +30 дБм	Збирання енергії
Діапазон ISM	3600 МГц	від –30 дБм до +30 дБм	Збирання енергії
Діапазон ISM	5000 МГц	від –41 дБм до +41 дБм	Збирання енергії
Діапазон ISM	5200 МГц	від –41 дБм до +41 дБм	Збирання енергії
IEEE 802.11	5500 МГц	від –41 дБм до +41 дБм	Збирання енергії
IEEE 802.11	5800 МГц	від –41 дБм до +41 дБм	Збирання енергії
WLAN (НИЖЧИЙ)	5150–5725 МГц	від –41 дБм до +41 дБм	Збирання енергії
WLAN (ВЕРХНИЙ)	5725–5875 МГц	від –41 дБм до +41 дБм	Збирання енергії

Однією з основних технічних задач є досягнення оптимального балансу між ефективністю, розміром і складністю конструкції. Існує нагальна потреба у вдосконаленні конструкції антен для досягнення високих показників у різних сферах застосування, таких як Інтернет речей (IoT), бездротові сенсорні мережі (WSN) та інші сучасні бездротові системи. Крім того, важливою є розробка нових рішень для подолання протилежних технічних вимог, таких як максимізація пропускнуої здатності та мінімізація енергоспоживання.

Таким чином, навіть при наявності значних досягнень у розгортанні радіочастотних інтерфейсів, існує потенціал для подальшого вдосконалення. Основні напрямки, які потребують уваги, включають підвищення ефективності, зменшення розмірів і ваги, а також зниження вартості виробництва. Оскільки нові технології та матеріали продовжують розвиватися, вони можуть запропонувати інноваційні підходи до проектування антен, що дозволить вирішити існуючі проблеми та підвищити загальну ефективність і надійність бездротових систем.

Одним із ключових аспектів, який впливає на обмежене використання друкованих монопольних антен у частотних діапазонах нижче 6 ГГц, є їхня обмежена здатність до досягнення належних характеристик кругової поляризації. Наприклад, ширина смуги частот 3 дБ по осі та підсилення кругової поляризації можуть бути недостатніми для задоволення вимог додаткових застосувань у цих діапазонах [2]. Це створює виклик для розробників у покращенні технологій, які дозволять досягнути більш широкого спектру характеристик для друкованих монопольних антен у частотних діапазонах 1–6 ГГц. Водночас, розвиток ефективних радіочастотних інтерфейсів стає невід'ємною складовою успішної реалізації цих технологій і застосувань. Такі інтерфейси відіграють ключову роль у забезпеченні ефективного збору та

					КвРТР.2021007.01.07 ПЗ	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

обробки радіочастотної енергії, що є важливим для використання друкованими монопольними антенами у широкому спектрі застосувань, включаючи низькочастотні діапазони.

Разом із всебічним оглядом, запропоновано можливе рішення, яке мінімізує складність системи та усуває обмеження у проектуванні реконфігурованих антен [3]. Основні моменти включають:

- огляд питань, пов'язаних зі збором радіочастотної енергії, аналіз можливостей використання навколишніх радіочастотних сигналів та вирішення проблем, пов'язаних зі зростанням присутності IoT, WSN та RFID;

- пропозиція та дослідження реконфігурованої антени з круговою поляризацією на основі метаповерхневого рефлектора для сприяння практичній реалізації ефективних систем збору радіочастотної енергії;

- оцінка можливостей збору радіочастотної енергії шляхом інтеграції з випрямляючою схемою на основі діляника напруги Грейнахера. Теоретичні аналізи включають параметри, такі як ефективність перетворення потужності (η) та вихідна напруга постійного струму, для оцінки продуктивності системи;

- представлення теоретичних основ для демонстрації кругової поляризації та підкреслення важливості механізму зміщення постійного струму для реконфігурації поляризації, зокрема динамічного перемикавання з лінійної поляризації (LP) на кругову (CP).

Перед тим, як заглиблюватися в аспекти конструкції ефективної системи RF-EH, слід провести єдине розуміння та дослідження передових радіочастотних інтерфейсів, зокрема звернувши увагу на використання діодів, складність кіл зміщення постійного струму та досягнення поляризаційної реконфігурованості. Це важливо, оскільки компроміси, пов'язані з використанням діодів та складністю схеми зміщення постійного струму, дають загальне уявлення про продуктивність щодо досягнення реконфігурації поляризації.

					КвРТР.2021007.01.07 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

1.1 Сучасні технології збору енергії

Сучасні технології збору енергії зосереджені на використанні відновлюваних джерел енергії та вдосконаленні ефективності традиційних методів, що є ключовим елементом у боротьбі з глобальними викликами, такими як зміна клімату та виснаження природних ресурсів. Від сонячних панелей, що перетворюють світло на електрику, до вітрових турбін, що використовують кінетичну енергію вітру, та біогазових установок, які перетворюють органічні відходи в паливо, ці технології спрямовані на забезпечення сталого енергетичного майбутнього. Геотермальні станції, які використовують тепло з надр Землі, і гідроелектростанції, що використовують енергію води, також відіграють важливу роль у цьому процесі. Окрім основних відновлюваних джерел, новітні методи, такі як термопари і п'єзоелектричні матеріали, дозволяють збирати енергію з навколишнього середовища, відкриваючи нові горизонти в енергетичній індустрії. Завдяки постійному розвитку та інтеграції цих технологій, людство має можливість створити стійку та ефективну енергетичну систему, яка зможе задовольнити зростаючі потреби майбутніх поколінь.

Основними напрямками технології збору енергії є [4]:

1. Сонячна енергія:

- Фотовольтаїчні панелі використовують напівпровідникові матеріали для перетворення сонячного світла в електрику. Основний принцип роботи базується на фотоефекті, коли фотони світла вибивають електрони з атомів, створюючи електричний струм. Фотовольтаїчні системи включають:

- Монокристалічні кремнієві панелі виготовлені з одного кристала кремнію, мають високий коефіцієнт корисної дії (ККД) та тривалий термін служби, але дорожчі у виробництві.

						КвРТР.2021007.01.07 ПЗ	Арк.
							13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

- Полікристалічні кремнієві панелі – виготовлені з багатьох кристалів кремнію, менш ефективні, але дешевші у виробництві.

- Тонкоплівкові панелі – виготовлені з тонких шарів матеріалів, таких як кадмій-телурид або аморфний кремній. Вони легші та гнучкіші, але мають нижчий ККД.

- Сонячні термальні колектори – використовуються для нагрівання рідин або повітря, що потім можуть використовуватися для генерації електрики або для опалення. Основні види включають:

- Плоскі колектори – виготовлені з абсорбційної пластини, покритої скляним або пластиковим покриттям для зменшення теплових втрат.

- Вакуумні трубчасті колектори – складаються з ряду вакуумних трубок, які мінімізують теплові втрати і забезпечують високу ефективність навіть у холодних умовах.

- Концентруючі сонячні колектори – використовують дзеркала або лінзи для фокусування сонячного світла на невеликій площі, що дозволяє досягти дуже високих температур.

2. Вітрова енергія:

- Наземні вітрові турбіни – встановлюються на суші і використовують кінетичну енергію вітру для обертання роторів і генерації електрики. Вони складаються з кількох основних частин:

- Турбінні лопаті – перетворюють енергію вітру в механічну енергію.

- Генератор – перетворює механічну енергію обертання в електричну.

- Башта – підтримує турбіну на висоті, де вітри зазвичай сильніші.

- Офшорні вітрові турбіни – встановлюються в морі, де вітри часто сильніші і стабільніші, що підвищує ефективність. Вони мають схожі компоненти з наземними турбінами, але розташовані на платформах або закріплені на морському дні.

3. Гідроенергія:

					КвРТР.2021007.01.07 ПЗ	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Гідроелектростанції – використовують потенційну енергію води, що зберігається у водосховищах, для обертання турбін і генерації електрики.

Основні типи включають:

- Дамбові гідроелектростанції – використовують водосховища, створені дамбами, для накопичення води.

- Гравітаційні гідроелектростанції – використовують природні водоспади або швидкі течії річок.

- Приливні та хвильові електростанції – використовують енергію морських припливів і хвиль для генерації електрики. Основні типи включають: приливні турбіни: Встановлюються в місцях з сильними припливними течіями і працюють подібно до вітрових турбін. Хвильові установки використовують рух хвиль для приведення в дію механічних систем, які генерують електрику.

4. Біоенергія:

- Біогазові установки – перетворюють органічні відходи (гній, сільськогосподарські відходи, харчові відходи) в метан шляхом анаеробного бродіння. Метан може використовуватися як паливо для генерації електрики або тепла.

- Біомаса – спалювання органічних матеріалів (деревина, сільськогосподарські залишки) для генерації тепла та електрики. Біомаса може використовуватися у вигляді паливних брикетів, пелет або безпосередньо у вигляді відходів.

5. Геотермальна енергія – використовують тепло з надр Землі для генерації електрики і тепла. Основні типи включають:

- Сухі парові станції – використовують природний пар з-під землі для обертання турбін.

- Флеш-парові станції – перетворюють гарячу воду під високим тиском у пар для генерації електрики.

					КвРТР.2021007.01.07 ПЗ	Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Бінарні станції – використовують тепло з гарячої води для випаровування робочого рідини з низькою температурою кипіння, яка потім обертає турбіну.

6. Технології збору енергії з навколишнього середовища

- Термопари – використовують різницю температур між двома спаяними провідниками для генерації електрики. Вони часто використовуються в малопотужних додатках, таких як живлення датчиків або заряджання акумуляторів у віддалених місцях.

- П'єзоелектричні матеріали – генерують електрику від механічних деформацій або вібрацій. Вони використовуються в різних додатках, від живлення датчиків до збору енергії від руху людей або машин.

Отже, сучасні технології збору енергії демонструють величезний потенціал у забезпеченні стійкого енергетичного майбутнього для нашої планети. Від сонячної та вітрової енергії до геотермальних і біоенергетичних рішень, кожен із цих методів робить важливий внесок у зниження залежності від викопних палив та зменшення негативного впливу на навколишнє середовище. Інноваційні підходи, такі як використання термопар і п'єзоелектричних матеріалів, розширюють можливості збору енергії, забезпечуючи додаткові джерела електрики у віддалених або важкодоступних місцях. Разом ці технології утворюють комплексну систему, яка здатна адаптуватися до різноманітних умов і потреб сучасного світу. Впровадження і подальший розвиток цих рішень є критично важливими для досягнення глобальних цілей у сфері сталого розвитку та енергетичної безпеки, що сприятиме створенню більш чистого, безпечного та економічно стабільного майбутнього для всіх.

1.2 Антени з реконфігурованою діаграмою спрямованості

Антени з реконфігурованою діаграмою спрямованості здатні змінювати свої радіохвильові характеристики, такі як напрямок випромінювання, частотний

					КвРТР.2021007.01.07 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

діапазон і поляризацію, у відповідь на змінні умови [5]. Це дозволяє оптимізувати зв'язок та ефективно використовувати радіочастотний спектр. Основні типи таких антен включають:

1. Фазовані антенні решітки (Phased Array Antennas) складаються з множини окремих антенних елементів, кожен з яких може керуватися незалежно для створення потрібної діаграми спрямованості шляхом регулювання фаз сигналу на кожному елементі. Основні характеристики та застосування включають:

- Регулювання фаз сигналу – зміна фаз сигналів на окремих елементах дозволяє спрямовувати головний промінь антени в бажаному напрямку без фізичного переміщення антени.

- Швидка реконфігурація – здатні швидко змінювати напрямок випромінювання, що є особливо корисним для відстеження рухомих об'єктів.

- Застосування – використовуються в радіолокації для відстеження цілей, супутниковому зв'язку для забезпечення зв'язку з рухомими об'єктами, таких як літаки і кораблі, та безпілотних літальних апаратах для покращення навігації та зв'язку.

2. Електронно-керовані антени – використовують різноманітні електронні компоненти, такі як перемикачі, варикапи, MEMS-перемикачі, для зміни характеристик антени. Це дозволяє налаштовувати антену відповідно до конкретних вимог та умов. Основні характеристики та застосування включають:

- Електронне керування – застосування електронних компонентів дозволяє швидко змінювати частотний діапазон, діаграму спрямованості та інші параметри антени.

- Застосування в мережах 5G – використовуються для забезпечення високошвидкісного мобільного зв'язку, оскільки можуть швидко змінювати параметри для оптимізації роботи в умовах високої щільності користувачів.

					КвРТР.2021007.01.07 ПЗ	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Мобільний зв'язок – забезпечують стабільний зв'язок у мобільних пристроях за рахунок динамічного налаштування антенних характеристик.

3. Механічно-реконфігуровані антени – використовують механічні елементи для зміни форми або розташування антенних елементів, що дозволяє налаштувати діаграму спрямованості і частотний діапазон. Основні характеристики та застосування включають:

- Механічна зміна – використання серводвигунів, актуаторів та інших механічних пристроїв для переміщення або зміни форми антенних елементів.

- Гнучкість налаштування – можливість значних змін у характеристиках антени, що дозволяє пристосовуватися до різноманітних умов і вимог.

- Застосування в мобільних пристроях – використовуються для забезпечення оптимальної якості зв'язку, особливо у змінних умовах навколишнього середовища.

- Адаптивні системи зв'язку – використовуються в системах зв'язку, які потребують динамічного налаштування для забезпечення стабільного та надійного з'єднання.

4. Матеріально-реконфігуровані антени – використовують матеріали зі змінними властивостями, такі як рідкі кристали, метаматеріали або фазозмінні матеріали, для динамічної зміни характеристик антени. Основні характеристики та застосування включають:

- Матеріали зі змінними властивостями – використання матеріалів, які можуть змінювати свої електромагнітні властивості під дією зовнішніх факторів (температури, електричного поля тощо).

- Динамічна зміна частотного діапазону – можливість швидкої адаптації до різних частотних діапазонів і умов експлуатації.

					КвРТР.2021007.01.07 ПЗ	Арк.
						18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Застосування в телекомунікаціях – використовуються в сучасних телекомунікаційних системах для покращення ефективності та адаптивності зв'язку.

- Інноваційні рішення – забезпечують нові можливості для розвитку антенних технологій, включаючи поліпшення продуктивності та зниження ваги і розмірів антен.

Завдяки своїй здатності до динамічного налаштування, антени з реконфігурованою діаграмою спрямованості знаходять широке застосування в різних галузях, включаючи оборону, телекомунікації, космічні дослідження та мобільні технології, що дозволяє значно підвищити ефективність і надійність сучасних систем зв'язку.

1.3 Технічні рішення для керування антенами

Для ефективного керування антенами з реконфігурованою діаграмою спрямованості використовуються різноманітні технічні рішення, що забезпечують точне налаштування і динамічне управління антенними характеристиками. Основні технічні рішення включають [6]:

1. Системи управління фазою та амплітудою

- Фазовані антенні решітки (Phased Array Antennas) – системи управління фазою та амплітудою використовуються для точного контролю фазових зсувів і амплітуд сигналів на окремих елементах антени. Це дозволяє змінювати напрямок випромінювання і форму діаграми спрямованості без фізичного переміщення антени.

- Цифрові фазовані решітки (Digital Beamforming) – цифрові системи формування променів використовують цифрову обробку сигналів для управління фазою і амплітудою. Це забезпечує високу точність і гнучкість налаштування антен.

					КвРТР.2021007.01.07 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

- Переваги: можливість швидкого переналаштування, висока точність управління, гнучкість у налаштуванні різних сценаріїв роботи.

- Застосування: радіолокація, супутниковий зв'язок, системи навігації, безпілотні літальні апарати.

2. Програмне забезпечення для моделювання і симуляції дозволяє проектувати і оптимізувати антенні системи, моделюючи різні сценарії і умови роботи. Це допомагає інженерам передбачати поведінку антен і покращувати їх характеристики.

- CST Microwave Studio – пакет програм для тривимірного електромагнітного моделювання, що дозволяє аналізувати антенні структури і електромагнітні поля.

- HFSS (High Frequency Structure Simulator) – інструмент для моделювання високочастотних електромагнітних полів, який використовується для аналізу і проектування складних антенних систем.

- MATLAB – програмне забезпечення для математичного моделювання і симуляції, що включає інструменти для аналізу електромагнітних полів, оптимізації діаграм спрямованості і частотних характеристик антен.

3. Механічні системи позиціонування використовуються для керування механічно-реконфігурованими антенами. Вони забезпечують точне переміщення або зміну форми антенних елементів для налаштування діаграми спрямованості і частотного діапазону.

- серводвигуни – використовуються для точного позиціонування антенних елементів;

- актуатори – механічні пристрої, які забезпечують переміщення антенних елементів для зміни їх форми або розташування;

- механічні приводи – системи, що забезпечують точне керування рухом антенних елементів.

					КвРТР.2021007.01.07 ПЗ	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4. Електронні контролери та перемикачі використовуються для управління електронно-реконфігурованими антенами, дозволяючи змінювати електричні параметри антенних елементів для оптимізації характеристик антени.

- PIN-діоди – використовуються для швидкого перемикання і налаштування антенних елементів.

- Варикапи – змінюють ємність у відповідь на напругу, що дозволяє налаштовувати резонансну частоту антенних елементів.

- MEMS-перемикачі – мікроелектромеханічні системи, які забезпечують високоточне і швидке налаштування параметрів антени.

5. Системи адаптивного керування використовують алгоритми машинного навчання та штучного інтелекту для автоматичного налаштування антенних систем у реальному часі. Це дозволяє оптимізувати характеристики антени відповідно до змінних умов середовища і вимог до зв'язку:

- алгоритми машинного навчання – використовуються для аналізу та прогнозування поведінки антенних систем, що дозволяє автоматично налаштовувати їх параметри для досягнення оптимальної продуктивності.

- штучний інтелект – використовується для розробки адаптивних алгоритмів, які можуть швидко реагувати на зміни в умовах експлуатації і забезпечувати стабільний зв'язок.

- реальний час – здатність системи адаптуватися до змінних умов у реальному часі, що є критично важливим для багатьох сучасних додатків, таких як мобільний зв'язок, супутникові системи та військові застосування.

Ці технічні рішення дозволяють створювати антени, які можуть адаптуватися до змінних умов, забезпечуючи більш ефективний і надійний зв'язок у різних додатках. Використання сучасних технологій керування антенами є ключовим фактором для досягнення високої продуктивності та гнучкості сучасних антенних систем.

					КвРТР.2021007.01.07 ПЗ	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.4 Висновок до першого розділу

У цьому розділі розглянуто сучасні технології збору радіочастотної енергії та телекомунікаційних систем. Вивчаючи технології збору енергії, досліджено різноманітні методи, такі як сонячна, вітрова, гідроенергія, біоенергія та інші, а також технології збору енергії з навколишнього середовища, такі як термопари та п'єзоелектричні матеріали.

Далі, проаналізовано антени з реконфігурованою діаграмою спрямованості, що мають здатність змінювати свої радіохвильові характеристики у відповідь на змінні умови. Розглянуто основні типи таких антен, включаючи фазовані антенні решітки, електронно-керовані, механічно-реконфігуровані та матеріально-реконфігуровані антени.

Нарешті, досліджено технічні рішення для керування антенами, включаючи системи управління фазою та амплітудою, програмне забезпечення для моделювання та симуляції, механічні системи позиціонування, електронні контролери та перемикачі, а також системи адаптивного керування.

Загалом, даний розділ надає глибоке розуміння сучасних технологій збору радіочастотної енергії та розвитку телекомунікаційних систем, а також важливість технічних аспектів керування антенами для оптимізації функціональності та ефективності майбутніх систем зв'язку.

					КвРТР.2021007.01.07 ПЗ	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ, ПРИНЦИПИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ РЕКОНФІГУРОВАНИХ АНТЕН

Реконфігуровані антени можуть бути змінені з точки зору робочої частоти, поляризації або діаграми спрямованості [7]. Через попит на технологію 5G у керуванні променем і формуванні променя, антени з реконфігурацією діаграми спрямованості є життєво важливими та активно досліджуються. У технології 5G середні частоти діапазону від 1 до 6 ГГц [8] широко використовуються в багатьох бездротових технологіях, зокрема, і в програмах Інтернету речей. Використовуючи частоти середньої смуги, можна підтримувати низьке енергоспоживання під час спілкування в межах короткого діапазону мережевих пристроїв. Однак ефективність таких систем залежить від рівня багатопроблемності та перешкод [9]. Таким чином, реконфігурація діаграм спрямованості антен дозволить підвищити потужність сигналу та ефективність передачі [10].

Антени з реконфігурацією діаграми спрямованості є однією з ключових технологій для сучасних телекомунікаційних застосувань. Реконфігурація діаграми спрямованості дуже важлива з можливістю змінювати розподіл джерела струму в структурі антени шляхом передачі випромінюваної енергії як пучка в призначених або конкретних напрямках, що в кінцевому підсумку допомагає покращити пропускну здатність даних зв'язку [11]. Реконфігурована діаграма спрямованості антени може уникнути джерел шуму, спрямувавши нуль на перешкоди та випромінюючи головний промінь у потрібному напрямку для кращого покриття. Ця антена має переваги завдяки своїм компактним розмірам, невеликому споживанню електроенергії та підвищенню функціональності, щоб зменшити навантаження на сучасні системи передачі в межах обмеженого простору. 4G страждає від перевантажень і не може

					КвРТР.2021007.01.07 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

підтримувати попит користувачів на більш високу швидкість передачі даних через обмеження їхнього спектру частот [12]. Середньосмуговий зв'язок із швидшим і високим рівнем доступності, який допоможе індустрії розкрити свій потенціал і надати функціональні можливості для плавної трансформації в подорожі 5G [13]. Діапазон середньої смуги нижче 6 ГГц робить його несхожим на діапазон частот mmWave вище 24 ГГц, навіть обидва вони називаються «5G». Середньосмуговий діапазон є кращим вибором для використання існуючих мережевих магістралей, оскільки він швидший, ніж попередня технологія 4G. Навіть затримка не така хороша, як mmWave, середня смуга здатна охоплювати більші географічні території порівняно з mmWave, які мають проблеми через їх обмеження, які підходять лише для невеликої конкретної цільової області. Хоча цей огляд зосереджений на діаграмі спрямованості, яку можна реконфігурувати для зв'язку в середній смузі 5G, також розглядаються існуючі антени з реконфігурацією діаграми спрямованості, розроблені в цьому діапазоні частот. Це тому, що подібні методи реконфігурації підходять для діапазону частот середньої смуги, оскільки специфікація матеріалів і специфікація компонентів для таких конструкцій схожі.

У літературі було запропоновано багато методів для реконфігурації антен [10-14], які в основному можна класифікувати як електронні, оптичні, механічні та матеріальні. Крім того, що топологія антени для таких антен повинна мати низьку складність і ефективність у реалізації методів реконфігурації, вона повинна мати функцію компактності. Великий розмір дротяної антени був обмеженням, щоб бути найкращим номінантом для застосування на високих частотах [15]. Планарні антени можна легко виготовити та спроектувати для роботи на частотах від 100 МГц [16] до десятків ГГц. Важливо також, що такі реконфігуровані антени здатні досягати більшого підсилення та широкої смуги частот на вищих частотах. В ідеалі така компактна реконфігурована антена

					КвРТР.2021007.01.07 ПЗ	Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

повинна бути розроблена для досягнення точної реконфігурації променя та отримання покращень у необхідних напрямках. Продуктивність реконфігурованих антен (підсилення, смуга пропускання імпедансу та здатність променя керувати та формувати) в основному залежить від використовуваного методу. Іншими важливими факторами є типи субстрату, використовувана техніка подачі та кількість розгорнутих перемикачів.

2.1 Загальні методи реконфігурації

Ефективність діаграми спрямованості реконфігурованої патч-антени залежить від техніки та типів використовуваних реконфігурованих механізмів. Існують проблеми в модифікації структури антени для застосування різних методів реконфігурації [17, 18]. У конструкції реконфігурованої антени необхідно враховувати багато факторів, наприклад, як досягти хорошого підсилення, кращої ефективності, стабільності коефіцієнта відбиття, спрямованості діаграми спрямованості, можливості формування променя та хорошого узгодження імпедансу в усіх режимах роботи антени. Таким чином, розробникам антен було складно досягти та підтримувати ефективність і ефективність рішення під час інтеграції реконфігурованого механізму в повну систему.

Як показано на рис. 2.1, є чотири ключові методи, які застосовуються дослідниками для досягнення реконфігурації та вдосконалення в різних сценаріях. Характеристики та типи використовуваних методів перемикання суттєво впливають на відгук реконфігурованої антени. Більшість із цих методів здатні виконувати реконфігурацію діаграми спрямованості з їхньою здатністю контролювати розподіл поверхневого струму шляхом модифікації їх ЕМ або властивостей матеріалу.

					КвРТР.2021007.01.07 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

Механізм рідкокристалічної реконфігурованої антени

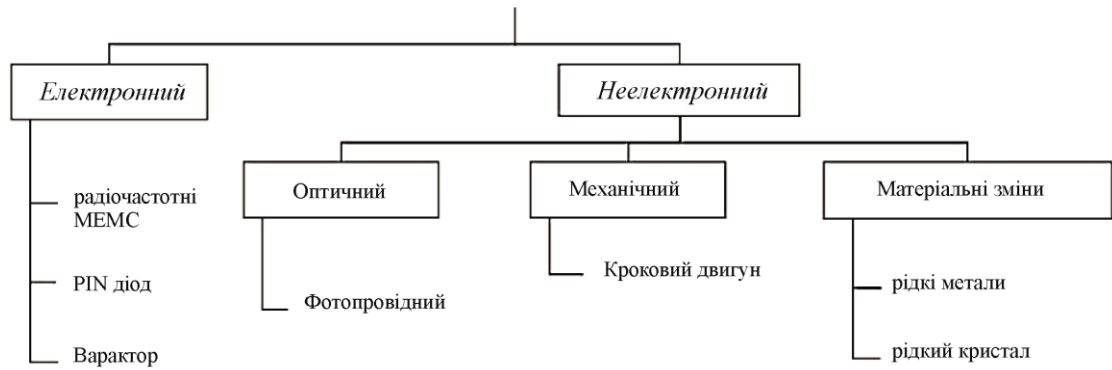


Рисунок 2.1 – Огляд методів для досягнення реконфігурації

У наступних підрозділах обговорюватимуться переваги та недоліки вивчення кожного типу механізму при розробці реконфігурованої антени.

2.2 Електронні методи реконфігурації

Комутація електроніки була популярною технікою, яка нещодавно була обрана в [19–22] як механізм реконфігурації. Електронний перемикач, який найчастіше використовується для перенастроюваної антени, – PIN-діод. Застосування прямого короткого замикання та ємнісного зв'язку призводить до спрямованості діаграми променя. У [23] було проведено дослідження реконфігурованої антени за допомогою повнохвильового аналізу, щоб запропонувати аналогічну антену невеликого розміру, яка може електрично перемикати різноманітність діаграми спрямованості випромінювання або прямої, або конічної. Свобода можливостей оптимізації підсилення для режимів патча з подвійним шаблоном досягається шляхом розміщення PIN-діодів на площині заземлення, а не на шарі патча. Робота в [24] виконувала діаграму спрямованості паразитної піксельної патч-антени з 52 PIN-діодними перемикачами, розташованими між краями пікселів, щоб отримати іншу реконфігуровану форму діаграми спрямованості для роботи на частоті 5,7 ГГц.

Хоча використання великих активних елементів для реконфігурації сприяло хорошій ізоляції, це, однак, збільшило вартість і складність зміщення [25]. Оскільки обговорення зосереджено на 5G, слід чітко розуміти поведінку PIN-діодів, коли вони працюють на частотах мм-хвиль. Слід зазначити, що втрати ізоляції та внесені втрати PIN-діодів можуть визначати ефективність керування променем у реконфігурованій антені. Було повідомлено про декілька робіт щодо порівняння ефективності керування променем із PIN-діодами на однаковій робочій частоті [26] та ефективності керування променем, коли аналогічний PIN-діод використовується для різних різних частот.

Варакторний діод є іншим гніздом ініціювання реконфігурації. Відома робота [27] демонструє використання варактора для досягнення фазового контролю та досягнення $\pm 23^\circ$ сканування променя. В іншій конструкції в [28] зазначено, що варакторні діоди забезпечують можливість динамічної реконфігурації, але, на жаль, вона страждає від нелінійності, низького динамічного діапазону та складності зміщення. Іншим типом, який часто використовується, є RF MEMS. У роботі [29] повідомляється, що 8 перемикачів розташовані в області щілини випромінювальної структури для досягнення реконфігурації. Робота показала, що цей низькопрофільний тип комутації не потребує додаткового зміщення або додаткового простору для живильної мережі, і, отже, його легко об'єднати з іншими компонентами схеми. Однак недолік MEMS є менш надійним і дорогим на відміну від PIN-діодів.

2.3 Неелектронні методи реконфігурації

На відміну від електронної реконфігурації, оптична техніка має обмеження щодо поведінки з втратами та складні механізми активації, у той час як механічна техніка стикається з повільною реакцією, але найкраще, як правило, вони

					КвРТР.2021007.01.07 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

працюють без зміщення ліній. Техніка зміни матеріалу демонструє низький профіль і меншу вагу, але, на жаль, мала обмежене застосування.

1. Оптичний. Оптичний комутатор складається з прозорого матеріалу для зміни конфігурації антени. Цей метод є хорошим варіантом для відхилених електромагнітних збурень, де використовувався два фотопровідних перемикача, освітлених лазером з довжиною хвилі 808 нм. Реконфігурація не може бути виконана без зміни імпедансу, і її можна вирішити шляхом зменшення довжини Т-подібної форми верхнього слота до 3,35 мм і збільшення ємності до 2,2 пФ. Крім того, вони використовували оптичний перемикач для зміни конфігурації променя шляхом фільтрації небажаних сигналів перешкод для отримання максимального посилення.

2. Механічний. Механічне керування є ідеальним засобом керування променем, оскільки воно не спричиняє внесених втрат і характеристики антени не погіршуються в будь-якій точці. Механічна техніка передбачає фізичне поворот антени в напрямку інтересу [30], де механічне керування часто виконується за допомогою електродвигуна. Однак обертові механізми схильні до механічних поломок через втому та знос рухомих частин. Інший тип реконфігурації, такий як кроковий двигун, використовується для механічного керування обертанням антени. У такому методі двигун розміщується позаду антени, щоб покращити синергію крокового двигуна та точність напрямку променя. Незважаючи на демонстрацію різноманітної конфігурації завдяки вищому ступеню свободи в досягненні реконфігурації бічної та торцевої схем вогню, такі фактори, як розмір антени, вага та напруга керування, ускладнюють реалізацію механічного рішення. Крім того, низька швидкість керування є основним недоліком такого механічного перемикачання порівняно з електронними методами перемикачання.

					КвРТР.2021007.01.07 ПЗ	Арк.
						28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3. Зміна матеріалу. Нещодавно рідкі метали викликали популярність серед дослідників реконфігурованих антен [31], пропонуючи більший діапазон налаштування та можливість мінімізувати нелінійні спотворення, створювані напівпровідниковими пристроями. Евтектичний галій-індій використовувався як рідкий метал, і його можна регулювати всередині капілярів шляхом застосування постійної напруги до окремого плеча для забезпечення механізму витіснення рідини. Витіснення рідини може бути виконано легко, і для цього не потрібні механічні насоси для отримання різних діаграм. Порівняння з іншими напівпровідниковими пристроями показує, що таке витіснення рідини може досягти ефективності випромінювання вище 90%.

Інший підхід до зміни матеріалу полягає в друкованій триелементній антені Yagi Uda, у якій два паразитних елементи мають прорізи посередині. Шість рухомих металевих стовпів були заповнені в мікрофлюїдних каналах, прикріплених до поверхні трьох випромінюючих плечей антени. Стан увімкнення та вимкнення залежав від рухомих полюсів рідкого металу та електричної довжини.

Найкраща можлива техніка реконфігурації – це та, яка більше відповідає обмеженням застосування, для якого розроблена антена. Дослідник повинен розглянути можливість мінімізації складності конструкції антени та реконфігурації пристроїв зміщення, зберігаючи оптимальну бажану продуктивність. Окрім простоти вбудовування в структуру антени, використання електронних комутаційних компонентів, таких як PIN-діод, дає такі переваги, як хороша ізоляція, властивості з низькими втратами, швидка конфігурація та, зрештою, допомагає зменшити вартість і енергоспоживання. У наступних розділах реконфігурація діаграми спрямованості буде розглянута більш детально, включаючи різні методи, застосовані для її покращення.

					КвРТР.2021007.01.07 ПЗ	Арк.
						29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.4 Матриця радіочастотного перемикання: структура та функціонування

В сучасних бездротових системах антенні матриці відіграють вирішальну роль у забезпеченні гнучкості та ефективності передачі сигналів. Вони дозволяють динамічно змінювати діаграму спрямованості, частотний діапазон та поляризацію сигналів, що є ключовим для оптимальної роботи системи в різних умовах. Цей перелік описує основні компоненти та функціональні можливості антенних матриць, зокрема їх структуру та принципи функціонування, що дозволяють забезпечувати високий рівень продуктивності та мінімізацію втрат енергії.

Матриця радіочастотного перемикання (RF switching matrix) є важливим компонентом у системах реконфігурованих антен, який забезпечує можливість ефективної комутації сигналів між різними антенними елементами та компонентами системи.

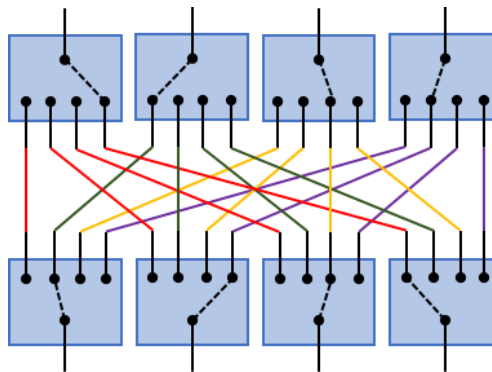


Рисунок 2.2 – Матриця радіочастотного перемикання

Розуміння структури та функціонування цієї матриці допомагає в розробці та оптимізації бездротових телекомунікаційних систем:

1. Структура:

- перемикачі – основними елементами матриці є перемикачі, які використовуються для комутації сигналів між різними шляхами. Ці перемикачі

					КвРТР.2021007.01.07 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

можуть бути виготовлені на базі PIN-діодів, MEMS-перемикачів або варикапів, залежно від конкретних вимог системи;

- контролери – для керування роботою перемикачів використовуються мікроконтролери або спеціалізовані процесори. Вони отримують вхідні дані або команди і відповідно до них керують станом перемикачів;

- інтерфейси – матриця має різні інтерфейси для з'єднання з іншими компонентами системи. Це можуть бути з'єднання з антенними решітками, підсилювачами, блоками обробки сигналів та іншими пристроями.

2. Функціонування:

- комутація сигналів – основна функція матриці полягає в комутації сигналів між різними антенними елементами. Це дозволяє змінювати діаграму спрямованості, частотний діапазон або поляризацію сигналу в залежності від потреб системи.

- динамічне налаштування – завдяки вбудованим алгоритмам управління, матриця може автоматично налаштовувати параметри антен у реальному часі. Це дозволяє системі оптимізувати свою продуктивність в залежності від умов роботи.

- зменшення втрат – ефективна комутація сигналів дозволяє знизити втрати енергії під час передачі сигналу через систему. Це особливо важливо для високочастотних систем, де навіть невеликі втрати можуть суттєво вплинути на продуктивність системи.

Розділ надає детальне розуміння структури та функціонування матриці радіочастотного перемикачів, яка є необхідним компонентом для успішної роботи систем реконфігурованих антен.

2.4 Реконфігуровані топології антен

					КвРТР.2021007.01.07 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

Антени з реконфігурацією діаграми спрямованості вважаються найкращим кандидатом для керування діаграмою спрямованості та підсиленням спрямованості. У літературі досліджувалися різні типи антен для роботи в середній смузі 5G. Як показано на рис. 2.3, три друковані типи реконфігурованих антен регулярно використовуються для забезпечення продуктивності в багатьох сценаріях.

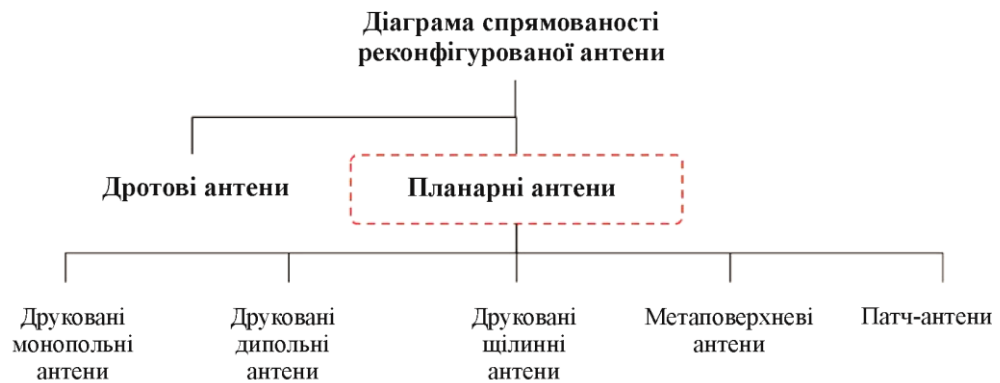


Рисунок 2.3 –Типи діаграми спрямованості реконфігурованої антени

2.5.1 Друковані монопольні антени

Дротова монопольна антена має характеристики, які придатні для роботи на низьких і середніх частотах, мають широку смугу пропускання та мають всенаправлену діаграму спрямованості. У порівнянні з традиційним методом, друкована антена використовувала металеву пластину замість дроту для випромінювання енергетичного сигналу. На рис. 2.4 показано, що різні друковані монополи, сконструйовані як монопольна антенна решітка, складена монополя антена і друкована перевернута F , які досягли стабільної діаграми спрямованості в кожному робочому стані в їх застосуванні мікрохвильової частоти. У [23] монопольна антена, оточена чотирма паразитними елементами, підключена до коаксіального живлення з кутом 45° . Кут місця випромінювання досягав 60° з

піковим посиленням більше 7 дБі. Дослідження досягло успіху в покращенні властивостей імпедансу та фазової компенсації шляхом прийняття коротшої паразитної смуги між монополем і довшою смугою. Вісім PIN-діодів у цій паразитній парі використовувалися для керування монопольним випромінюванням на восьми різних променях в азимутальній площині. Інше дослідження сконструювало чотири складені монополи у формі вітряка та заземлену площину, що живиться коаксіальним зондом. Дослідження досягло чотирьох режимів керування в діапазоні від 30° до 300° в азимутальній площині зі стабільним посиленням на 3,9 ГГц. Це дослідження також демонструє робочу широку смугу пропускання незалежно від станів перемикачів. Симетрична структура антени сприяла хорошій стабільності в плані реконфігурації діаграми спрямованості. Надрукована перевернута буква F з частковим фоном мала відповідність і оптимізацію візерунка шляхом зміни довжини та ширини заглибки. Ця конструкція забезпечує ортогональні діаграми спрямованості з використанням лише одного PIN-діода для реконфігурації та досягнутої ширини променя HPBW 226° та 118,5°.

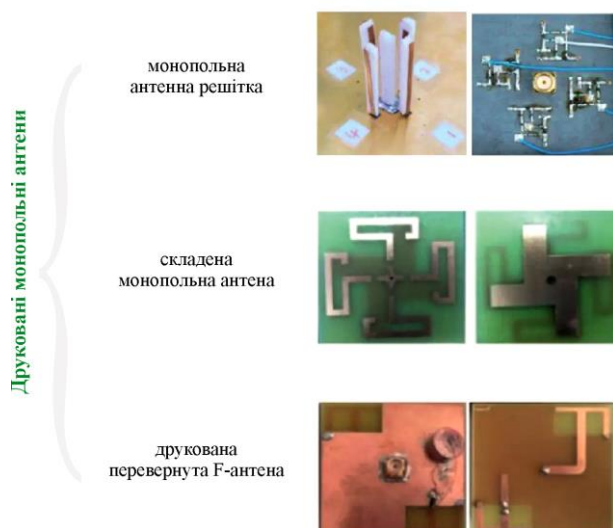


Рисунок 2.4 – Різні друковані монопольні антени

2.5.2 Друковані дипольні антени

Досліджено та проаналізовано декілька типів друкованих дипольних антен на основі їхніх характеристик. На рис. 2.5 показані попередні конструкції з використанням друкованих дипольних елементів, які використовувалися для досягнення покращень у різних сценаріях. Бен Трад та ін. запропонував плоску друковану дипольну антену на основі класифікації концепції Ягі Уди. Напрямки нахиленого променя не вказано, але досягнуті властивості підходять для застосування в середній смузі зв'язку. У диполь $\lambda/2$ з двома скрученими елементами навантаження на верхній поверхні. Дослідники виявили, що два металеві квадратні елементи, розташовані під поверхнею диполя, сприяли досягненню діаграми спрямованості в обох площинах $\phi = 0^\circ$ і $\phi = 90^\circ$ з посиленням від 3,98 до 6,4 дБі відповідно. Однак зміни розмірів на дипольних або паразитних елементах можуть вплинути на характеристики S_{11} .

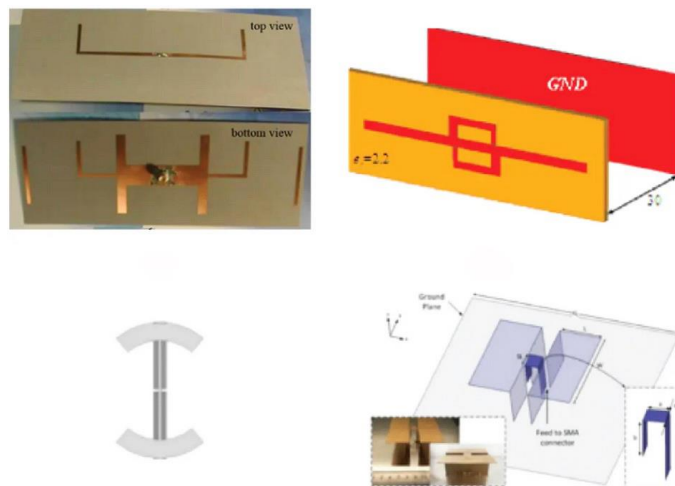


Рисунок 2.5 – Дипольні елементи

Конструкція, яка поєднувала пару керованих елементів стрічками з парою дипольних елементів Egypt Ахе. Конструкція досягла реконфігурації всеспрямованої діаграми спрямованості шляхом інтеграції PIN-діодів у

					КВРТР.2021007.01.07 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

керований елемент. В іншому дослідженні Zeng et al. розробив півхвильову електричну дипольну антену з Г-подібною смугою. Порушена структура землі була застосована до цієї простої антени, здатної створювати односпрямовану діаграму спрямованості з нижньою задньою пелюсткою, яка покращилася в діапазоні частот від 1,38 до 3,5 ГГц з посиленням до 8,3 дБі. Тим не менш, повідомлялося про деяке погіршення відношень переднього до заднього та рівнів крос-поляризації. Дипольний тип був хорошим підходом, де він вимагав ізотропної моделі для системи зв'язку. У багатьох випадках друкованої дипольної антени вимагалось, щоб механізм живлення функціонував як балунний ефект для усунення асиметричних спотворень, спричинених коаксіально живленим незбалансованим фідером, завдяки досягненню ефективної діаграми спрямованості.

2.5.3 Друковані щілинні антени

Замість того, щоб мати характеристики посилення частотного зсуву, друкований слот добре справлявся з реконфігурацією діаграми променя, і це показано на рис. 2.6. За допомогою маніпуляції фазою верхньої та нижньої щілин на площині заземлення ця робота досягла трьох напрямків променя при -15° , 0° та $+15^\circ$ у всіх діапазонах частот 1,82, 1,93 та 2,10 ГГц. Однак використання 14 PIN-діодів BAR50-02V збільшило складність і внесли втрати системи. Інша антена має складність у розробці комбінованих елементів збуреної ромбічної щілини з усіченим круглим випромінювачем і С-подібним паразитним випромінювачем. Використовуючи матеріал FR4, результат досяг $\pm 30^\circ$ нахиленого променя, а також працював із можливостями інших щодо частоти та поляризації, налаштованих штирьовими діодами BAR 64-0W.

					КвРТР.2021007.01.07 ПЗ	Арк.
						35
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

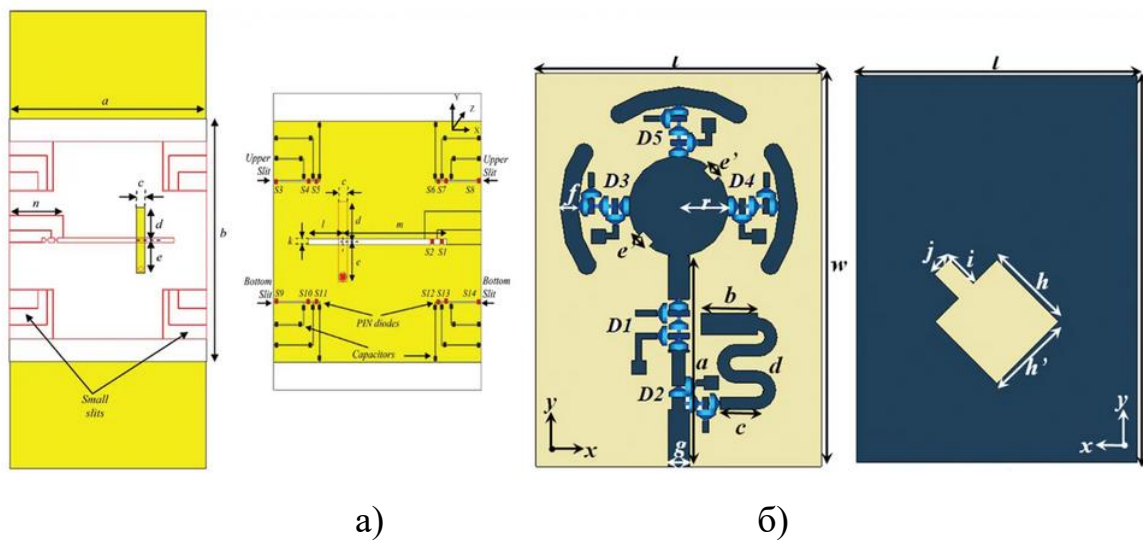


Рисунок 2.6 – Друковані щілинні антени а) – вигляд спереду та ззаду;
б) – вигляд спереду та ззаду

2.5.4 Метаповерхневі антени

Метаповерхневі антени знайшли широке застосування завдяки використанню структур елементарних комірок та їх унікальних електромагнітних властивостей. На рисунку 2.7 представлено кілька метаповерхневих антен, які можна класифікувати за трьома типами: метаповерхнева структура, активна метаповерхня та неоднорідна метаповерхня. Одне з досліджень продемонструвало реконфігуровану метаповерхневу антену, що складається з рівномірного розподілу подвійних квадратних кілець з PIN-діодами. Ці діоди працюють як відбивачі або директори залежно від їх зміщення, що дозволяє направляти сигнал в напрямку $-z$ при прямому зміщенні і в напрямку $+z$ при зворотному зміщенні. Ця антена, виготовлена на підкладці FR-4, демонструє гарне узгодження імпедансу в обох станах діода та має підсилення приблизно 6 дБі на частоті 2,45 ГГц.

Інше дослідження показало, що активна метаповерхня з патч-антенною може досягати 10° керування променем при $\varphi = 90^\circ$ та підсилення 6 дБі на частоті

2,45 ГГц завдяки використанню PIN-діодних перемикачів. Це дослідження також підкреслює, що довжина зазору між розлитими кільцями суттєво впливає на спрямованість антени та ефективність керування променем, хоча складність схеми з 16 PIN-діодами є досить високою.

Ще одне дослідження, також з використанням підкладки FR-4, демонструє антену, яка досягає підсилення 7,1 дБі при робочій частоті від 2,35 до 3,5 ГГц. Завдяки оптимізації діапазону змін одиничних осередків метаповерхні, основний промінь патч-антени можна скерувати під кутом 30° з НРВW 66° .

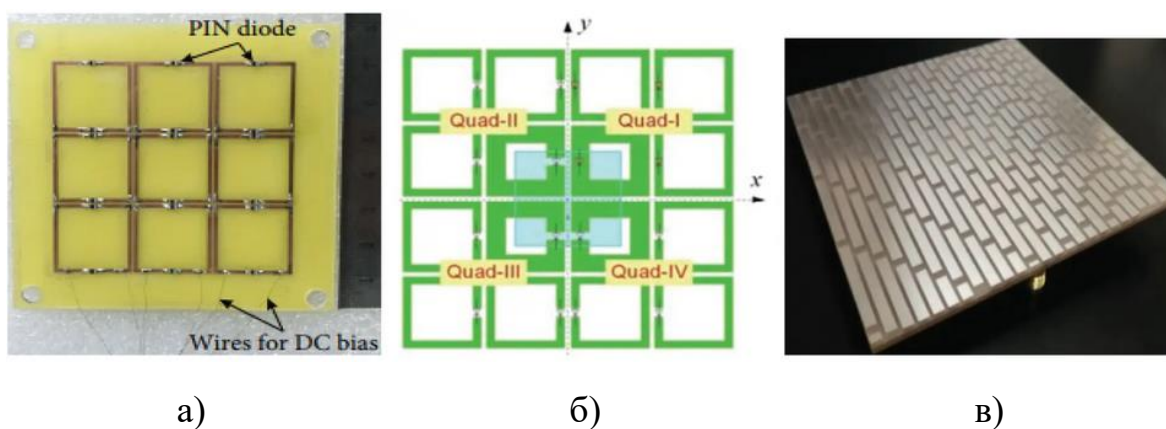


Рисунок 2.7 – Метаповерхневі антени: а) – метаповерхня; б) – активна метаповерхня; в) – неоднорідна метаповерхня

2.5.5 Патч-антени

Патч-топологія є найбільш поширеним і широко використовуваним типом реконфігурованих антен. Патчі, що використовуються як випромінювальні елементи, мають великий потенціал для забезпечення багатоспрямованості, гнучкості частот, ширшої смуги пропускання та гнучкості подачі. Як видно на рисунку 2.8, конструкція прямокутної ділянки було вдосконалено додаванням двох металевих стінок для досягнення форми променя та різноспрямованих променів. Антена з реконфігурованою діаграмою спрямованості створювала

діаграми випромінювання з вузькою та широкою шириною променя. Використовуючи 6 PIN-діодів, керування діаграмою дальнього променя здійснювалося в Е-площині від -51° до 54° та в Н-площині від -20° до 20° за допомогою дискретного перемикання.

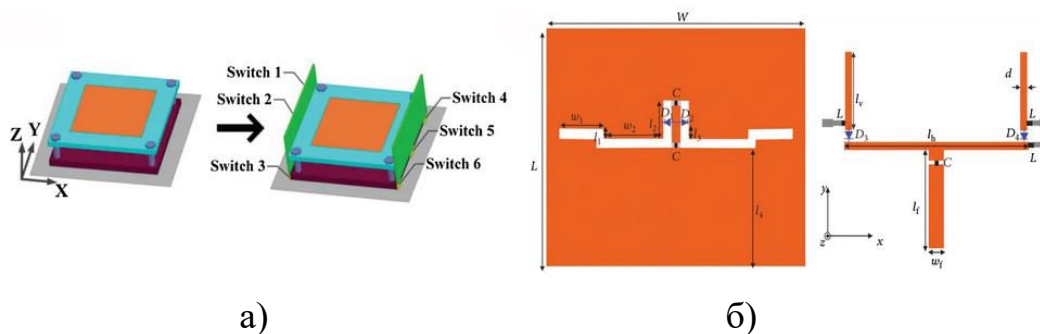


Рисунок 2.8 – Патч-антени: а) – мікросмужкова антена з реконфігурацією діаграми спрямованості; б) – широкосмугова щілинова антена з реконфігурацією діаграми спрямованості

У цій роботі також було досягнуто 400 МГц смуги пропускання завдяки технології подачі з апертурним зв'язком. В іншому дослідженні використовувалася мікросмужкова лінія живлення у формі вилки для реконфігурації шаблону за допомогою 2-контактних діодів, вставлених поперек лінії живлення. Це дозволило керувати променем під кутом до 25° та виконувати формування променя. Хоча конструкція досягла меншого кута нахилу, вона працювала в широкій смузі пропускання. Продуктивність реконфігурованої антени діаграми спрямованості залежить від таких факторів, як форма ділянки, техніка живлення та тип підкладки. Окрім цього, вибір діелектричної проникності також розглядався для досягнення компактності антени, поліпшення діаграми спрямованості та кращої ефективності.

Майбутні реконфігуровані антени повинні бути багатofункціональними, забезпечуючи керування променем і реконфігурацію ширини променя в одній антенній структурі та мати програмно-контрольоване/машинне навчання здатність виявляти та реагувати на різні зміни в своєму радіочастотному

середовищі. Це створить великий потенціал для покращення продуктивності систем бездротового зв'язку. Крім того, існує потенціал для реконфігурації гібридної антени з можливістю реконфігурації діаграми спрямованості, частоти та поляризації на одній структурі антени.

2.6 Висновок до другого розділу

У ході обговорення різноманітних конструкцій можна зробити висновок, і їхня продуктивність показує, що вдосконалення шаблонів у реконфігурованих антенах можливе для передових систем зв'язку 5G середнього діапазону. Більшість досліджень показали труднощі, пов'язані з впровадженням PIN-діодів як складну причину через зміщення схеми, що додаткові пасивні елементи, такі як конденсатори та котушки індуктивності, впливають на продуктивність і ефективність зворотних втрат або сприяють ускладненню конструкції. Зміна розмірів і структури антени вплине на продуктивність антени та робочу частоту. Розмір пропускної здатності потрібен для врахування цілей швидкості та затримки 5G. В ідеалі слід розглянути майбутні дослідження, такі як комбінація елементів, кількість використовуваних перемикачів, вивчення адаптації пікселів, розгортання усіченого ґрунту, багат шаровості, поєднання діафрагми та інших очікуваних методів. Крім того, ефективна вартість і менш складна конструкція конструкції вимагають певних зусиль для проведення надзвичайного експерименту. Зростаюча чутливість конструкції, яка вплинула на ефективність, перешкоди, стабільність, паразитне випромінювання та інші втрати при передачі, виділяється для систем зв'язку 5G середнього діапазону, щоб розширити їхній потенціал для майбутніх досліджень.

					КвРТР.2021007.01.07 ПЗ	Арк.
						39
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3 КОНСТРУКЦІЯ ТА ЖИВЛЕННЯ РЕКОНФІГУРОВАНОЇ АНТЕНИ ДЛЯ ЕФЕКТИВНОГО ЗБОРУ ЕНЕРГІЇ

Реконфігуровані антени представляють собою тип антен, які можуть динамічно змінювати свої параметри в реальному часі або за певних умов. Ці параметри можуть включати частоту, поляризацію, діаграму спрямованості та імпеданс. Гнучкість реконфігурованих антен полягає в їх здатності адаптуватися до різних стандартів зв'язку, частотних діапазонів або вимог користувача.

3.1 Переваги та перспективи реконфігурованих антен

Одним з ключових факторів популярності реконфігурованих антен є їх потенціал у покращенні продуктивності систем бездротового зв'язку. Вони дозволяють покращити покриття мережі, забезпечити більшу швидкість передачі даних, зменшити перешкоди та забезпечити стабільне з'єднання. Це особливо важливо в контексті нових застосувань, таких як Інтернет речей (IoT), мережі 5G і супутниковий зв'язок, де надійність і швидкість передачі даних відіграють критичну роль.

Важливою перевагою реконфігурованих антен є їхня гнучкість та можливість пристосування до змінних умов експлуатації. Це робить їх ефективними у різних сценаріях використання, дозволяючи оптимізувати продуктивність систем зв'язку в реальному часі.

У світлі цих переваг, реконфігуровані антени здобувають все більшу популярність і відіграють важливу роль у розвитку бездротових технологій, сприяючи зростанню їхнього застосування в різних галузях, від мобільних комунікацій до сенсорних мереж та автономних систем.

					КвРТР.2021007.01.07 ПЗ	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Антени з реконфігурацією діаграми спрямованості мають можливість динамічно змінювати свою діаграму спрямованості в залежності від конкретних експлуатаційних потреб. Це означає, що вони можуть електронно налаштувати напрямок випромінювання без необхідності фізичного переміщення.

Однією з ключових переваг цього типу антен є їх здатність адаптуватися до різних напрямків без необхідності руху антени. Це робить їх ефективними в системах бездротового зв'язку, де важливо забезпечити оптимальне покриття мережі, покращення якості сигналу та зменшення впливу перешкод.

Завдяки можливості електронного регулювання променів випромінювання в різних напрямках, антени з реконфігурацією діаграми спрямованості стають все більш популярними серед рішень для оптимізації бездротових систем. Вони дозволяють ефективно адаптуватися до змінних умов експлуатації та потреб користувачів, що робить їх цінними інструментами для вдосконалення та розвитку сучасних мереж зв'язку.

3.2 Конфігурація збору енергії з різних радіочастотних джерел

У цьому дослідженні пропонується конструкція антени з реконфігурацією діаграми спрямованості, спеціально адаптований для збирання енергії з бездротових джерел. Збір енергії полягає в перетворенні різних форм навколишньої енергії, таких як електромагнітні хвилі, в електричну енергію, яка потім може живити невеликі електронні пристрої. Таким чином, реконфігуровані антени пропонують кілька переваг у порівнянні зі звичайними антенами, особливо коли мова йде про збір енергії. Вони можуть бути оптимізовані для ефективного збору енергії з різних джерел і в різних частотних діапазонах.

Регулюючи діаграму спрямованості, поляризацію або частотну характеристику, можна максимізувати кількість зібраної енергії, навіть у змінних і динамічних умовах середовища. Крім того, реконфігуровані антени можна

					КвРТР.2021007.01.07 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

інтегрувати з іншими компонентами збору енергії, такими як випрямлячі, мережі узгодження імпедансу та пристрої накопичення енергії, щоб створити комплексну систему збору енергії.

З урахуванням цих аспектів, використання реконфігурованих антен у програмах збору енергії може потенційно змінити парадигму бездротового передачі енергії та сприяти розвитку автономних та автономних пристроїв.

Зазвичай для збору сигналів з різних радіочастот потрібно використовувати кілька антен, що може призвести до збільшення розміру системи. Однак реконфігурована антена спрямованості пропонує ефективне рішення для збору енергії з різних джерел, які розташовані у різних місцях. Шляхом керування напрямком антени за допомогою спеціального блоку керування цифрового сигнального процесора (DSP), антена може адаптуватися до інтенсивності сигналу. Концепція використання реконфігурованої антени спрямованості для збору енергії продемонстрована на рисунку 3.1.

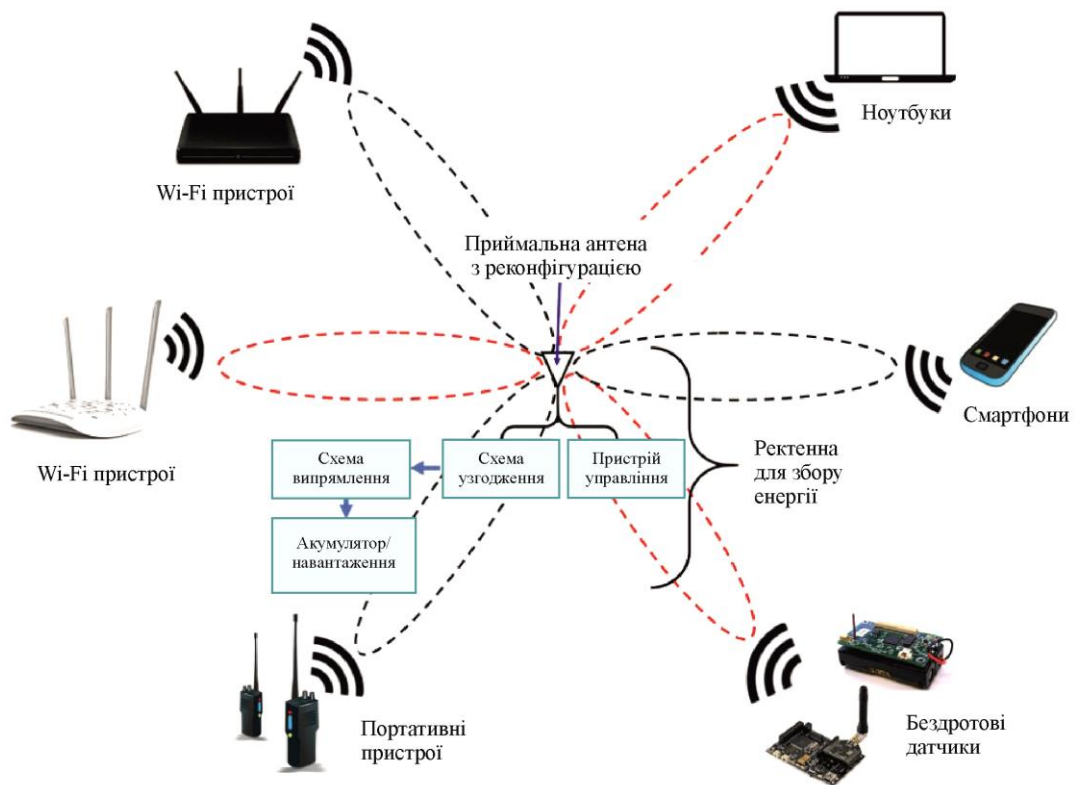


Рисунок 3.1 – Конфігурація збору енергії з різних радіочастотних джерел

Реконфігурована антена підключена до блоку керування, який може визначати напрямок, у якому працює антена. Крім того, антена з'єднана паралельно з випрямним контуром через узгоджувальний контур, утворюючи структуру ректени. Ця ректена може бути підключена до акумуляторної батареї або безпосередньо до навантаження. Використання реконфігурованих антен має значний потенціал для створення надійних і ефективних систем збору енергії. У цьому дослідженні зосереджена увага на реконфігурованій антені приймальної спрямованості та її можливостях електронного керування. Як наявної інформації, запропонована структура є першою, яка впроваджує керований шаблон у програмах збору енергії для очищення від різних джерел радіочастотного випромінювання.

Окрім цього, важливо підкреслити, що реконфігуровані антени мають потенціал для інтеграції в різноманітні системи Інтернету речей (IoT). Здатність антени адаптувати свою спрямованість дозволяє ефективніше збирати енергію з навколишнього середовища, що сприяє продовженню терміну служби автономних пристроїв IoT. Це особливо актуально для віддалених або важкодоступних місць, де заміна або підзарядка батарей є складною задачею. Впровадження таких антен у системи IoT відкриває нові можливості для розробки більш екологічно чистих та енергоефективних рішень, знижуючи залежність від традиційних джерел живлення і сприяючи розвитку сталої технологічної інфраструктури.

3.3 Конструкція реконфігурованої восьмидипольної антени

На рисунку 3.2 представлено конструкцію запропонованої антени, яка складається з восьмидипольної конфігурації, розташованої на заземленій площині. Кожен диполь з'єднаний до спільної точки живлення і обладнаний

					КвРТР.2021007.01.07 ПЗ	Арк.
						43
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

директором для покращення характеристик спрямованості. На верхньому шарі підкладки розташовані вісім незамкнених шлейфів, призначених для збудження диполів, кожен з яких з'єднаний з відповідним диполем через коаксіальний зонд.

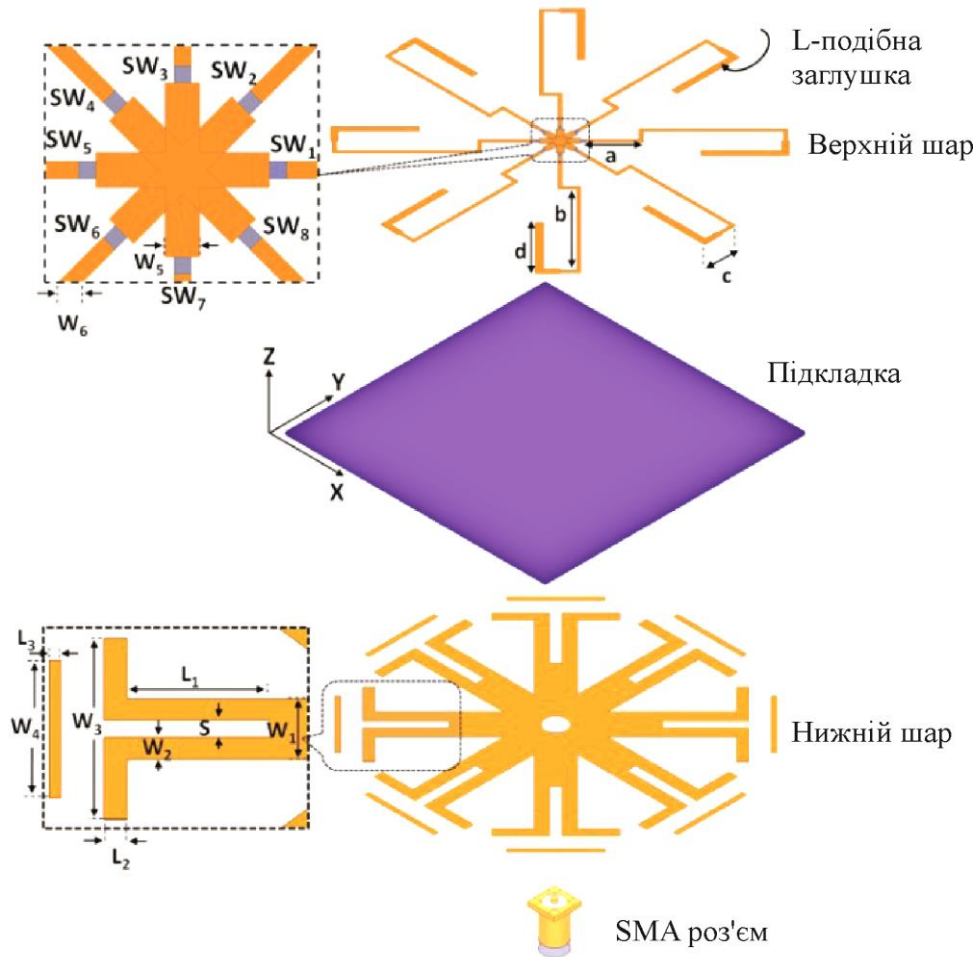


Рисунок 3.2 – 3D конфігурація складання запропонованої антени,
 $a = 7$ мм, $b = 17$ мм, $c = 4$ мм, $d = 10,5$ мм, $S = 2$ мм, $L_1 = 12$ мм, $L_2 = 2$ мм, $L_3 = 1$ мм, $W_1 = 7$ мм, $W_2 = 2,5$ мм, $W_3 = 21$ мм, $W_4 = 16$ мм, $W_5 = 1$ мм, $W_6 = 0,5$ мм

Збалансований транслятор, показаний на рисунку 3.3а, використовується для живлення різних диполів. Однак у запропонованій конструкції відходять від традиційного підключення живлення безпосередньо до іншого виводу диполя. Замість цього застосовується $\lambda/4$ L-подібна розімкнута заглушка, яка надає більшу гнучкість у налаштуванні резонансної частоти для дипольної структури.

Конструкція живлення складається з двох основних частин, як показано на рисунку 3.3б. Частина (а) являє собою лінію живлення шириною 0,5 мм, яка використовується для збудження диполя. Частина (б) складається з L-подібної відкритої заглушки з шириною, що вдвічі перевищує ширину частини (а). Цей патрубок з'єднує лінію живлення з іншим виводом дипольної антени.

На відкритій ділянці L-подібної заглушки (в точці о) імпеданс є нескінченним. Таким чином, на відстані $\lambda/4$ від цієї відкритої точки шлейф функціонує як коротке замикання із заземленою площиною, з'єднуючи лінію живлення (в точці f) з іншим виводом дипольної антени на заземленій площині. Така конструкція забезпечує ефективне живлення диполя і дозволяє оптимально налаштувати його резонансні характеристики, підвищуючи загальну ефективність антени.

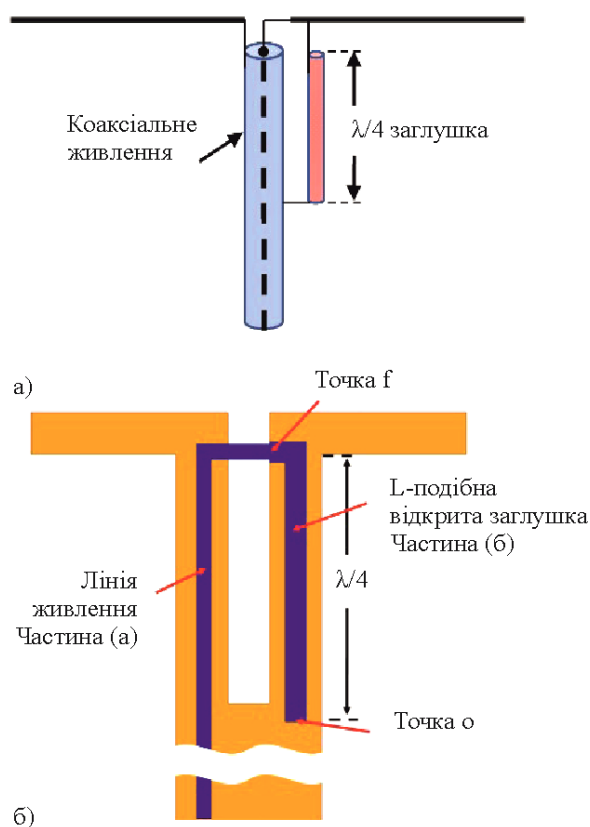


Рисунок 3.3 – Конфігурація а) – коаксіальної структури збалансованого транслятора та б) – збалансований транслятор, що використовується із запропонованою антеною

Для прикладу, використання L-подібної заглушки в системі дозволяє уникнути втрат, пов'язаних із прямими підключеннями, та забезпечує краще узгодження імпедансів, що особливо важливо для досягнення максимальної продуктивності в бездротових комунікаційних системах. Такий підхід також сприяє більшій стабільності та надійності роботи антени, оскільки дозволяє адаптувати її до різних умов експлуатації та вимог середовища.

На рисунку 3.2 показано конфігурацію з восьми перемикачів (SW1, SW2, SW3, SW4, SW5, SW6, SW7 і SW8), стратегічно розташованих уздовж ліній живлення для забезпечення можливості реконфігурації діаграми спрямованості. На етапі моделювання використано серію радіочастотних діодів HPND-4005 для досягнення бажаних можливостей реконфігурації. Поведінка фізичних діодів була змодельована за допомогою еквівалентної схеми: послідовного кола RL у ввімкненому стані та паралельного кола RC у вимкненому стані.

Однак для фактичних вимірювань застосовувалася радіочастотна комутаційна матриця Mini-Circuits USB-8SPDT-A18 [25], яка характеризується низькими втратами (0,2 дБ) та високою ізоляцією (85 дБ). Під час повнохвильового аналізу моделювання файли S2P цієї комутаційної матриці замінили еквівалентну схему діодів, що дозволило отримати майже ідентичні результати.

Використання перемикачів дозволяє динамічно змінювати конфігурацію антени, що дає можливість адаптуватися до різних умов експлуатації та оптимізувати збір енергії. Це забезпечує значні переваги в ефективності роботи антенних систем, оскільки дозволяє регулювати параметри випромінювання в режимі реального часу, підвищуючи якість сигналу та зменшуючи перешкоди. Додатково, застосування радіочастотної комутаційної матриці з високими характеристиками забезпечує стабільність і надійність роботи системи в

					КВРТР.2021007.01.07 ПЗ	Арк.
						46
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

реальних умовах, що є критично важливим для розробки сучасних бездротових систем зв'язку та енергозбору.

Запропонована антена була виготовлена на підкладці Rogers RT/duroid 6002™. Підкладка має товщину 0,76 мм, діелектричну проникність (ϵ_r) 2,94, тангенс діелектричних втрат ($\tan\delta$) 0,0012 і товщину мідного шару 0,0035 мм. Цей матеріал підкладки обрано через його сприятливі електромагнітні властивості, які забезпечують низькі втрати та стабільні діелектричні характеристики, що є важливими для роботи антени на високих частотах. Оптимізовані геометричні параметри антени, включаючи розміри диполів, відстані між елементами та розміщення директорів, наведені в підписі до рисунка 3.2. Ці параметри були ретельно підібрані для забезпечення максимальної ефективності та спрямованості антени, що дозволяє покращити її характеристики у різних режимах роботи.

Використання підкладки з такими специфікаціями забезпечує надійну роботу антени в широкому діапазоні частот, мінімізуючи діелектричні втрати та забезпечуючи стабільність параметрів при зміні температури та вологості. Це робить антену придатною для застосування в умовах, де висока надійність і стабільність сигналу є критичними, зокрема в бездротових системах зв'язку, радіолокаційних системах та інших високотехнологічних додатках.

Детальна оптимізація геометричних параметрів дозволяє досягти максимальної продуктивності антени, забезпечуючи ефективне випромінювання та прийом сигналів. Це також сприяє мінімізації відбитих хвиль та втрат, що є важливим для забезпечення якісного зв'язку та енергозбору.

Модель еквівалентної схеми показана на рисунку 3.4, яка надає детальне пояснення роботи запропонованої антени. Ця модель спрощує розуміння функціонування антени. Збудження розподіляється між вісьмома гілками, кожна з яких оснащена ВЧ-перемикачем, що дозволяє реконфігурацію. Лінія живлення представлена індуктором, позначеним як L_f . Для моделювання дипольної антени

					КВРТР.2021007.01.07 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

була прийнята чотириелементна модель еквівалентної схеми, яка включає паралельне з'єднання елементів R_d , L_d і C_{d1} , розташованих послідовно з елементом C_{d2} .

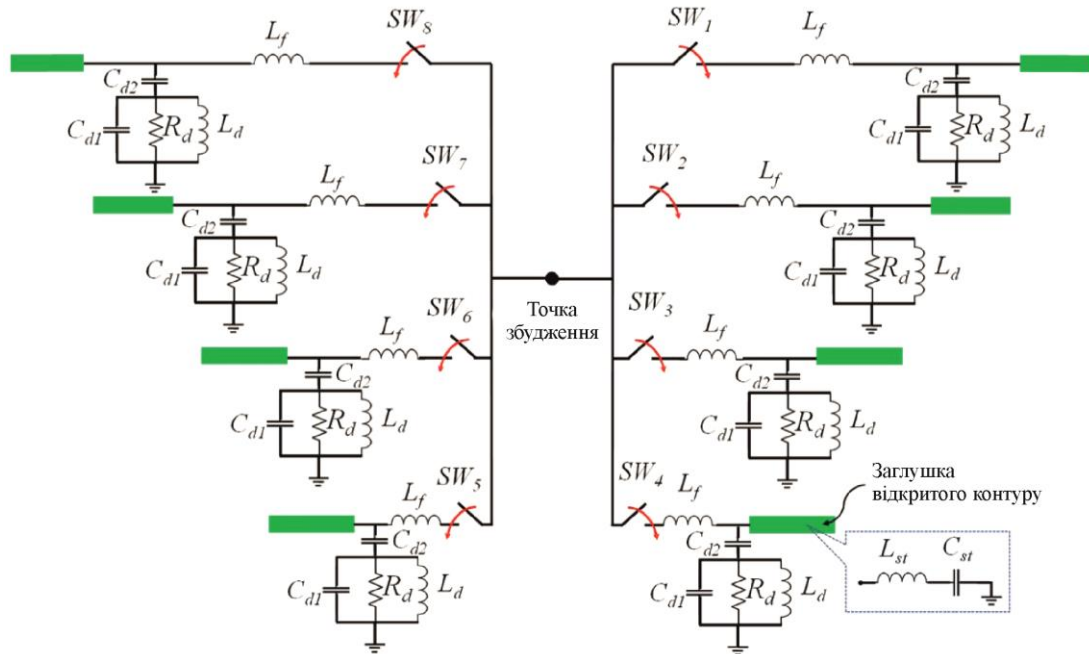


Рисунок 3.4 – Модель еквівалентної схеми запропонованої конструкції антени

Крім того, моделювання кожного $\lambda/4$ розімкнутого кола, що пов'язане з лінією живлення, виконується як послідовне LC-коло, що складається з індуктора L_{st} і конденсатора C_{st} . Ця додаткова модель дозволяє більш точно описати резонансні властивості антени та її здатність до реконфігурації в різних режимах роботи. Індуктивність та ємність кожного розімкнутого кола можуть бути налаштовані для досягнення бажаних характеристик антени, таких як частота резонансу та коефіцієнт підсилення. Це дозволяє підвищити ефективність та адаптивність антени до різних умов експлуатації та потреб користувачів.

Запропонована еквівалентна схема забезпечує наочне уявлення про електричні характеристики антени, що сприяє кращому розумінню її

функціонування та спрощує процес оптимізації параметрів. Використання ВЧ-перемикачів у кожній гілці дозволяє динамічно змінювати конфігурацію антени, оптимізуючи її характеристики під різні умови експлуатації. Індуктор L_f у лінії живлення забезпечує узгодження імпедансу, що є критичним для мінімізації втрат і забезпечення ефективної передачі сигналів.

Чотириелементна модель дипольної антени забезпечує точне представлення її електричних властивостей, включаючи резонансні частоти та діаграму спрямованості. Послідовне LC-коло, що моделює $\lambda/4$ розімкнуте коло, додає гнучкості в налаштуванні резонансних частот, що є важливим для досягнення оптимальної роботи антени в різних умовах.

Такий підхід до моделювання та оптимізації антени дозволяє створити більш ефективні та надійні бездротові системи, здатні адаптуватися до змінних умов середовища та вимог користувачів.

3.4 Висновок до третього розділу

У цьому розділі детально розглянуто конструкцію та живлення реконфігурованої антени для ефективного збору енергії. Основні переваги реконфігурованих антен включають їхню гнучкість, здатність до адаптації в реальному часі до змінних умов експлуатації, та можливість оптимізації для збору енергії з різних джерел і частотних діапазонів. Розглянуті конфігурації збору енергії з різних радіочастотних джерел показали, що використання реконфігурованих антен дозволяє зменшити розмір системи, забезпечити краще узгодження імпедансів та підвищити загальну ефективність роботи.

Конструкція реконфігурованої восьмидипольної антени, яка складається з восьмидипольної конфігурації на заземленій площині, демонструє високий потенціал для бездротового збору енергії. Використання збалансованого транслятора та $\lambda/4$ L-подібної розімкнутої заглушки дозволяє більш точно

					КвРТР.2021007.01.07 ПЗ	Арк.
						49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

налаштовувати резонансну частоту і забезпечує ефективне живлення диполя. Крім того, інтеграція антени з випрямним контуром через узгоджувальний контур створює структуру ректенни, що може підключатися до акумуляторної батареї або безпосередньо до навантаження, сприяючи створенню надійних і ефективних систем збору енергії.

Таким чином, реконфігуровані антени не тільки покращують продуктивність систем збору енергії, але й відкривають нові можливості для інтеграції в системи Інтернету речей (IoT) та інші автономні пристрої, що сприяє розвитку сталої технологічної інфраструктури.

					КВРТР.2021007.01.07 ПЗ	Арк.
						50
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

4 РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ РЕКОНФІГУРОВАНОЇ АНТЕНИ

Анени є ключовим компонентом будь-якої системи бездротового зв'язку, оскільки вони відповідають за випромінювання та прийом електромагнітних хвиль. Ефективність і характеристики антен визначають якість зв'язку, дальність передачі сигналу та надійність роботи системи.

Основи роботи антен можна описати через кілька важливих аспектів, кожен з яких відіграє важливу роль у забезпеченні оптимального функціонування антенних систем.

1. Принцип випромінювання.

Анени виконують роль перетворювачів, які перетворюють електричні сигнали в електромагнітні хвилі для передачі, і навпаки, перетворюють прийняті електромагнітні хвилі в електричні сигнали. Це відбувається за рахунок коливань електричних струмів і напруг у провідниках антени, що створюють змінні електромагнітні поля. Коли високочастотний струм проходить через антену, він створює змінне електромагнітне поле, яке випромінюється в навколишній простір. Аналогічно, прийняте електромагнітне поле індукуює струми в антені, перетворюючи хвилю назад в електричний сигнал.

2. Параметри антен.

Ключові параметри антен, які визначають їх ефективність і застосування, включають:

- діаграма спрямованості – це графічне представлення розподілу потужності випромінювання антени в різних напрямках. Діаграма спрямованості показує, як антена випромінює енергію в просторі, і може бути одновісною або двовісною. Вона важлива для розуміння того, як антена розподіляє енергію в просторі, що впливає на дальність і якість зв'язку в різних напрямках.

					КвРТР.2021007.01.07 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

- коефіцієнт підсилення (Gain) – відношення інтенсивності випромінювання антени в певному напрямку до інтенсивності випромінювання ідеальної ненаправленої антени. Коефіцієнт підсилення вимірюється в децибелах (dB) і вказує, наскільки ефективно антена випромінює або приймає енергію в порівнянні з ідеальною антеною.

- коефіцієнт стоячої хвилі (VSWR) – показує узгодження антени з фідерною лінією. Низький VSWR означає хороше узгодження і мінімальні втрати потужності. Високий VSWR свідчить про невідповідність, що може призвести до відбиття сигналу назад в передавач і зниження ефективності системи.

3. Типи антен.

Різноманітність типів антен дозволяє вибрати оптимальний варіант для конкретних додатків, залежно від необхідних характеристик. Дипольні антени є одним з найпростіших і найпоширеніших типів антен, які складаються з двох провідників однакової довжини, розташованих на одній лінії. Завдяки своїй простоті конструкції і ефективності, дипольні антени використовуються в багатьох додатках, що робить їх чудовим вибором для нашого дослідження.

У цьому дослідженні було прийнято рішення використовувати дипольну антену через кілька ключових причин. По-перше, її конструкційна простота дозволяє легко виготовляти та інтегрувати антену в систему. Це особливо важливо на початкових етапах розробки, коли необхідно швидко отримати робочу модель для проведення тестів і налаштувань.

По-друге, дипольні антени мають добре вивчені і передбачувані характеристики, що дозволяє точніше моделювати та аналізувати результати експериментів. Ця передбачуваність робить дипольні антени ідеальними для використання в дослідницьких і освітніх цілях.

					КвРТР.2021007.01.07 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

По-третє, дипольні антени забезпечують ефективний і рівномірний розподіл випромінювання в горизонтальній площині, що є важливим для багатьох видів радіозв'язку. Їх всеспрямованість і здатність працювати в широкому діапазоні частот забезпечує гнучкість в застосуванні, що підвищує загальну ефективність системи.

Вибір дипольної антени в цьому дослідженні обумовлений її конструкційною простотою, передбачуваністю характеристик і ефективністю роботи в широкому діапазоні частот, що робить її оптимальним рішенням для даних експериментів і додатків.

У цьому розділі розглянуті результати експериментів, спрямованих на дослідження реконфігурованих антен. Аналіз цих результатів дозволить отримати глибше розуміння функціональності та ефективності цієї технології. Проведені експерименти відіграють ключову роль у визначенні потенційних переваг та можливостей реконфігурованих антен у різних сферах застосування.

4.1 Результати коефіцієнта відбиття

Для перевірки властивостей реконфігурації запропонованої антени було проведено її проектування та оптимізацію за допомогою моделювання повнохвильового аналізу, використовуючи ANSYS High Frequency Structure Simulator (HFSS). На рисунку 4.1 порівняно чисельні та експериментальні результати коефіцієнта відбиття антени, коли перемикач SW_1 увімкнено, а всі інші перемикачі вимкнені.

Важливо відзначити, що запропонована антена демонструє стабільні характеристики коефіцієнта відбиття під час керування діаграмою спрямованості у різних заданих напрямках випромінювання. Для цього дослідження було обрано робочий діапазон частот від 4 до 4,5 ГГц у смузі частот

					КвРТР.2021007.01.07 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

нижче 6 ГГц. Водночас параметри антени можна налаштовувати для різних частотних діапазонів.

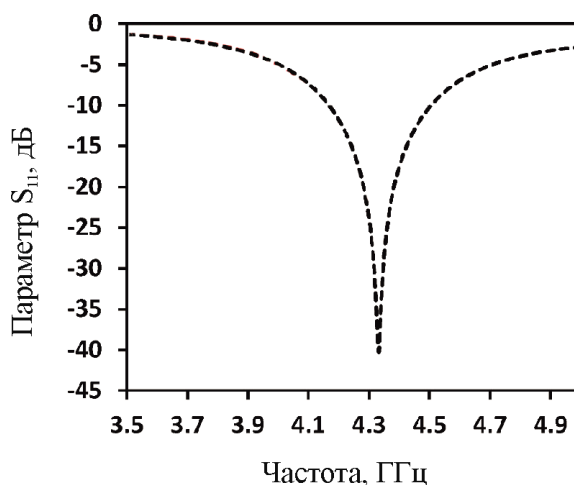


Рисунок 4.1 – Експериментальні результати запропонованої реконфігурованої антени, коли SW₁ знаходиться у стані «on», тоді як інші перемикачі знаходяться у стані «off»

Запропонована антена функціонує в діапазоні від 4,17 до 4,5 ГГц, забезпечуючи імпедансну смугу пропускання 7,6%. Для детального дослідження були проведені параметричні дослідження, щоб проаналізувати вплив різних параметрів антени, таких як довжина $\lambda/4$ L-подібного відкритого відведення, довжина диполя та місце живлення. На рисунку 4.2 представлено результати цих параметричних досліджень.

Такі детальні параметричні дослідження дозволяють зрозуміти, як різні конструктивні параметри впливають на характеристики антени. Зокрема, оптимізація довжини L-подібного відкритого патрубку допомагає налаштовувати резонансні частоти антени, що є важливим для забезпечення її ефективної роботи в різних умовах. Аналіз довжини диполя і місця живлення дозволяє оптимізувати діаграму спрямованості та імпедансні характеристики антени, що сприяє поліпшенню її загальної продуктивності.

Цей підхід забезпечує створення антени, яка може ефективно функціонувати в різних частотних діапазонах, адаптуючись до змінних умов експлуатації. Таким чином, запропонована антена демонструє високу гнучкість і ефективність, що робить її перспективною для використання в сучасних бездротових системах зв'язку.

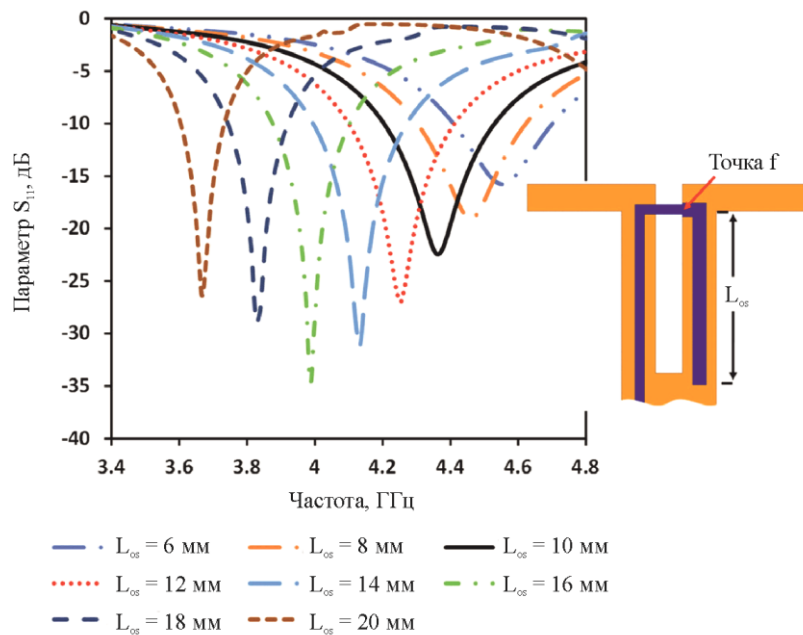


Рисунок 4.2 – Дослідження параметра S_{11} для різної довжини кола розімкнутого кола $\lambda/4$ (L_{OS})

Регулювання довжини кола розімкнутого кола $\lambda/4$ (L_{OS}) дозволяє досягти узгодження на різних робочих частотах диполя, як показано на рисунку 4.2. Коротша довжина шлейфа забезпечує узгодження на вищій частоті для дипольної антени. Навпаки, збільшення довжини шлейфа дозволяє налаштувати узгодження на нижчій частоті. Додатково, робочу частоту можна налаштовувати, змінюючи довжину диполя (L_d), що показано на рисунку 4.3.

Зміщення положення точки подачі впливає на вхідний опір, а отже, і на узгодження антени. Дослідження почалося з розміщення точки подачі у диполі як опорного положення (коли подача знаходиться в точці f , тобто $L_f = 0$ мм), як

показано на рисунку 4.4. Потім точка подачі зміщувалася від диполя до місця збудження. Це зміщення незначно впливає на резонансну частоту, як видно на рисунку 4.4, де струми в паралельних лініях заземленої площини взаємно компенсуються. Проте, зміщення головним чином впливає на узгодження, оскільки вхідний імпеданс змінюється зі зміною місця подачі.

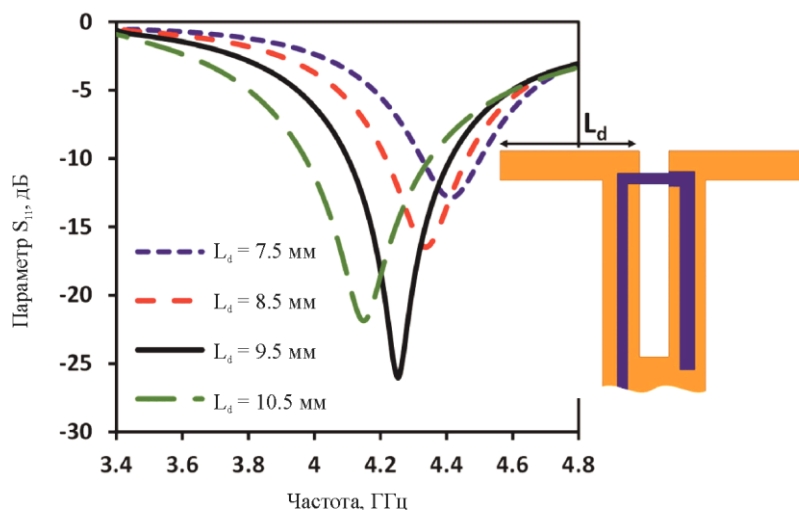


Рисунок 4.3 – Дослідження параметра S_{11} для різної довжини диполя (L_d)

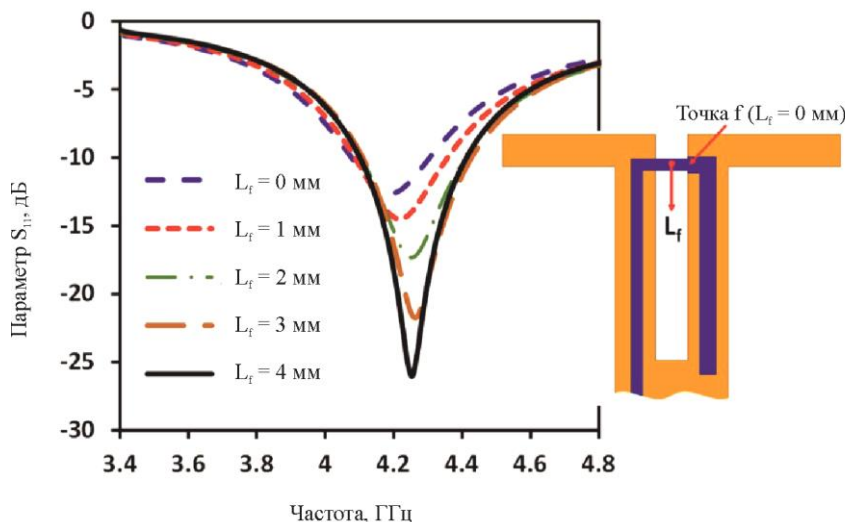


Рисунок 4.4 – Дослідження параметра S_{11} для різних положень точки живлення

Таким чином, робочу частоту та узгодження антени можна налаштувати шляхом маніпуляції такими параметрами, як L_{OS} , L_d та L_f . Як показано на

рисунку 4.2, регулювання довжини відкритого шлейфа дозволяє налаштувати частоту антени в діапазоні від приблизно 3,7 ГГц до 4,6 ГГц. Цей частотний діапазон відповідає запропонованому спектру sub-6 5G. Хоча дане дослідження було зосереджене на частоті 4,3 ГГц, налаштування частоти може бути легко адаптоване до різних діапазонів.

На рисунку 4.5 показано розподіл поверхневого струму для різних станів перемикачів, де видно концентрацію струму в кожній гілці, коли відповідний перемикач знаходиться у стані «on». Це демонструє, як налаштування перемикачів може змінювати діаграму спрямованості та робочу частоту антени, забезпечуючи гнучкість та адаптивність для різних додатків.

Під час проведення вимірювань використано радіочастотну комутаційну матрицю Mini-Circuits USB-8SPDT-A18. Ця матриця призначена для роботи в широкому діапазоні частот від постійного струму до 18 ГГц і має високу ізоляцію (85 дБ) та низькі втрати сигналу (0,2 дБ). Вона виконувала дві основні функції: вмикання/вимикання сигналів та управління процесом електронного керування. Завдяки цій матриці комутації можна електронним шляхом переключатися між різними напрямками головного променя запропонованої реконфігурованої антени, що забезпечувало гнучкість і адаптивність системи. Нижче наведено короткий огляд послідовності дій для виконання моделювання та вимірювань.

За допомогою цієї комутаційної матриці є можливість швидко та з точністю здійснювати зміну налаштувань антени за допомогою програмного керування, що дозволяло ефективно досліджувати різні конфігурації та режими роботи антенної системи.

Під час вимірювань, замість PIN-діодів, використовувалася комутаційна матриця. У цій новій схемі, антена була підключена до комутаційної матриці за

					КвРТР.2021007.01.07 ПЗ	Арк.
						57
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

допомогою лише з'єднувальних проводів. Рисунок 4.5 ілюструє принципову схему матриці перемикачів та її підключення.

Для оцінки впливу використання матриці перемикачів під час моделювання, використовували файли S2P, надані виробником. Ці файли характеризують стани увімкнення та вимкнення матриці. Для цього видалено PIN-діоди та замінили їх блоками S2P між клемми кожного перемикача.

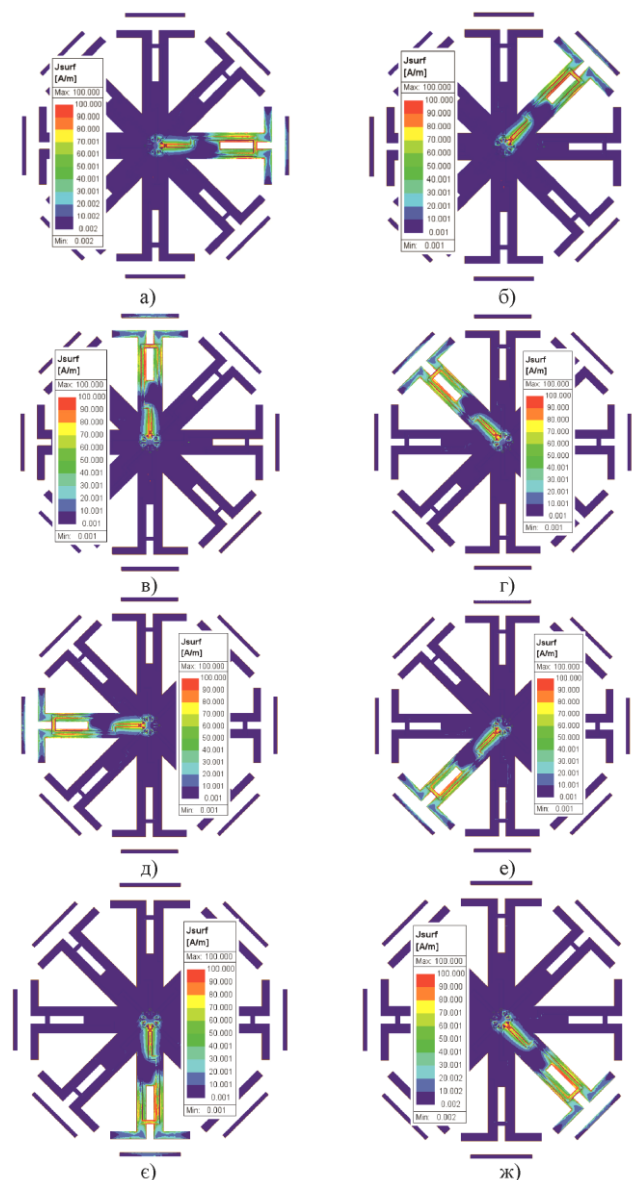


Рисунок 4.5 – Розподіл поверхневого струму, коли стани перемикачів увімкнено

а) – SW₁, б) – SW₂, в) – SW₃, г) – SW₄, д) – SW₅, е) – SW₆, є) – SW₇, ж) – SW₈

Для включення блоків S2P у модель використовувався симулятор Keysight ADS, що дозволяв забезпечити спільне моделювання між схемою та імпульсом, як показано на рисунку 4.6. Цей підхід дозволив реалізувати комутацію між різними станами системи та дослідити їх вплив на поведінку моделі. Для здійснення перемикачів між станами було використано два файли формату S2P: один для увімкненого та один для вимкненого стану. Це дозволило проводити комплексний аналіз та оптимізацію системи в умовах змінних параметрів, що відображає реальні умови експлуатації. Такий підхід сприяв збільшенню точності моделювання та покращенню результатів аналізу. Для контролю стану перемикачів під час вимірювань використовувалося програмне забезпечення матриці.

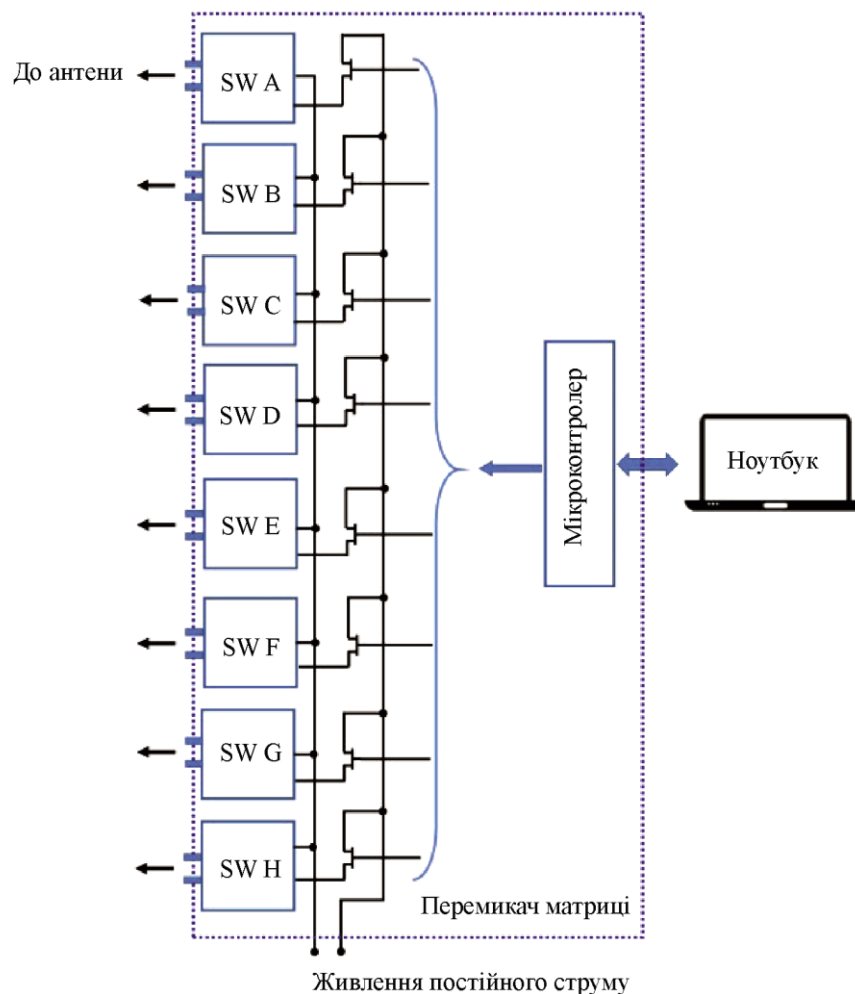


Рисунок 4.6 – Принципова схема комутаційної матриці

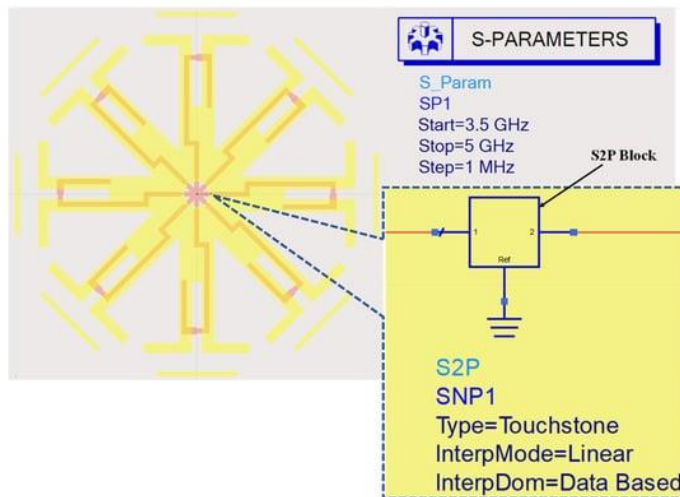


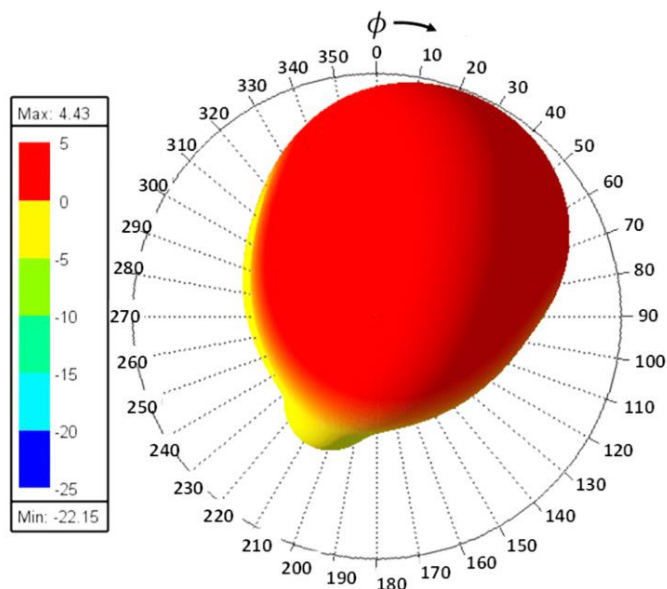
Рисунок 4.7 – Модель ADS, яка використовується для спільного моделювання між схемою та імпульсом

4.2 Радіаційні характеристики

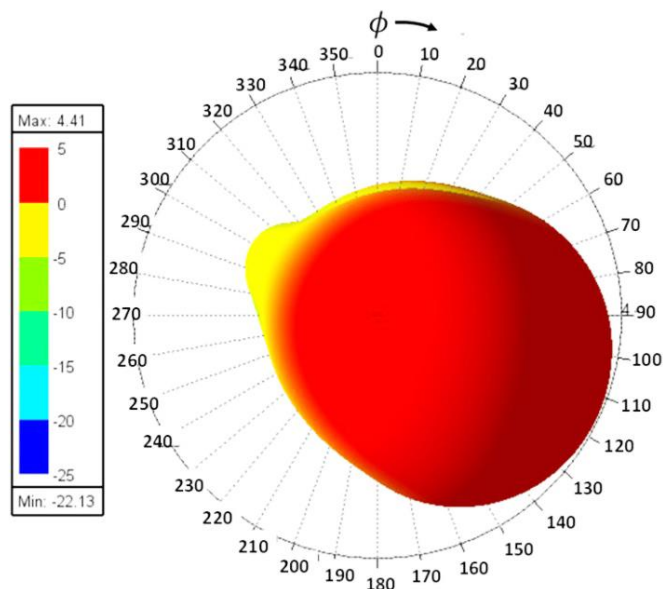
Керуючи станом матриці перемикачів, можна досягти випромінювання під різними кутами, що дозволяє забезпечити широкий охоплення зони цілі (0° , 45° , 90° , 135° , 180° , 225° , 270° і 315°). Відповідно до вказаних кутів, антена може забезпечити покриття від вертикальних до горизонтальних напрямів, що робить її ефективною для різноманітних застосувань, таких як мобільні та безпілотні системи зв'язку, радіолокація та інші. Середній коефіцієнт підсилення в розмірі 4,2 дБі та ефективність випромінювання на рівні 80% підтверджують високу продуктивність антени та її здатність забезпечувати стабільне та потужне сигнальне покриття.

Керування кількістю активованих перемикачів у стані «оп» дозволяє здійснювати більш точне налаштування діаграми спрямованості з меншим кутовим кроком. Цей підхід робить антену більш гнучкою і адаптивною до конкретних умов зв'язку, дозволяючи ефективно керувати напрямком випромінювання сигналу. Наприклад, одночасне активування SW1 і SW2 дозволяє спрямувати діаграму спрямованості до середини між диполями цих

двох перемикачів (при $\phi = 22,5^\circ$), що розширює можливості використання антени в різних сценаріях зв'язку. На рисунку 4.8 показано такий приклад, де діаграми спрямованості отримані шляхом з'єднання SW_1 і SW_2 , а також SW_3 і SW_4 , спрямовані на $\phi = 22,5^\circ$ і $\phi = 112,5^\circ$ відповідно.



а)



б)

Рисунок 4.8 – Тривимірні діаграми спрямованості, коли: а) – SW_1 і SW_2 увімкнено, і б) – SW_3 і SW_4 увімкнено

від 30 до 40 дБ, що свідчить про високу якість спрямованого випромінювання та ефективність антени у різних умовах експлуатації.

Крім того, високий рівень співвідношення осей антени в основному напрямку діаграми спрямованості свідчить про її здатність до забезпечення стабільного та однакового усвідомлення сигналу в усіх напрямках. Це робить антену ефективним інструментом для різних додатків, де важлива стабільна та надійна комунікація. Додатково, лінійна поляризація дозволяє ефективно взаємодіяти з іншими антенами та пристроями, що використовуються у мережі зв'язку, підвищуючи сумісність та забезпечуючи оптимальну якість зв'язку.

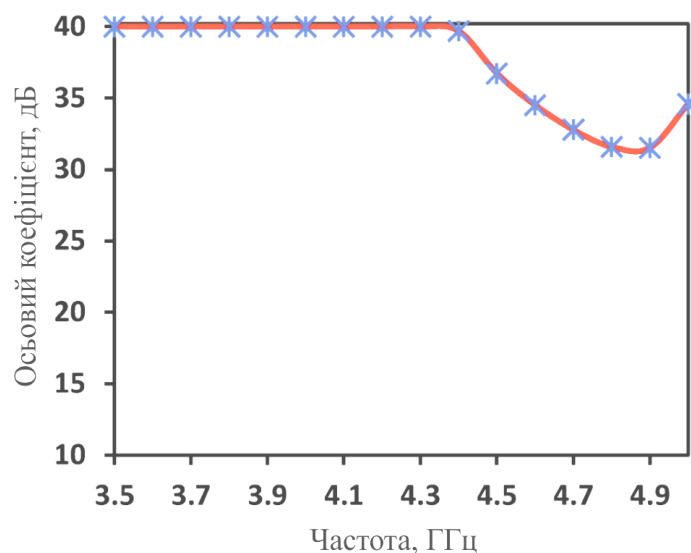


Рисунок 4.10 – Осьове співвідношення пропонованої антени

4.3 Висновок до четвертого розділу

У цьому розділі були представлені результати експериментального дослідження реконфігурованої антени. Аналіз отриманих даних дозволив зрозуміти функціональність та ефективність цієї технології. Виявлені переваги та можливості реконфігурованих антен в різних сферах застосування підтверджують їх значний потенціал у розвитку програм збору енергії. Зокрема, електронне керування антеною дозволяє ефективно поглинати енергію з різних

джерел під різними кутами обертання. Використання збалансованого транслятора та перевірка продуктивності антени підтвердили високий рівень узгодженості, що свідчить про точність та надійність її конструкції.

Результати експериментального дослідження підтвердили, що реконфігуровані антени можуть бути ефективним інструментом у сучасних системах збору енергії, забезпечуючи зручність та гнучкість у використанні. Вони дозволяють оптимально використовувати різні джерела енергії та максимізувати її збір навіть у змінних умовах. Крім того, високий рівень узгодженості та продуктивності антени підкреслює її важливість у сучасних технологіях зв'язку та збору даних, де надійність та точність є критичними факторами успіху. Такі результати відкривають шлях до нових можливостей у розвитку та вдосконаленні систем енергетичного забезпечення, сприяючи подальшому просуванню в області сучасних технологій.

					КВРТР.2021007.01.07 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		64

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі запропоновано інноваційну антену з реконфігурацією діаграми спрямованості, що відкриває нові можливості для розвитку програм збору енергії. Ця антена володіє унікальною здатністю електронного керування під різними кутами обертання, охоплюючи повний 360° , що робить її вельми ефективною у поглинанні енергії з різних джерел, незалежно від їхнього розташування.

Важливим елементом антени є збалансований транслятор з шлейфом розімкнутого кола $\lambda/4$, який допомагає досягти високого рівня узгодження. Проведена перевірка продуктивності антени в різних напрямках за допомогою матриці радіочастотного перемикаччя підтвердила її точність та надійність, підкреслюючи високий рівень узгодженості конструкції антени.

Отримані результати вказують на значний потенціал застосування цієї антени у безлічі сфер, включаючи бездротові технології, телекомунікації та енергетику. Вона може стати важливим компонентом для покращення ефективності та надійності систем бездротового зв'язку та збору енергії.

Результати кваліфікаційної роботи демонструють успішну розробку та ефективність антени з реконфігурованою діаграмою спрямованості для збору енергії з різних бездротових джерел. Використання такої антени є важливим кроком у напрямку розвитку програм збору енергії та може мати значний позитивний вплив на бездротові технології та системи.

У процесі виконання роботи було використано сучасні методи та засоби комп'ютерно-інтегрованих технологій для реалізації поставленої мети. Було проведено роботи з дослідження та розробки антени, включаючи реалізацію реконфігурованої діаграми спрямованості та управління нею. Результати цих

					КвРТР.2021007.01.07 ПЗ	Арк.
						65
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

робіт дозволили підтвердити ефективність антени та її можливості у різних умовах та режимах роботи.

Отримані результати можуть мати практичне застосування у безлічі галузей, включаючи телекомунікації, радіолокацію, енергетичні системи та бездротові мережі. Впровадження розробленої системи автоматизації може допомогти підвищити ефективність, скоротити затрати часу та ресурсів, а також покращити якість обслуговування клієнтів.

Зазначені в цій кваліфікаційній роботі методи та результати є важливим внеском у вивчення та розвиток технологій збору енергії з бездротових джерел та можуть послужити основою для подальших наукових досліджень у цій галузі.

					КВРТР.2021007.01.07 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		66

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. N. Kumar, P. Kumar and M. Sharma, “Reconfigurable antenna and performance optimization approach,” *Wireless Personal Communications*, vol. 112, pp. 2187–2212, 2020.
2. A. Kumbhar, “Overview of ISM bands and software-defined radio,” *Wireless Personal Communications*, vol. 97, pp. 3743–3756, 2017.
3. D. A. Sehrai, F. Muhammad, S. H. Kiani, Z. H. Abbas, M. Tufail et al., “Gain-enhanced metamaterial based antenna for 5G communication standards,” *Computers, Materials and Continua*, vol. 64, no. 3, pp. 1587–1599, 2020.
4. P. Reba, G. U. Maheswari and M. S. Babu, “Multiple antenna selection for underlay cognitive radio systems with interference constraint,” *Wireless Personal Communications*, vol. 98, no. 1, pp. 1505–1520, 2018.
5. V. A. Raju, B. T. P. Madhav, P. R. Rao, A. Mukherjee and V. Soundarya, “Analysis of high gain 4X4 square patch antenna array for wireless applications,” *Indian Journal of Science and Technology*, vol. 9, no. 48, pp. 1–7, 2016.
6. G. Makar, D. Kim, N. Tran and T. Karacolak, “Compact antennas with reduced self interference for simultaneous transmit and receive,” *Progress in Electromagnetics Research C*, vol. 78, pp. 19–31, 2017.
7. I. Uchendu and J. Kelly, “Survey of beam steering techniques available for millimeter wave applications,” *Progress in Electromagnetics Research*, vol. 68, no. 1, pp. 35–54, 2016.
8. A. Ghosh, S. Member, T. A. Thomas, M. C. Cudak, R. Ratasuk et al., “Millimeter-wave enhanced local area systems: A high-data-rate approach for future wireless networks,” *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 32, no. 6, pp. 1152–1163, 2014.
9. M. A. Habibi, M. Nasimi, B. Han and H. D. Schotten, “A comprehensive survey of RAN architectures toward 5G mobile communication system,” *IEEE Access*, vol. 7, pp. 70371–70421, 2019.
10. S. N. M. Zainarry, S. J. Chen and C. Fumeaux, “A pattern-reconfigurable single-element microstrip antenna,” in *2018 IEEE Radio and Antenna Days of the Indian Ocean, RADIO 2018, Wolmar, Mauritius*, pp. 1–2, 2018.

					КВРТР.2021007.01.07 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		67

11. Z. Park and J. Lin, “A beam-steering broadband microstrip antenna for noncontact vital sign detection,” *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, vol. 10, pp. 235–238, 2011.
12. K. V. Chandra, M. Satyanarayana and K. T. Battula, “A novel miniature hexagonal shape switched pattern and frequency reconfigurable antenna,” *International Journal of Communication Systems*, vol. 33, no. 5, pp. 2–9, 2020.
13. D. Rodrigo, L. Jofre and B. A. Cetiner, “Circular beam-steering reconfigurable antenna with liquid metal parasitics,” *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 60, no. 4, pp. 1796–1802, 2012.
14. C. W. Baek, S. Song, C. Cheon, Y. K. Kim and Y. Kwon, “2-D mechanical beam steering antenna fabricated using MEMS technology,” in *IEEE MTT-S Int. Microwave Symp. Digest*, Phoenix, AZ, USA, vol. 3, pp. 211–214, 2001.
15. M. H. Dahri, M. H. Jamaluddin, M. I. Abbasi and M. R. Kamarudin, “A review of wideband reflectarray antennas for 5G communication systems,” *IEEE Access*, vol. 5, pp. 17803–17815, 2017.
16. F. A. Asadallah, H. A. Khalek, B. A. A. Modad, J. A. Hosn, J. Costantine et al., “A miniaturized reconfigurable UHF antenna,” in *2018 IEEE Int. Symp. on Antennas and Propagation & USNC/URSI National Radio Science Meeting*, Boston, Massachusetts, USA, pp. 295–296, 2018.
17. N. Nguyen-Trong, L. Hall and C. Fumeaux, “A frequency- and pattern-reconfigurable center-shortened microstrip antenna,” *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, vol. 15, pp. 1955–1958, 2016.
18. X. Guo, Y. Hang, Z. Xie, C. Wu, G. Le et al., “Flexible and wearable 2.45 GHz CPW-FED antenna using inkjet-printing of silver nanoparticles of pet,” *Microwave and Optical Technology Letters*, vol. 59, no. 1, pp. 204–208, 2017.
19. H. Tian, K. Dhvaj, L. J. Jiang and T. Itoh, “Beam scanning realized by coupled modes in a single-patch antenna,” *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, vol. 17, no. 6, pp. 1077–1080, 2018.
20. B. Patir, “A review on various techniques of microstrip patch antenna design for wireless application,” *International Journal of Computer Applications*, vol. 1, pp. 15–17, 2015.
21. Y. M. Cai, K. Li, Y. Yin, S. Gao, W. Hu et al., “A low-profile frequency reconfigurable grid-slotted patch antenna,” *IEEE Access*, vol. 6, pp. 36305–36312, 2018.

22. H. C. Mohanta, A. Z. Kouzani and S. K. Mandal, “Reconfigurable antennas and their applications,” *Universal Journal of Electrical and Electronic Engineering*, vol. 6, no. 4, pp. 239–258, 2019.

23. N. O. Parchin, H. J. Basherlou, Y. I. A. Al-Yasir, A. M. Abdulkhaleq and R. A. Abd-Alhameed, “Reconfigurable antennas: Switching techniques—A survey,” *Electronics (Switzerland)*, vol. 9, no. 336, pp. 1–14, 2020.

24. Z. L. Lu, X. X. Yang and G. N. Tan, “A multidirectional pattern-reconfigurable patch antenna with CSRR on the ground,” *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, vol. 16, pp. 416–419, 2017.

25. B. Ban, Z. Cheng and S. L. Chen, “Center-fed shorting-via-loaded circular patch antenna with reconfigurable polarization and switchable beam,” in *2018 12th Int. Symp. on Antennas, Propagation and EM Theory, ISAPE 2018-Proc.*, Hangzhou, China, pp. 1–3, 2019.

26. M. Jusoh, T. Sabapathy, M. F. Jamlos and M. R. Kamarudin, “Reconfigurable four-parasitic-elements patch antenna for high-gain beam switching application,” *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, vol. 13, pp. 79–82, 2014.

27. F. Gao, G. Shen, J. Lu and W. Wang, “A low profile pattern reconfigurable antenna with enhanced bandwidth and gain,” in *2017 IEEE Int. Symp. on Antennas and Propagation & USNC/URSI National Radio Science Meeting*, San Diego, California, USA, pp. 1647–1648, 2017.

28. P. Lotfi, S. Soltani and R. D. Murch, “Broadside beam-steerable planar parasitic pixel patch antenna,” *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 64, no. 10, pp. 4519–4524, 2016.

29. N. O. Parchin, H. J. Basherlou, Y. I. A. Al-Yasir, R. A. Abd-Alhameed, A. M. Abdulkhaleq et al., “Recent developments of reconfigurable antennas for current and future wireless communication systems,” *Electronics (Switzerland)*, vol. 8, no. 128, pp. 1–17, 2019.

30. T. Sabapathy, R. B. Ahmad, M. Jusoh, M. R. Kamarudin and A. Alomainy, “A pattern-reconfigurable parasitic patch antenna using BAR and HPND PIN diode,” in *8th European Conf. on Antennas and Propagation, EuCAP 2014*, The Hague, Netherlands, pp. 3444–3445, 2014.

31. T. Sabapathy, M. Jusoh, P. J. Soh, R. B. Ahmad and M. R. Kamarudin, “Radiation pattern reconfigurable antenna: The design challenges at GHz frequencies,” in

2016 IEEE Asia-Pacific Conf. on Applied Electromagnetics, APACE 2016, Langkawi, Malaysia, pp. 301–304, 2016.

32. S. N. M. Zainarry, N. Nguyen-Trong and C. Fumeaux, “A frequency- and pattern-reconfigurable two-element array antenna,” *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, vol. 17, no. 4, pp. 617–620, 2018.

33. W. M. Abdulkawi, W. A. Malik, A. F. A. Sheta and M. A. Alkanhal, “A compact dual circular patch pattern reconfigurable antenna,” *Microwave and Optical Technology Letters*, vol. 60, no. 11, pp. 2762–2768, 2018.

34. M. Saravanan and M. J. S. Rangachar, “Design of hexagonal shape reconfigurable antenna for wireless communications,” *Modelling, Measurement and Control A*, vol. 91, no. 2, pp. 37–40, 2018.

35. I. A. Shah, S. Hayat, A. Basir, M. Zada, S. A. A. Shah et al., “Design and analysis of a hexa-band frequency reconfigurable antenna for wireless communication,” *AEU-International Journal of Electronics and Communications*, vol. 98, pp. 80–88, 2019.

36. S. J. Mazlouman, A. Mahanfar, C. Menon and R. G. Vaughan, “A review of mechanically reconfigurable antennas using smart material actuators,” in *Proc. of the 5th European Conf. on Antennas and Propagation, EUCAP 2011, Rome, Italy*, pp. 1076–1079, 2011.

37. P. Sanchez-Olivares and J. L. Masa-Campos, “Mechanically reconfigurable conformal array antenna fed by radial waveguide divider with tuning screws,” *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 65, no. 9, pp. 4886–4890, 2017.

38. C. J. Panagamuwa, A. Chauraya and J. C. Vardaxoglou, “Frequency and beam reconfigurable antenna using photoconducting switches,” *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 54, no. 2, pp. 449–454, 2006.

39. R. Morris, C. Jones and M. Nagaraj, “Liquid crystal devices for beam steering applications,” *Micromachines*, vol. 12, no. 247, pp. 1–27, 2021.

40. M. Wang, M. R. Khan, M. D. Dickey and J. J. Adams, “A compound frequency- and polarization- reconfigurable crossed dipole using multidirectional spreading of liquid metal,” *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, vol. 16, pp. 79–82, 2017.

					КВРПТ.2021007.01.07 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		70

ДОДАТОК А
Презентаційні матеріали

Кафедра автоматизації, комп'ютерно-інтегрованих технологій та робототехніки



Кваліфікаційна робота

РЕКОНФІГУРОВАНА АНТЕНА ДЛЯ ЕФЕКТИВНОГО ЗБОРУ ЕНЕРГІЇ

Виконав:
здобувач 3 курсу, група ТР1с-21-1 Олександр ПИЛИПЧУК

Науковий керівник:
асистент Віталій НОРИК

Основні аспекти дослідження

Мета роботи

розробка та дослідження антени з реконфігурованою діаграмою спрямованості для ефективного збору енергії з різних бездротових джерел



Об'єкт дослідження

антена з реконфігурованою діаграмою спрямованості, яка складається з восьми елементів

Актуальність теми

полягає в необхідності ефективного збору енергії з бездротових джерел для забезпечення автономної роботи пристроїв IoT та 5G у віддалених або важкодоступних місцях, що досягається за допомогою реконфігурованих антен з можливістю керування діаграмою спрямованості

Реконфігуровані топології антен

Діаграма спрямованості
реконфігурованої антени

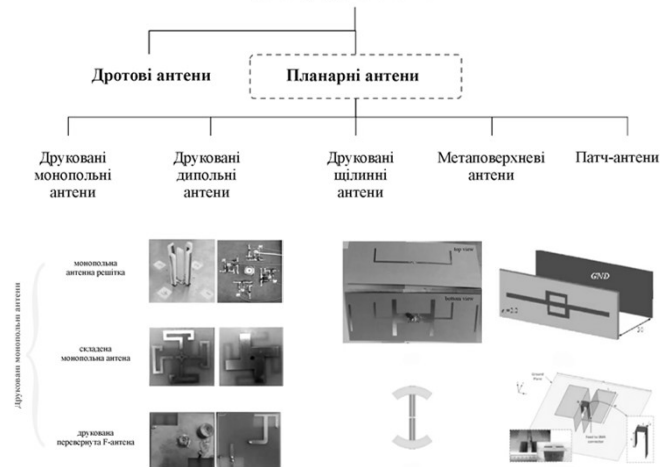


Рис. 1 – Друківані монополійні антени

Рис.2 – Дипольні елементи

Рис. 4 – Метаповерхні антени

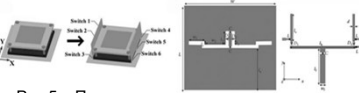
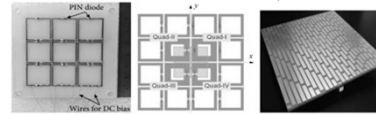


Рис.5 – Патч-антени

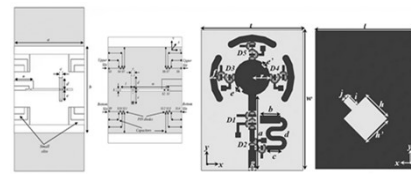


Рис.3 – Друківані шілінні антени

Конфігурація збору енергії з різних РЧ джерел

Основна концепція

- Реконфігурована антена зі спрямованою діаграмою для збору енергії з бездротових джерел
- Перетворення електромагнітних хвиль в електричну енергію для живлення невеликих пристроїв

Переваги реконфігурованих антен

- Оптимізація для збору енергії з різних джерел і частотних діапазонів
- Регулювання діаграми спрямованості, поляризації та частотної характеристики
- Інтеграція з випрямлячами, узгоджувальними мережами та накопичувачами енергії

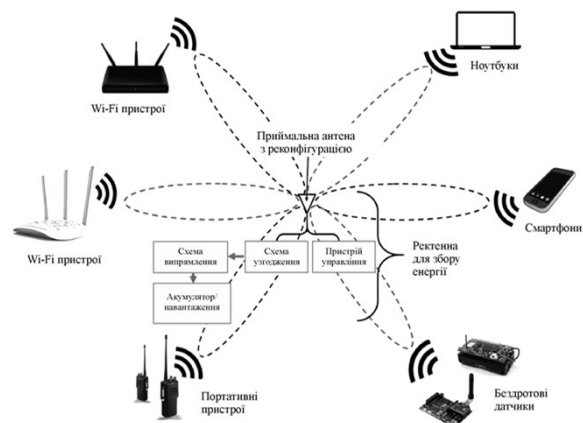


Рис.6 – Конфігурація збору енергії з різних радіочастотних джерел

Конструкція реконфігурованої восьмидипольної антени

Оптимізовані геометричні
параметри антени

$a = 7 \text{ мм}$	$L_3 = 1 \text{ мм}$
$b = 17 \text{ мм}$	$W_1 = 7 \text{ мм}$
$c = 4 \text{ мм}$	$W_2 = 2,5 \text{ мм}$
$d = 10,5 \text{ мм}$	$W_3 = 21 \text{ мм}$
$S = 2 \text{ мм}$	$W_4 = 16 \text{ мм}$
$L_1 = 12 \text{ мм}$	$W_5 = 1 \text{ мм}$
$L_2 = 2 \text{ мм}$	$W_6 = 0,5 \text{ мм}$

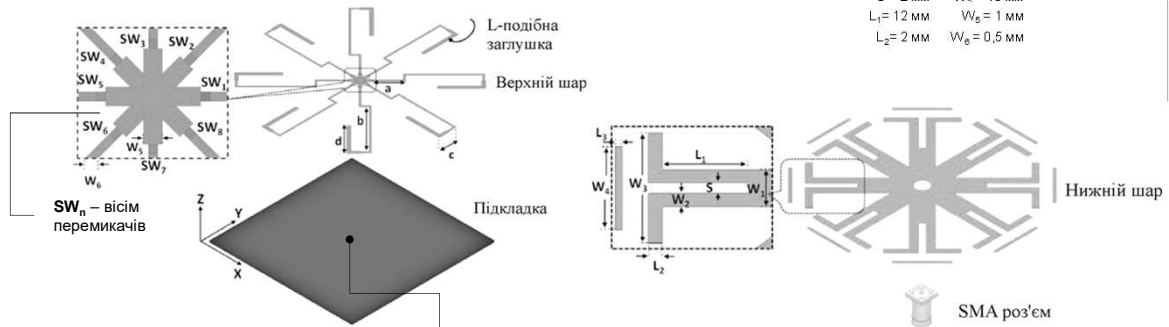


Рис. 7 – 3D конфігурація
складання запропонованої
антени

- Вісім незамкнених шлейфів на верхньому шарі
- Коаксіальний зонд для з'єднання кожного шлейфа з відповідним диполем

Елементи конструкції

- Спільна точка живлення для всіх диполів
- Директори для покращення спрямованості

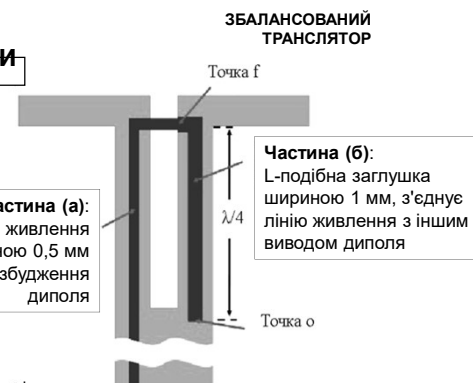
Живлення дипольної антени з використанням $\lambda/4$ L-подібної заглушки



Переваги:

- Гнучкість налаштування резонансної частоти
- Ефективне живлення антени
- Оптимізація резонансних характеристик
- Підвищена ефективність роботи антени

Рис. 8 – Конфігурація
збалансованого транслятора



Функціональність заглушки:

- В точці "о" (відкрита ділянка) - нескінченний імпеданс.
- В точці "f" ($\lambda/4$ від відкритої точки) - коротке замикання з заземленою площиною.
- Забезпечує ефективне живлення і налаштування резонансних характеристик диполя.

Еквівалентна схема та робота антени

Основна ідея: Спрощує розуміння функціонування антени

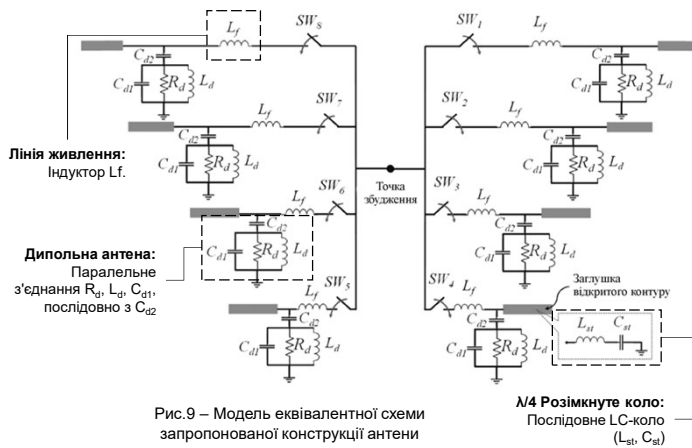


Рис.9 – Модель еквівалентної схеми запропонованої конструкції антени

Розподіл збудження

- Між вісьмома гілками з ВЧ-перемикачами

Динамічна реконфігурація

- Завдяки ВЧ-перемикачам у кожній гілці

Переваги

- **Гнучкість налаштувань:** Індуктивність та ємність для оптимізації резонансних характеристик
- **Покращена ефективність:** Завдяки узгодженню імпедансу (індуктор Lf)
- **Адаптивність:** Під різні умови експлуатації та потреби користувачів

Оптимізація та характеристики запропонованої реконфігурованої антени

Результати коефіцієнта відбиття

Частотний діапазон та стабільність

- Робочий діапазон: 4 – 4,5 ГГц (налаштування для інших діапазонів можливі).
- Стабільна робота при керуванні діаграмою спрямованості.

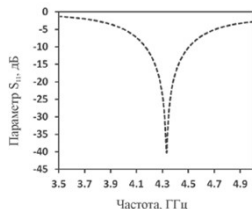


Рис. 10 – Експериментальні результати антени при ввімкненому SW1 і вимкнених інших перемикачах

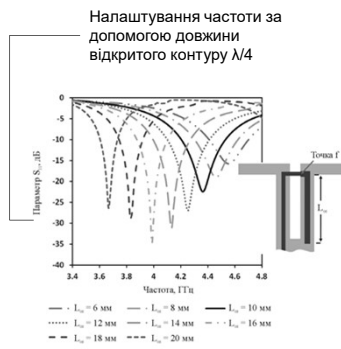


Рис.11 – Дослідження параметра S₁₁ для різної довжини кола розімкнутого кола λ/4 (L_{OS})

Робочий діапазон: **4,17 – 4,5 ГГц**
Імпедансна смуга пропускання: **7,6%**

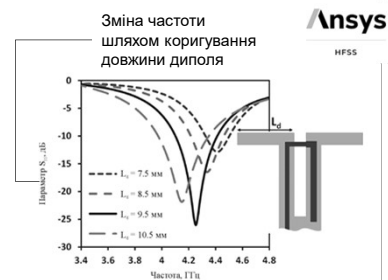


Рис.12 – Дослідження параметра S₁₁ для різної довжини диполя (L_d)

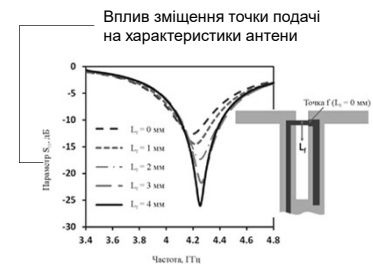


Рис.13 – Дослідження параметра S₁₁ для різних положень точки живлення

Ansys

HFSS

Розподіл поверхневого струму та використання комутаційної матриці

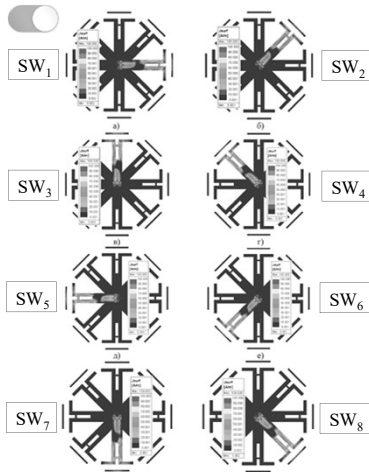


Рис. 14 – Розподіл поверхневого струму при активних станах перемикачів

Розподіл поверхневого струму

- Концентрація струму залежить від стану перемикачів (on/off)
- Змінює діаграму спрямованості та робочу частоту антени

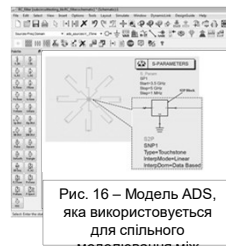


Рис. 16 – Модель ADS, яка використовується для спільного моделювання між схемою та імпульсом

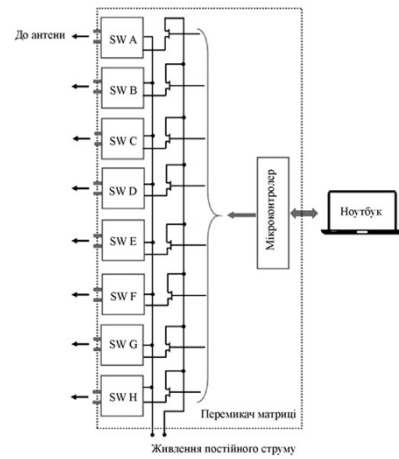


Рис. 15 – Принципова схема комутаційної матриці

Можливості реалізації різноманітних напрямів випромінювання антени з регульованою діаграмою спрямованості

Керування перемикачами для точного налаштування кута

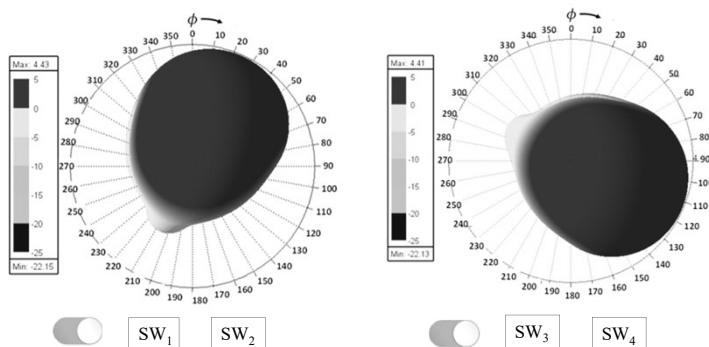


Рис. 17 – Тривимірні діаграми спрямованості

діаграми спрямованості отримані шляхом з'єднання SW₁ і SW₂ спрямовані на $\phi = 22,5^\circ$

діаграми спрямованості отримані шляхом з'єднання SW₃ і SW₄ спрямовані на $\phi = 112,5^\circ$

Широкий діапазон

Антенна забезпечує покриття під кутами **0°, 45°, 90°, 135°, 180°, 225°, 270° і 315°**

Коефіцієнт підсилення **4,2 дБ**

ККД **80%**

Всенаправлений режим роботи та характеристики поляризації антени

Всенаправлений режим забезпечує надійну комунікацію

Характеристики поляризації

- Дипольна антена має лінійну поляризацію
- Високе співвідношення осей (30-40 дБ) свідчить про високу якість спрямованого випромінювання
- Ефективність антени у різних умовах

Широке покриття:

- Мобільні мережі
- Системи навігації
- Радіолокаційні системи

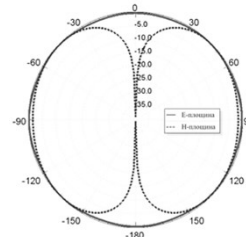


Рис. 18 – Режим всепрямованого поширення, коли всі перемикачі знаходяться в стані «om»

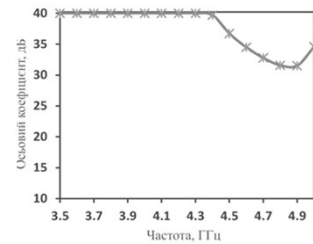


Рис. 19 – Осьове співвідношення антени

Високе співвідношення осей підтверджує якість поляризації

Висновки

Реконфігуровані антени мають великий потенціал для застосування в 5G мережах, радіолокації, космічних дослідженнях та бездротових мережах.

Розроблено інноваційну антену з реконфігурацією діаграми спрямованості, що може ефективно збирати енергію з різних джерел.

Антена має унікальну здатність електронного керування під різними кутами обертання, охоплюючи повний 360°, що робить її вельми ефективною у поглинанні енергії незалежно від її розташування.

Важливим елементом антени є збалансований транслятор з шлейфом розімкненого кола $\lambda/4$, який забезпечує високий рівень узгодження.

Проведено перевірку продуктивності антени в різних напрямках за допомогою матриці радіочастотного перемикачання, що підтвердила її точність, надійність та високий рівень узгодженості конструкції.

Результати досліджень свідчать про значний потенціал застосування цієї антени у безпілоти сфер, включаючи бездротові технології, телекомунікації та енергетику.

Використання розробленої антени може покращити ефективність та надійність систем бездротового зв'язку та збору енергії.

Використані сучасні методи та засоби комп'ютерно-інтегрованих технологій для реалізації поставленої мети та досягнення результатів.

ДЯКУЮ ЗА УВАГУ!

МІНІСТЕРСТВО ОВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

РЕЦЕНЗІЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Дипломник: Реконфігурована антена для ефективного збору енергії

Тема роботи: Пилипчук Олександр Валерійович

Спеціальність 172 «Телекомунікації та радіотехніка»

Обсяг кваліфікаційної роботи

Кількість листів креслень 3 Кількість сторінок записки 70

1. Короткий зміст роботи та прийнятих рішень в результаті виконаного наукового дослідження Метою кваліфікаційної роботи є розробка та дослідження антени з реконфігурованою діаграмою спрямованості для ефективного збору енергії з різних бездротових джерел. У даній кваліфікаційній роботі досліджується восьмиелементна антена з реконфігурованою діаграмою спрямованості для збору енергії з бездротових джерел. Антена керується матрицею радіочастотного перемикачів, що дозволяє охоплювати кути від 0 до 360 градусів із кроком 45 градусів.
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 першому розділі розглянуто сучасні методи та системи збору радіочастотної енергії, а також технології керування антенами з реконфігурованою діаграмою спрямованості. У другому розділі описано теоретичні основи, методи реконфігурації та перспективи застосування реконфігурованих антен. Висвітлено різні підходи до реконфігурації антен. Проаналізовано методи реконфігурації антен за допомогою електронних засобів. У третьому розділі описано конструкційні аспекти та конфігурації збору енергії для реконфігурованих антен. Висвітлено переваги та можливості подальшого розвитку реконфігурованих антен. Описано конструкцію та характеристики восьмидипольної антени. У четвертому розділі представлено результати експериментального дослідження та оцінки характеристик реконфігурованих антен.
4. Позитивні сторони роботи: Робота досліджує інноваційні підходи до розробки антени з реконфігурованою діаграмою спрямованості, демонструючи

її високий рівень ефективності у зборі енергії з різних джерел, а також її застосування у бездротових технологіях та телекомунікаціях.

5. Негативні сторони роботи: Робота могла б бути більш детальною у розгляді можливих перешкод та обмежень, що можуть виникнути під час практичного впровадження запропонованої антени, а також у дослідженні економічних аспектів її використання.

6. Оцінка графічного оформлення та пояснювальної записки роботи: немає

7. Відгук про роботу в цілому: У кваліфікаційній роботі ретельно досліджено та успішно розроблено антену з реконфігурованою діаграмою спрямованості, яка демонструє високу ефективність у зборі радіочастотної енергії з різних джерел та має значний потенціал для застосування у сучасних бездротових та телекомунікаційних системах, що робить її важливим внеском у розвиток цих технологій.

8. Інші зауваження: немає

9. Оцінка кваліфікаційної роботи: Кваліфікаційна робота відповідає встановленим вимогам і заслуговує оцінки добре (3,75/С), а її автор Пилипчук О.В., присвоєння кваліфікації бакалавра зі спеціальності «Телекомунікації та радіотехніка»

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

«14» червня 2024р.


підпис

Ім'я користувача:
Кафедра АКІТіТК

ID перевірки:
1016377062

Дата перевірки:
20.06.2024 07:23:47 EEST

Тип перевірки:
Doc vs Internet + Library

Дата звіту:
20.06.2024 07:26:49 EEST

ID користувача:
100005862

Назва документа: Пилипчук_антиплагіат

Кількість сторінок: 71 Кількість слів: 12658 Кількість символів: 102199 Розмір файлу: 7.26 MB ID файлу: 101618

1517 слів позначені як "вилучені" та не враховуються у підрахунку слів

0.96% Схожість

Найбільша схожість: 0.19% з джерелом з Бібліотеки (ID файлу: 1016179471)

0.76% Джерела з Інтернету 33 Сторінка 73

0.52% Джерела з Бібліотеки 17 Сторінка 73

0% Цитат

Вилучення цитат вимкнене

Вилучення списку бібліографічних посилань вимкнене

0% Вилучень

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

Немає вилучених Інтернет-джерел

0% Вилученого тексту з Бібліотеки 1 Сторінка 73

Модифікації

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

Замінені символи 3

Anti-Plagiarism v-15.257

Максимальне співпадіння з одним документом 0.0%

Словники перевірки: en_US, ru_RU, ua_UA. Помилки в документах: 10%

ID: 131647 Назва: БКР Реконфігурована антена для ефективного збору енергії Додано в БД: 2024-06-20 Автора: Олександр ПИЛИПЧУК Керівники: Віталій НОРИК Консультанти: Опоненти:	Документ		Сумарний збіг по Базі Даних	
	Символи	Лексеми	Символи	Лексеми
	89533	634	315 (0%)	5 (1%)

Джерело плагіату

ID	Опис	Наявність плагіату в документі	
		Символи	Лексеми

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

ІІБ здобувача вищої освіти

ФІТ, 3 курсу, групи ТР1с-21-1

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.

01.06.2024
дата


підпис

РІШЕННЯ ЕКСПЕРТНОЇ 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:

Назва: Реконфігурована антена для ефективного збору енергії

Автор: Пилипчук Олександр Валерійович

Спеціальність: 172 Телекомунікації та радіотехніка

Освітня програма: Телекомунікації та інформаційно-комунікаційні технології

Науковий керівник: Норик Віталій Григорович, асистент

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 укріплення 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 0.22% і адресується до 12 джерел, що, з урахуванням наведених обґрунтувань, відповідає характеру теми і свідчить на користь кваліфікаційної роботи.

Завідувач кафедри

Гарант освітньої програми

Керівник кваліфікаційної роботи







Валерій МАРТИНЮК

Денис МАКАРИШКІН

Віталій НОРИК