

КВАЛІФІКАЦІЙНИЙ ПРОЕКТ

бакалавр  
Освітній рівень

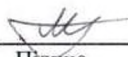
АНТЕНА СУПУТНИКОВОЇ НАВИГАЦІЇ З КУПОЛОПОДІБНОЮ ДІАГРАМОЮ  
СПРЯМОВАНОСТІ  
Назва теми


Галузь знань 17 «Електроніка та телекомунікації»  
Шифр, назва


Спеціальність 123 «Телекомунікації та радіотехніка»  
Шифр, назва

Освітня програма «Телекомунікації, медійні технології та інтелектуальні мережі»  
Назва

КПТР 021027.01.06 ПЗ  
Шифр

Виконав: здобувач III курсу, група TP2c-21-1  М.О. Коваль  
Підпис Ініціали, прізвище

Керівник  1.06.24 С.К. Підченко  
Підпис, дата Ініціали, прізвище

Нормоконтролер  5.06.24 В.І. Стецюк  
Підпис, дата Ініціали, прізвище

До захисту допускаю:  
Зав. кафедри телекомунікацій,  
медійних та інтелектуальних  
технологій

  
Підпис

С.К. Підченко  
Ініціали, прізвище

«12» 06 2024 р.

# ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інформаційних технологій

Кафедра телекомунікацій, медійних та інтелектуальних технологій

Освітній рівень бакалавр

Галузь знань 17 «Електроніка та телекомунікації»

Спеціальність 172 «Телекомунікації та радіотехніка»

Освітня програма «Телекомунікації, медійні технології та інтелектуальні мережі»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри ТМІТ

С.К. Підченко

«15» 02 2024 р.

## ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНИЙ ПРОЄКТ БАКАЛАВРА

Ковалю Максиму Олеговичу

Прізвище, ім'я, по батькові студента

1. Тема проєкту (роботи) Антену супутникової навігації з куполоподібною діаграмою спрямованості

Керівник проєкту (роботи) Підченко С.К., д.т.н., професор.

Прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання

Затверджена наказом ректора університету від 15.02.2024 р. № 8

2. Строк подання студентом проєкту (роботи) на кафедру 10.06.2024 р.

3. Вихідні дані до проєкту (роботи) На основі антени Харченко розробити приймальну антену користувачького сегменту для частоти супутникової навігації (1575 МГц, 1240 МГц) з куполоподібною діаграмою спрямованості і великим, для антен з куполоподібною діаграмою спрямованості, коефіцієнтом підсилення.

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) \_\_\_\_\_

Дослідження роботи антен в системах супутникової навігації

Аналіз і вибір антени для створення куполоподібною діаграми спрямованості

Розробка антени

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень) \_\_\_\_\_

Складальне креслення АП-1 – 2 арк., ф. А3; Складальне креслення АП-1 – 2 арк., ф. А3;

Плата друкована – 1 арк., ф. А3; Плата друкована – 1 арк., ф. А3;

Плата друкована – 1 арк., ф. А3; Плата друкована – 1 арк., ф. А3;

Плата друкована – 1 арк., ф. А4; Плата друкована – 1 арк., ф. А4;

6. Консультанти розділів дипломного проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання « 15 » 02 2024 р.

**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№з/п	Назва етапів (розділів) дипломного проекту (роботи)	Термін виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Вибір напряму дослідження та узгодження тематики кваліфікаційної роботи з керівником	10.01.2024	виконано
2	Ознайомлення з предметною областю; формулювання мети та задач дослідження; визначення об'єкта та предмета дослідження	03.02.2024	виконано
3	Робота над розділом 1 – Дослідження роботи антен в системах супутникової навігації	20.03.2024	виконано
4	Робота над розділом 2 – Аналіз і вибір антени для створення куполоподібної ДС	15.04.2024	виконано
5	Робота над розділом 3 – Розробка антени	29.04.2024	виконано
6	Оформлення пояснювальної записки згідно вимог	20.05.2024	виконано
7	Попередній захист ВКР	26.05.2024	виконано
8	Захист ВКР на засіданні ЕК	червень 2024 року	

Студент





  
Підпис

М.О. Коваль  
Ініціали, прізвище

Керівник роботи

  
Підпис

С.К. Підченко  
Ініціали, прізвище

Формат	Зона	Поз.	Позначення	Назва	Кільк.	Примітка	Перв. застосув.	
							КПТР.21027.0106	
				<u>Текстові документи</u>				
A4		1	КПТР.21027.0106 ПЗ	Пояснювальна записка	57			
				<u>Графічні матеріали</u>				
A3		2	КПТР.21027.0106.01 СК	Антенa АП-1 (1240 МГц)	1			
A3		3	КПТР.21027.0106.02 СК	Антенa АП-1 (1575 МГц)	1			
A4		4	КПТР.21027.0106.03 СК	Друкована плата	4			
A3		5	КПТР.21027.0106.04 СК	Друкована плата	1			
A4		6	КПТР.21027.0106.05 СК	Друкована плата	4			
A3		7	КПТР.21027.0106.06 СК	Друкована плата	1			
A3		8	КПТР.21027.0106.07 СК	Підставка	1			
A3		9	КПТР.21027.0106.08 СК	Підставка	1			
КПТР.21027.0106 ВП								
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Коваль		25.05.24	Літ	Аркцш	Аркцшів	
Перев.		Підченко		27.06.24	Н	1	1	
Нконтр.		Стецюк		30.06.24	ФІТ, ХНУ			
Затв.		Підченко		11.06.24				

Копіював

Формат А4

## АНОТАЦІЯ

Тема кваліфікаційного проєкту: «Антенa супутникової навігації з куполоподібною діаграмою спрямованості».

Автор роботи: Коваль Максим Олегович.

Керівник роботи: Підченко Сергій Костянтинович.

Пояснювальна записка: 57с., 47 рис., 1 дод., 17 джерел.

Графічна частина: 8 креслень.

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** СУПУТНИКОВА НАВІГАЦІЯ, ДІАГРАМА СПРЯМОВАНОСТІ, АНТЕНА ХАРЧЕНКО.

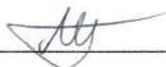
Метою кваліфікаційного проєкту є розробка антени супутникової навігації з куполоподібною діаграмою спрямованості. Поставлена мета досягається дослідженням роботи антен в системах супутникової навігації та розробкою антени з куполоподібною діаграмою спрямованості.

Об'єктом дослідження є процес прийому користувачем сигналів супутникової навігації.

Предметом дослідження є антенa з куполоподібною діаграмою спрямованості.

Практичне значення має спроектована та реалізована антенa з куполоподібною діаграмою спрямованості на основі антени Харченко.

Під час проведення даного дослідження використаний метод систематичного огляду літератури для вивчення і аналізу предметної області даного дослідження з текстових джерел інформації.



Підпис студента

11.06.2024

Дата

## Зміст

Вступ.....	6
1 Дослідження роботи антен в системах супутникової навігації.....	8
1.1 Супутникова навігація. Принцип роботи.....	8
1.2 Види систем супутникової навігації.....	9
1.3 Антени, що використовується в різних сегментах супутникової навігації .....	15
2 Аналіз і вибір антени для створення куполоподібної діаграми спрямованості .....	24
2.1 Основні характеристики антен.....	24
2.2 Антени з куполоподібною діаграмою спрямованості.....	29
2.3 Направленні антени.....	33
2.4 Модифікації антени Харченко.....	40
3 Розробка антени.....	43
3.1 Методики розробки антен.....	43
3.2 Розрахунок розмірів антени.....	44
3.3 Моделювання антени.....	45
3.4 Побудова антени.....	50
3.5 Виготовлення деталей антени.....	52
Висновки.....	55
Перелік використаних джерел .....	56

					<b>КПТР.21027.01.06 ПЗ</b>			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Антена супутникової навігації з куполоподібною діаграмою направленості Пояснювальна записка	Літера	Аркуш	Аркушів
Розроб.		Коваль		10.06		H	5	57
Перевір.		Підченко		10.06		ХНУ, Гр. ТР2с-21-1		
Затверд.		Підченко		10.06				

## ВСТУП

У сучасному світі, де технології швидко розвиваються, супутникова навігація стала невід'ємною частиною нашого життя. Вона використовується в різних сферах: від навігації в автомобілях до управління рухом повітряних і морських суден, БПЛА та дронів. Однією з ключових складових супутникової навігації є антена, яка забезпечує зв'язок з супутниками. Особливе значення мають антени з куполоподібною діаграмою спрямованості, які забезпечують стабільний зв'язок в умовах міського середовища, де є багато перешкод.

Мета роботи полягає в розробці та оптимізації антени супутникової навігації з куполоподібною діаграмою спрямованості. Завданнями є: вивчення сучасних технологій та конструкцій антен супутникової навігації; розробка моделі антени з куполоподібною діаграмою спрямованості; оптимізація параметрів антени для забезпечення максимальної ефективності; проведення експериментів для перевірки працездатності розробленої антени.

На сьогоднішній день, існує багато різних типів антен супутникової навігації, але антени з куполоподібною діаграмою спрямованості виділяються своїми перевагами. Вони забезпечують широкий кут огляду, що дозволяє отримувати сигнал від супутників, розташованих в різних точках небосхилу. У світі існує тенденція до розвитку мініатюрних антен з високими характеристиками, що дозволяє використовувати їх в мобільних пристроях.

Розробка антен супутникової навігації з куполоподібною діаграмою спрямованості пов'язана з такими науковими напрямками, як радіотехніка, теорія антен, обробка сигналів. Ця робота спирається на результати попередніх досліджень в галузі розробки антен для супутникової навігації, а також використовує сучасні методи оптимізації та моделювання.

Розробка та оптимізація антени супутникової навігації з куполоподібною діаграмою спрямованості має велике практичне значення. Така антена може бути використана в різних сферах: від навігації в автомобілях, повітряних і морських

					КПТР.021027.01.06 ПЗ	Арк.
						6
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

суднах до управління рухом БПЛА та дронів. Крім того, вона може бути використана не тільки для керування різними типами дронів але й для їх подавлення, де ці антени будуть входии в стаціонарні системи РЕБ, що будуть генерувати шуми на частотах супутникової навігації для подавлення дронів, які використовують для свого управління частоти супутникової навігації.

					КПТР.021027.01.06 ПЗ	Арк.
						7
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

# 1 ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ АНТЕН В СИСТЕМАХ СУПУТНИКОВОЇ НАВІГАЦІЇ

## 1.1 Огляд принципів роботи супутникової навігації

Супутникова система навігації (GNSS, Global Navigation Satellite System) – це система наземного та космічного обладнання, що призначена для позиціонування в просторі та часі, для визначення швидкості, напрямку та інших параметрів руху об'єкта, яка дає можливість корегувати напрям руху об'єктів при їх відхиленні від запланованого шляху, що є особливо важливим для літаків і кораблів [1]. До системи супутникової навігації входять такі частини:

- орбітальна частина, що складається з супутників, від 2 до 35 в залежності від розміру конкретної системи супутникової навігації, що безперервно передають спеціальні сигнали, що містять дані про час і своє розташування в просторі,

- наземна (керуюча) системи керування та контролю, що за допомогою спеціальних блоків вимірюють поточне положення супутників, передають отримані дані і корегують інформацію про їх орбіти;

- приймальне клієнтське обладнання, що використовується для визначення місцезнаходження обладнання (користувача).

Саме до останньої частини відноситься розроблювання в даній роботі антена.

Принцип дії супутникових систем навігації заснований на вимірюванні відстані від антени приймача на об'єкті до навігаційних супутників, місцезнаходження яких відоме з великою точністю. Таблиця положень супутників – альманах – є в кожному приймачі супутникового сигналу до початку вимірювань. Зазвичай приймач зберігає альманах у пам'яті з часу останнього ввімкнення. Кожний супутник передає в своєму сигналі весь альманах. Таким чином, знаючи відстані до декількох супутників системи, за допомогою звичайних геометричних побудов на основі альманаху вираховується положення об'єкта в просторі [2].

					КПТР.021027.01.06 ПЗ	Арк.
						8
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

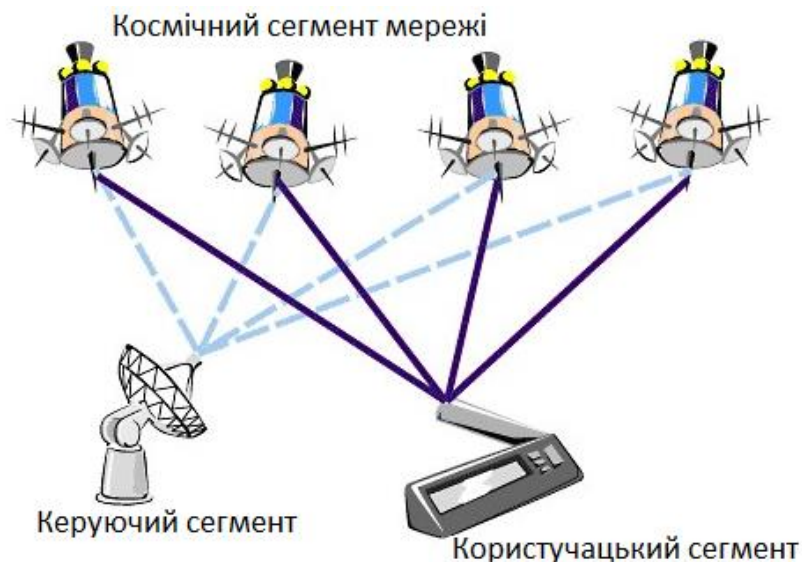


Рисунок 1.1 – Частини системи супутникової навігації

Метод вимірювання відстані від супутника до антени приймача заснований на визначенні швидкості поширення радіохвиль. Для реалізації можливості вимірювання часу поширюваного радіосигналу кожен супутник навігаційної системи випромінює сигнали точного часу, використовуючи синхронізований з системним часом атомний годинник. При роботі супутникового приймача його годинник синхронізується з системним часом, і при подальшому прийомі сигналів супутників обчислюється затримка між часом випромінювання, що міститься в самому сигналі, і часом прийому сигналу антеною приймача. Маючи дану інформацію, навігаційний приймач вираховує координати антени. Решта параметрів руху (швидкість, напрямок, пройдена відстань) обчислюється на основі вимірювання часу, який об'єкт витратив на переміщення між двома або більше точками з координатами, визначеними за попередніми обчисленнями.

## 1.2 Види систем супутникової навігації

На зараз працюють глобальні системи супутникової навігації: американська глобальна система позиціонування (GPS), китайська

					КПТР.021027.01.06 ПЗ	Арк.
						9
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

навігаційна супутникова система BeiDou, європейська навігаційна супутникова система Galileo [8, 9].

NAVSTAR GPS (Global Positioning System Navigation Satellite Time and Ranging) – високоточна супутникова система навігації, яка дозволяє визначити місцезнаходження об'єкта, його широту, довготу та висоту над рівнем моря, а також напрямок і швидкість його руху. Комплекс NAVSTAR розроблений, утілений і належить Міністерству оборони США [4].

Станом на сьогодні основою системи є 32 супутники (активні та резервні), що працюють у єдиній мережі й обертаються на шести кругових орбітах, розташованих під кутом  $60^\circ$  одна до одної. На кожній орбіті розміщено по 4 активні супутники, висота орбіт приблизно дорівнює 20 200 км, нахил орбіти -  $55^\circ$ , а період обертання кожного супутника навколо землі дорівнює 12 годинам. Таким чином, із будь-якої точки земної поверхні зазвичай одночасно видно від чотирьох до дванадцяти таких супутників. Кожні 30 секунд супутник передає навігаційні повідомлення, в яких містяться дані про положення супутника в певний момент часу, дані про якість сигналу, похибку супутникового годинника та коефіцієнти моделі іоносфери. Передача сигналу з супутника відбувається на частоті 1575,42 МГц [8].

Станції керування розміщені в Колорадо-Спрінгз, Дієго-Гарсія, на острові Вознесіння, атолі Кваджелейн і на Гавах. Вся інформація, що проходить через ці станції, записується ними та передається на головну станцію на авіабазі в Шрівері (штат Колорадо).

Звичайна точність сучасних GPS-приймачів в горизонтальній площині становить 5-10 метрів, та 10-20 метрів за висотою. На території США і Канади є станції WAAS, в Європі діють станції EGNOS, які передають поправки для диференційного режиму, що дозволяє збільшити точність обчислення положення до 1-2 метрів. При використанні більш складного додаткового обладнання точність визначення координат можна довести до 10 см. Проте, невисокий нахил орбіт супутників GPS (приблизно  $55^\circ$ ) значно погіршує точність у приполярних

					КПТР.021027.01.06 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

регіонах Землі, оскільки супутники GPS невисоко піднімаються над горизонтом [3].



Рисунок 1.2 – Зовнішній вигляд супутника системи GPS

Бейдоу (Beidou) – китайська супутникова система навігації. Космічний сегмент навігаційної супутникової системи Бейдоу складається з орбітального угруповання змішаного типу, що складатиметься з супутників на орбітах 3 типів (Beidou-3G, Beidou-3I, Beidou-3M) [7].

Система Бейдоу почала функціонувати ще в 2003 році, в комерційну експлуатацію вступила з 27 грудня 2012 як регіональна система позиціонування (лише для азіатсько-тихоокеанського регіону), при цьому супутникове угруповання становило 16 супутників. На сьогодні межі надання послуг позиціонування системою Бейдоу продовжують розширятись. Точність

					КПТР.021027.01.06 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

позиціонування системи для цивільного населення становить менше 10 метрів, точність вимірювання швидкості менше 0,2 метра в секунду [9].



Рисунок 1.3 – Зовнішній вигляд супутника системи Бейдоу

На 2020 рік орбітальне угруповання Бейдоу складається з 35 космічних апаратів, з яких 5 Beidou-3G перебуватимуть на геостаціонарній орбіті (точки  $58,75^\circ$  сх.д.,  $80^\circ$  сх.д.,  $110,5^\circ$  сх.д.,  $140^\circ$  сх.д. і  $160^\circ$  сх.д.), 27 Beidou-3M - на середній круговій орбіті (висота 21 500 км, період обертання 12 год 53 хв, нахил  $55^\circ$ ) і 3 Beidou-3I – на геосинхронних похилих високих орбітах (в трьох площинах, висотою орбіти 35 786 км, нахилом  $55^\circ$ ), підсупутникові точки яких рухаються на поверхні Землі по одній «трасі» у формі вісімки, вісь симетрії якої знаходиться на довготі  $118^\circ$  східної довготи. Це забезпечило перехід системи Бейдоу від статусу регіональної до глобальної системи супутникової навігації [8].

					КПТР.021027.01.06 ПЗ	Арк.
						12
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Галілео (Galileo) – система супутникової навігації Європейського Союзу та Європейського космічного агентства, що розроблена як альтернатива американській системі GPS, що контролюється Міністерствами оборони США [5].

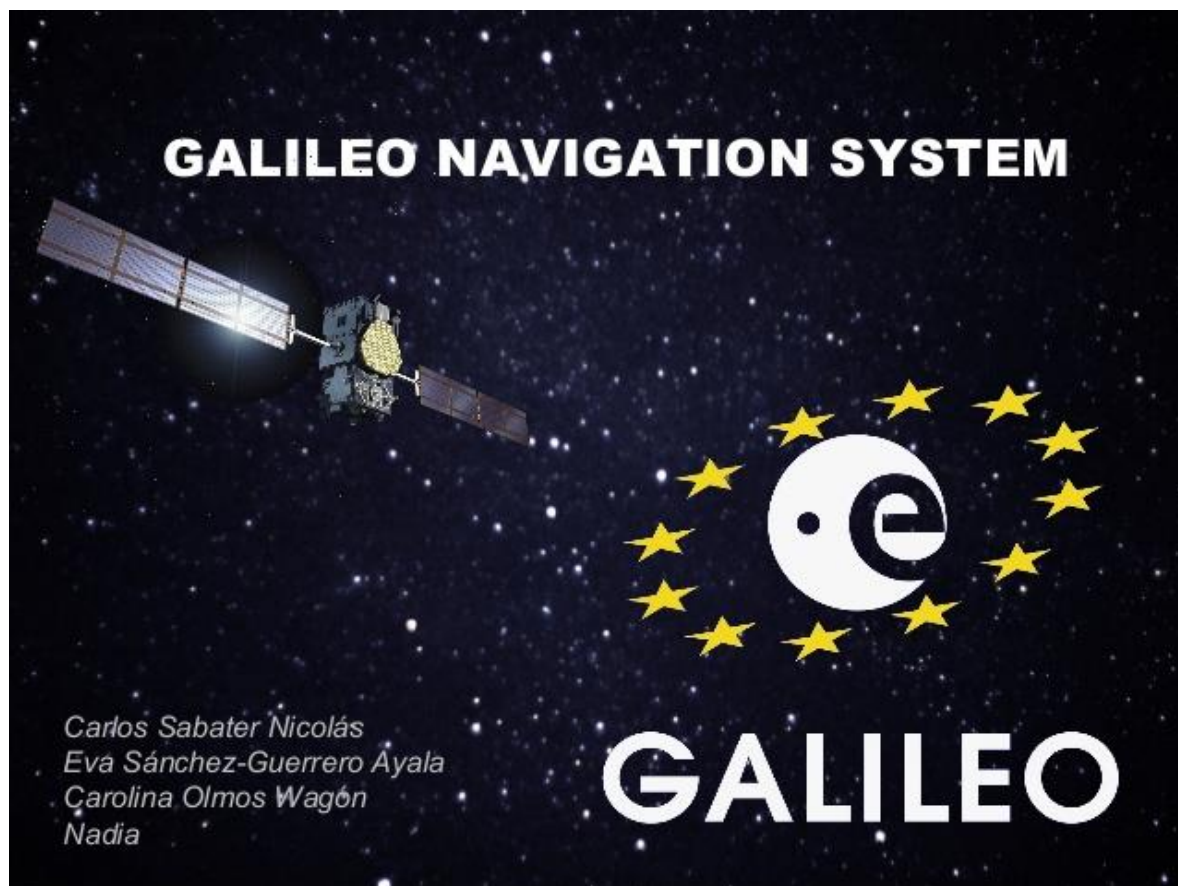


Рисунок 1.4 – Зовнішній вигляд супутника системи Галілео

Система почала діяти з 15 грудня 2016 року в обмеженому режимі. Повністю розгорнута система складатиметься з 27 активних та 3 запасних супутників, що обертатимуться з висотою 23 222 км над поверхнею Землі з нахилом  $56^\circ$  та періодом близько 14 годин в трьох орбітальних площинах із 9 активними та 1 резервним супутником в кожній. Наземна інфраструктура включає два (в майбутньому – 3) центри управління й глобальну мережу передавальних і приймальних станцій. Навігаційні сигнали Галілео забезпечать хороше покриття навіть на широтах до  $75^\circ$  північної широти, а точність

					КПТР.021027.01.06 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

визначення місцезнаходження об'єкта сягатиме 1 м. Станом на кінець квітня 2024 року до угруповання Galileo входять 28 навігаційних апаратів.

Також у системі Галілео доступна додаткова функція - супутники Галілео передаватимуть сигнали тривоги від користувачів до регіональних рятувально-координаційних центрів. У відповідь система надсилатиме сигнал користувачам, повідомляючи, що аварійну ситуацію виявлено, що вважається значним оновленням у порівнянні з наявною системою, яка не забезпечує зворотного зв'язку [6].

### 1.3 Антени, що використовується в різних сегментах супутникової навігації

На всіх космічних апаратах встановлюються велика кількість різноманітних антен, кожна з яких має своє призначення і особливості. Однією з самих розповсюджених і ефективних антен, що легко впізнається на більшості КА, є спіральна антена.

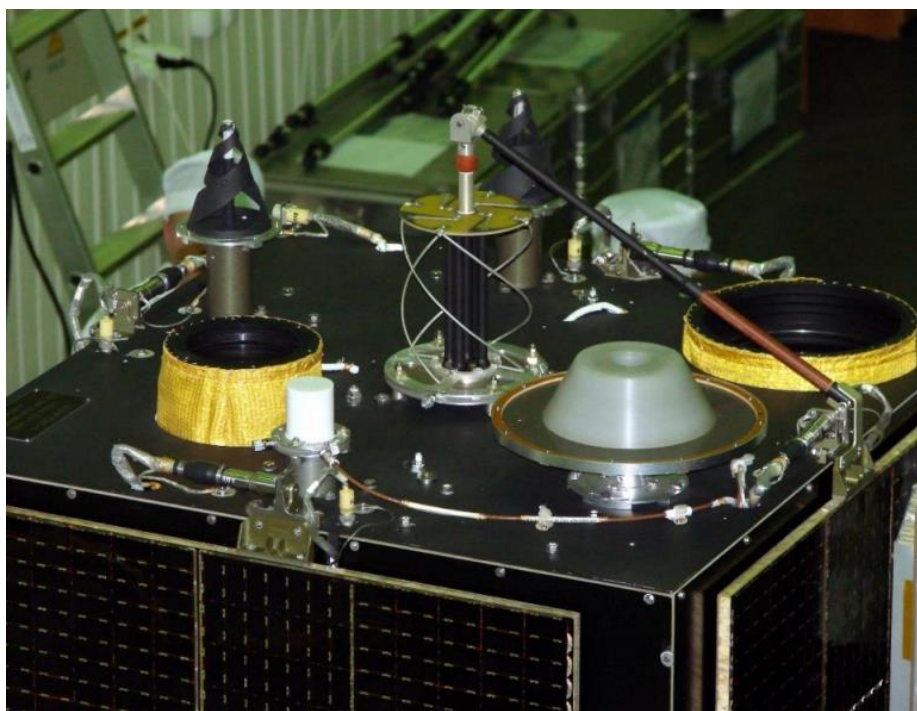


Рисунок 1.5 – Зовнішній вигляд антенного комплексу КА «EgyptSat-1»

					КПТР.021027.01.06 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14



Рисунок 1.6 – Зовнішній вигляд антенного комплексу

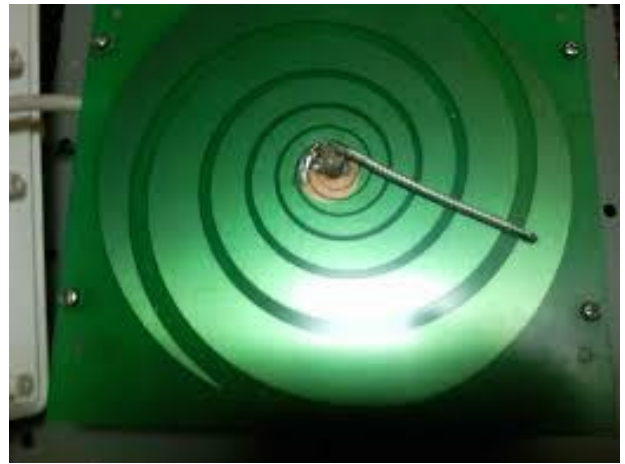
Спіральна антена, діапазонна антена бігучої хвилі, яка випромінює (приймає) електромагнітні хвилі з еліптичною або круговою поляризацією хвиль. Спіральну антену застосовують переважно в дециметровому і сантиметровому діапазонах довжин хвиль - як самостійно, так і як опромінювачі дзеркальних і лінзових антен (наприклад, у системах космічного зв'язку). Розрізняють плоскі та просторові спіральні антени, які також розділяються на два підвиди [11, 12].

Плоску спіральну антену зазвичай виконують у вигляді двухпроводової лінії, кожен провідник (плече) якої має форму архімедової або логарифмічної спіралі.

					КПТР.021027.01.06 ПЗ	Арк.
						15
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



а)

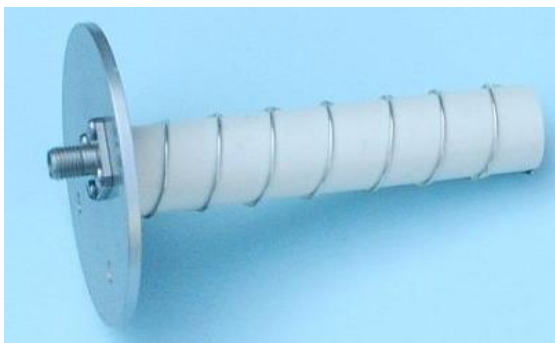


б)

Рисунок 1.7 – Плоскі спіральні антени:

а) – архімедова спіраль; б) – логарифмічна спіраль

Просторова спіральна антена має циліндричну або конічну форму та виготовляються із металевого або мідного дроту, який приєднується до центрального провідника коаксіальної лінії; зовнішній провідник лінії - зовнішня оболонка - приєднується до плоского металевого екрана.



а)



б)

Рисунок 1.8 – Просторові спіральні антени: а) – циліндрична; б) – конічна

Спіральні антени мають ряд переваг, які роблять їх привабливими для використання в різних сферах. Однією з головних переваг є їх широкий діапазон частот. Спіральні антени можуть працювати в діапазоні від десятків мегагерц до

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

десятків гігагерц, що робить їх придатними для використання в багатьох типах застосувань.

Спіральні антени також мають високий коефіцієнт підсилення, що дозволяє їм передавати та приймати сигнали на великі відстані. Ця властивість є особливо важливою для застосувань, де відстань між передавачем та приймачем може бути дуже великою.

Крім того, спіральні антени мають широкий кут огляду, що дозволяє їм приймати сигнали з багатьох напрямків. Ця властивість є корисною для застосувань, де приймач повинен приймати сигнали з великої території.

Ще до переваг спіральної антени (просторових), можна віднести її надійність. Конструкція антени дає можливість зафіксувати антену за допомогою різного виду радіопрозорого матеріалу (фторопласт, пінопласт, склотекстолітова трубка, тощо), що запобігає великій деформації антени при впливі різних факторів навколишнього середовища, а при невеликій деформації антена зберігає досить великі характеристики, що дає можливість використовувати антену і подалі.

Космічні апарати керуються з центрів керування системами супутникової навігації обмін інформацією яких відбувається, в більшості, за допомогою великих параболічних антен встановлених на або біля центрів.

Параболічні антени використовуються для передачі та прийому радіохвиль. Вони складаються з параболічного відбивача, який фокусує хвилі в одну точку, та приймальної або передавальної антени, розташованої в цій точці.

Робота параболічних антен ґрунтується на геометричних властивостях параболи. Коли електромагнітна хвиля падає на антену, вона відбивається від її внутрішньої поверхні таким чином, що всі відбиті промені сходяться в одній точці, яка називається фокусом. Ця фокальна точка є оптимальним місцем для розміщення приймача або передавача, оскільки саме там буде досягнута максимальна концентрація енергії сигналу [10, 11].

					КПТР.021027.01.06 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17



Рисунок 1.9 – Найбільша параболічна антена супутникового зв'язку, що розміщена в Райстінгу, Баварія, Німеччина



а)

б)

Рисунок 1.10 – Параболічні антени а) – діаметром 12 метрів; б) – діаметром 5 метрів центру управління супутників в Дунаївцях, Хмельницька область, Україна

					КПТР.021027.01.06 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

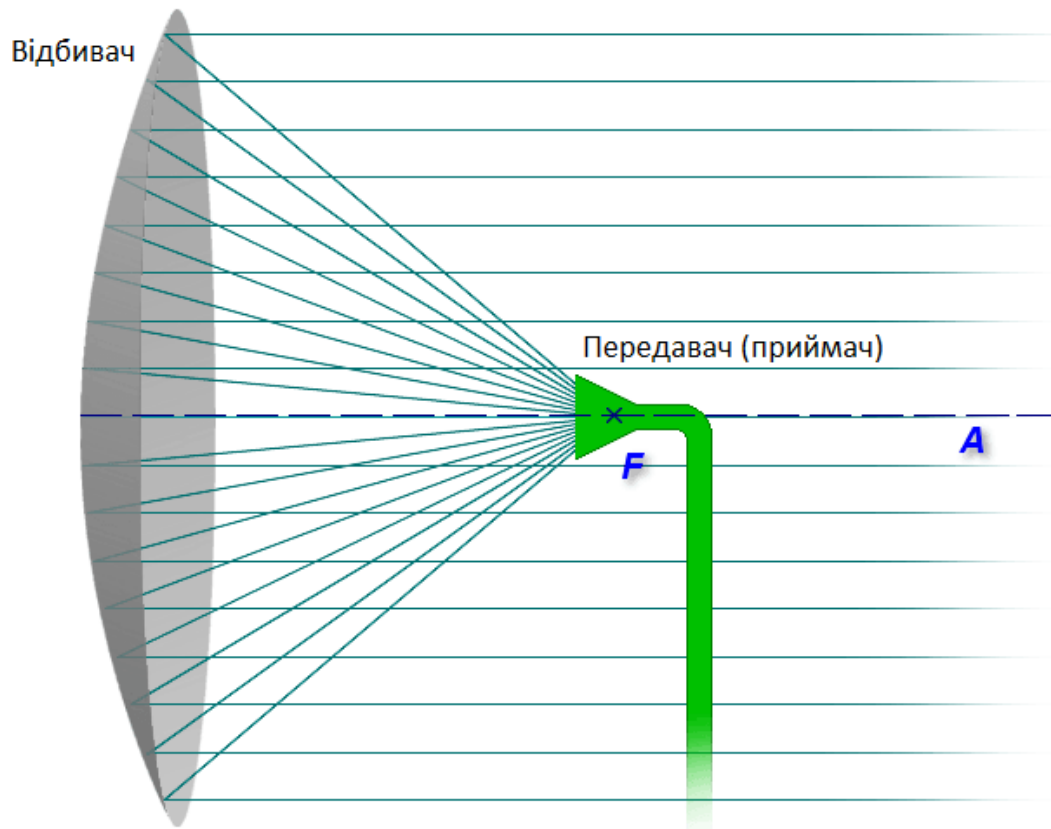


Рисунок 1.11 – Принцип дії параболічної антени

Параболічні антени мають високу направленість, що означає, що вони можуть передавати та приймати хвилі з дуже конкретного напрямку. Це робить їх ідеальними для таких застосувань, як супутниковий зв'язок, радіоастрономія та радарні системи [11, 12].

Основними перевагами параболічних антен є їхня висока ефективність, напрямленість та можливість працювати в умовах сильних перешкод. Проте, вони також мають деякі недоліки, такі як висока вартість, великі габарити та необхідність точного налаштування.

В користувацькому сегменті супутникової навігації, через велику кількість різноманітних пристроїв що використовують для своєї роботи супутникову навігацію, неможливо вибрати універсальну антену яка б підходила для всіх апаратів. Самими розповсюдженими користувацькими пристроями які використовують системи супутникової навігації є смартфони, в яких, в більшості, використовуються чіп-антени.

Чіп-антени, також відомі як мікросхеми антен або антенні модулі - це невелика, компактна антена, яка використовується в бездротових пристроях, таких як смартфони, планшети, розумні годинники та інші. Чіп-антена складається з керамічного чи пластикової основи, на яку нанесені (надруковані) металеві провідники, що формують випромінювальний елемент антени. Також чіп-антени можуть бути надруковані на самій друкованій платі пристрою, що спрощує його структуру.



Рисунок 1.12 – Антена смартфона та її розміщення (обведено)



Рисунок 1.13 – Антена смартфона

					КПТР.021027.01.06 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

Чіп-антени можуть використовувати різні конструкції антен для передачі даних на певний діапазон частот. Найчастіше використовуються монопольні, дипольні або щілинні антени, але для збільшення компактності антени, при збереженні його діапазона частот, їх конструюють в дуже різних формах, що ускладнює ідентифікацію типу конструкції чіп-антени.



Рисунок 1.14 – Чіп-антени GPS діапазону а) ANT8010LL05R1516A б) W3216

Чіп-антени мають декілька переваг порівняно з іншими типами антен:

1. Вони є дуже маленькими та компактними, що дозволяє їх легко інтегрувати в бездротові пристрої.
2. Чіп-антени виготовляються за допомогою стандартних технологій виробництва мікросхем, що робить їх дешевшими та легшими у виробництві, ніж інші типи антен.
3. Чіп-антени можуть працювати в декількох діапазонах частот, що дозволяє їх використовувати в бездротових пристроях, які підтримують декілька стандартів зв'язку.

4. Ці антени є дуже надійними та стійкими до механічних пошкоджень, що робить їх ідеальними для використання в бездротових пристроях, які піддаються частому використанню та переміщенню.

Проте чіп-антени також мають деякі недоліки, такі як нижчу ефективність та направленість порівняно з іншими типами антен, а також чутливість до перешкод, таких як будівлі та дерева.

					КПТР.021027.01.06 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

## 2 АНАЛІЗ І ВИБІР АНТЕНИ ДЛЯ СТВОРЕННЯ КУПОЛОПОДІБНОЇ ДІАГРАМОЮ СПРЯМОВАНOSTІ

### 2.1 Основні характеристики антен

Анени мають ряд ключових характеристик, які визначають їх продуктивність і область застосування. Ось основні з них:

#### 1. Діаграма спрямованості

Діаграма спрямованості антени - це графічне зображення розподілу потужності електромагнітного поля, що випромінюється антеною, в просторі. Вона показує, як інтенсивність сигналу випромінюється антеною в різних напрямках. Діаграми спрямованості можуть бути двовимірними або тривимірними, і їх зазвичай зображують у децибелах (дБ) щодо пікового випромінювання. Зазвичай діаграми спрямованості мають 3 вигляди: наведенні (випромінює в одному напрямку), двонаправлені (має вигляд 8, випромінює в двох напрямках) і всенаправлені (куполоподібні, випромінює рівномірно у всіх напрямках) діаграми спрямованості [11].

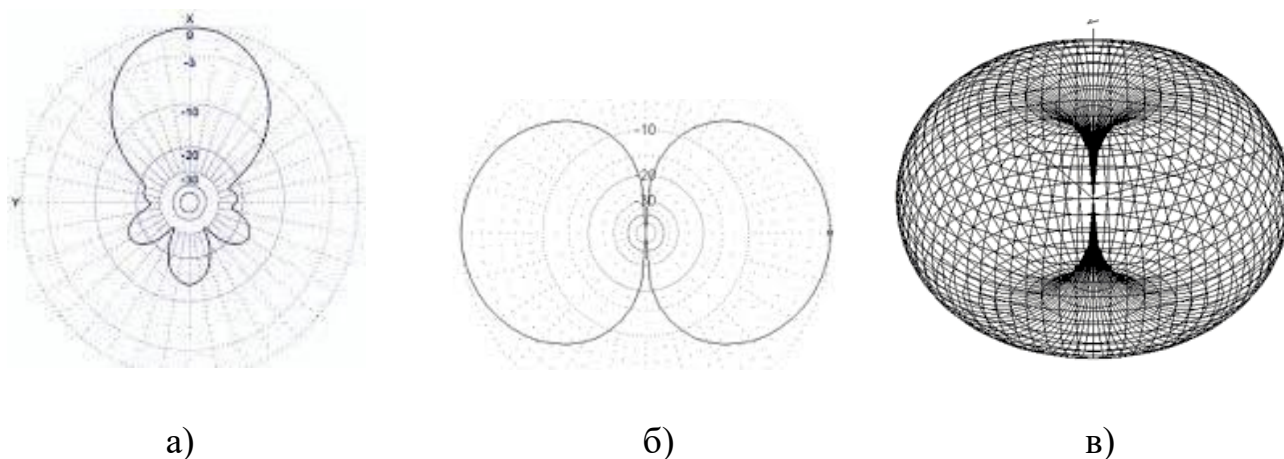


Рисунок 2.1 – Діаграми спрямованості а) – наведенної антени; б) – двонаправленої антени; в) – всенаправленої антени

## 2. Коефіцієнт підсилення (Gain)

Коефіцієнт підсилення антени - це відношення максимальної інтенсивності випромінюваного сигналу в напрямку максимуму діаграми спрямованості до інтенсивності сигналу, випромінюваного ізотропним джерелом (тобто джерелом, що випромінює рівномірно в усіх напрямках). Коефіцієнт підсилення вимірюється в децибелах (дБ) і показує, наскільки сильніше сигнал, випромінюваний антеною, порівняно з сигналом, випромінюваним ізотропним джерелом. Коефіцієнт підсилення антени  $G$  може бути виражений через довжину хвилі  $\lambda$  і мати таку формулу:

$$G = \frac{4\pi AK_a}{\lambda^2},$$

де  $A$  – геометрична площа антени

$K_a$ - коефіцієнту ефективності, значення якого для реальних антен, як правило, складає близько 0,6 - 0,7.

Коефіцієнт підсилення залежить від типу антени, її розміру, конструкції, та робочої частоти. Антени з направленою діаграмою спрямованості (наприклад, UDA-YAGI антени) мають високий коефіцієнт підсилення, оскільки вони зосереджують сигнал в одному напрямку. Антени з куполоподібною діаграмою спрямованості мають нижчий коефіцієнт підсилення, оскільки вони випромінюють сигнал в усіх напрямках в межах певного кута [12].

## 3. КСХ (Коефіцієнт стоячої хвилі)

Коефіцієнт стоячої хвилі (КСХ) характеризує ефективність з'єднання антени з передавальним або приймальним обладнанням. Він вимірює відношення амплітуд стоячих хвиль, що виникають через невідповідність між вихідним імпедансом передавача і вхідним імпедансом антени КСХ визначається як відношення максимальної амплітуди стоячої хвилі до мінімальної амплітуди

					КПТР.021027.01.06 ПЗ	Арк.
						25
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

стоячої хвилі в лінії передачі. Формула для обчислення КСХ виглядає так:

$$КСХ = \frac{V_{max}}{V_{min}}$$

де  $V_{max}$  – максимальна амплітуда напруги стоячої хвилі.

$V_{min}$  – мінімальна амплітуда напруги стоячої хвилі.

Ідеальний КСХ дорівнює 1, що означає повне передавання потужності без відбивань .

#### 4. Поляризація

Поляризація антени - це характеристика, що визначає напрямок коливань електричного вектора електромагнітної хвилі, яка випромінюється або приймається антеною. Поляризація є важливою характеристикою при проектуванні та встановленні систем зв'язку, оскільки вона впливає на ефективність передачі та прийому сигналу.

Існує три основні типи поляризації антен:

1. Лінійна поляризація: електричний вектор електромагнітної хвилі коливається в одному напрямку, перпендикулярному до напрямку розповсюдження хвилі. Лінійна поляризація може бути горизонтальною або вертикальною, залежно від напрямку коливань електричного вектора.
2. Кругова поляризація: електричний вектор електромагнітної хвилі обертається навколо напрямку розповсюдження хвилі, утворюючи коло. Кругова поляризація може бути правосторонньою або лівосторонньою, залежно від напрямку обертання електричного вектора.
3. Еліптична поляризація: електричний вектор електромагнітної хвилі коливається вздовж еліпса, утворюючи еліпс. Еліптична поляризація може бути правосторонньою або лівосторонньою, залежно від напрямку обертання електричного вектора.

					КПТР.021027.01.06 ПЗ	Арк.
						26
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

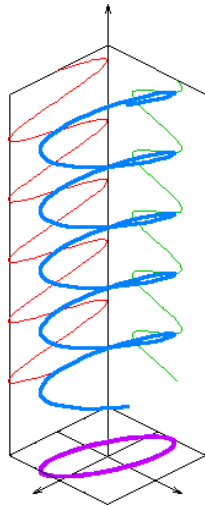


Рисунок 2.2 – Еліптична поляризація

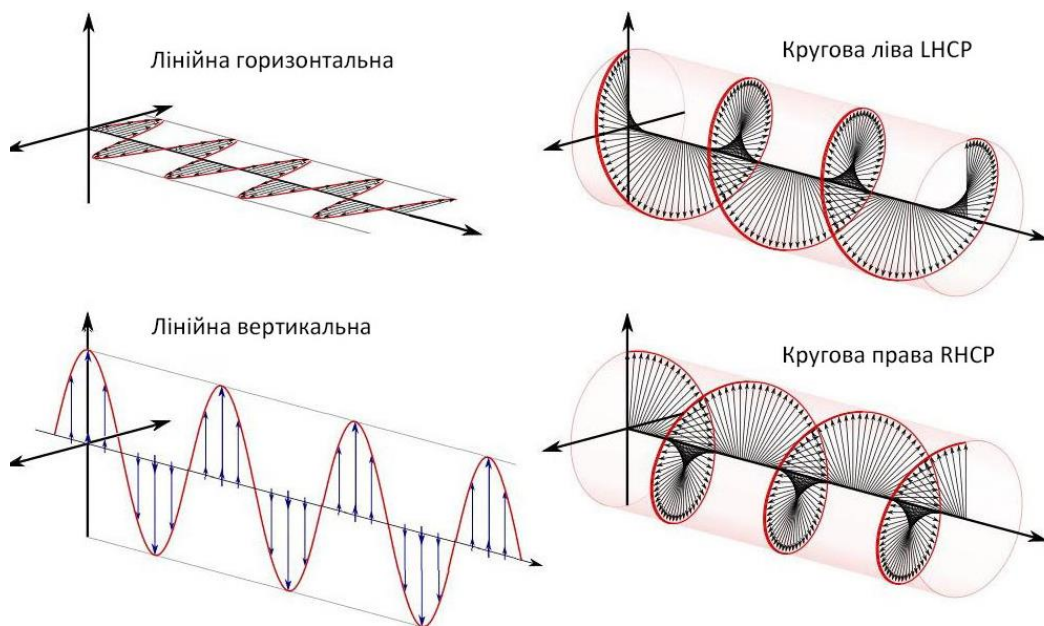


Рисунок 2.3 – Типи поляризації антени

Поляризація антени повинна бути спряжена з поляризацією сигналу, який передається або приймається. Якщо поляризації не спряжені, то ефективність передачі та прийому сигналу може бути значно знижена.

#### 4. Смуга пропускання

Смуга пропускання антени - це діапазон частот, в межах якого антена може

					КПТР.021027.01.06 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

ефективно випромінювати або приймати сигнал. Смуга пропускання є важливою характеристикою при проектуванні та встановленні систем зв'язку, оскільки вона відображає, які сигнали можуть бути передані або прийняті антеною. Вузькосмугові антени призначені для роботи в обмеженому діапазоні частот, тоді як широкосмугові антени можуть працювати на більшому діапазоні частот. Смуга пропускання антени може бути визначена за допомогою вимірювань діаграми спрямованості, коефіцієнта підсилення та КСХ [11].

## 6. Вхідний опір

Вхідний опір антени (імпеданс антени) — це комплексна величина, що визначає опір антени змінному струму на конкретній частоті. Вхідний опір включає в себе реальну частину (резистивний опір) і уявну частину (реактивний опір). Правильне узгодження вхідного опору антени з вихідним опором передавача або вхідним опором приймача є критичним для забезпечення ефективного передавання та приймання сигналу.

Визначення вхідного опору

Вхідний опір антени  $Z_{\text{вх}}$  зазвичай записується в комплексній формі:

$$Z_{\text{вх}} = R_{\text{вх}} + jX_{\text{вх}},$$

де  $R_{\text{вх}}$  – резистивний (реальний) компонент вхідного опору.

$X_{\text{вх}}$  – реактивний (уявний) компонент вхідного опору.

$j$  – уявна одиниця.

Компоненти вхідного опору

1. Резистивний компонент ( $R_{\text{вх}}$ ): Відповідає за реальну частину опору, яка визначає втрати енергії у вигляді тепла та випромінювання.

2. Реактивний компонент ( $X_{\text{вх}}$ ): Може бути індуктивним ( $X_{\text{вх}} > 0$ ) або ємнісним ( $X_{\text{вх}} < 0$ ). Визначає енергію, яка зберігається в магнітному полі (індуктивний) або в електричному полі (ємнісний).

					КПТР.021027.01.06 ПЗ	Арк.
						28
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Узгодження імпедансу антени з лінією передачі є важливим для мінімізації втрат сигналу та відбиття. Ідеальний випадок, коли імпеданс антени  $Z_{вх}$  дорівнює імпедансу лінії передачі  $Z_0$  (зазвичай 50 Ом або 75 Ом) [12].

Методи узгодження

1. Використання узгоджувальних пристроїв (трансформаторів, адаптерів), що використовуються для узгодження імпедансів антени та лінії передачі.

2. Регулювання довжини і типу кабелю:

Зміна довжини кабелю може допомогти досягти узгодження імпедансів.

3. Налаштування елементів антени:

Зміна розмірів і геометрії антени може впливати на її вхідний опір.

8. Довжина хвилі

Довжина хвилі, на якій працює антена, визначає її фізичний розмір і конструкцію. Антени повинні бути правильно налаштовані для роботи на конкретній довжині хвилі або частоті. Довжина хвилі ( $\lambda$ ) пов'язана з частотою сигналу і швидкістю світла у вакуумі за допомогою формули:

$$\lambda = \frac{v}{f},$$

де  $v$  – швидкість світла ( $3 \cdot 10^8$  м/с);

$f$  – частота (Гц).

## 2.2 Антени з куполоподібною діаграмою спрямованості

Антени з куполоподібною діаграмою спрямованості мають специфічні властивості та застосування, які роблять їх корисними в різних радіочастотних і бездротових системах. Такі антени зазвичай випромінюють або приймають сигнал рівномірно у всіх напрямках у горизонтальній площині і мають обмежене випромінювання у вертикальній площині, що створює характерну куполоподібну діаграму. Часто ці антени мають відносно широкую смугу пропускання, що

					КПТР.021027.01.06 ПЗ	Арк.
						29
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

дозволяє використовувати їх для прийому або передачі сигналів у різних діапазонах частот. Також антени з куполоподібною діаграмою спрямованості не потребують точного налаштування на конкретний напрямок, що спрощує їх встановлення і експлуатацію.

## Типи куполоподібних антен

### 1. Штирьові антени

Штирьова антена, також відома як вертикальний монополь, являє собою простий тип антени, що складається з вертикального металевого стрижня. Вона є одним з найдавніших, найпростіших і найдешевших типів антен, і використовується в широкому спектрі застосувань (для автомобілів, радіостанцій, Wi-Fi роутерів, тощо) завдяки своїй простоті, універсальності та ефективності.

Штирьова антена працює за рахунок випромінювання та прийому електромагнітних хвиль. Коли по електричному стрижню протікає змінний струм, він створює навколо себе змінне магнітне поле. Це магнітне поле, в свою чергу, генерує змінне електричне поле, яке випромінюється в простір у вигляді електромагнітної хвилі [11, 12].



Рисунок 2.4 – Приклад штирьових антен різних частот

					КПТР.021027.01.06 ПЗ	Арк.
						30
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Штиррова антена є найефективнішою, коли її довжина дорівнює чверті довжини хвилі сигналу, який вона передає або приймає. Однак вона може працювати і на інших довжинах, хоча з меншою ефективністю.

Основним недоліком штиррової антени є її малий коефіцієнт підсилення який, зазвичай становить близько 2 дБі.

## 2. Антена типу Конюшина

Антена типу "Конюшина" (Cloverleaf Antenna) широко використовується в системах бездротового відео- та аудіозв'язку, таких як FPV (First Person View) для дронів. Вона відрізняється круговою поляризацією, що надає їй переваги у стабільності сигналу та зменшенні багатошляхових відбиттів [15].

Конструкція антени складається з 3 частин: пелюсток, зазвичай 3,4 штуки розміщених під кутом 120 або 90 градусів один до одного, основи, до якої кріпляться пелюстки, і фідеру, коаксіальний кабель що з'єднує антену з передавачем або приймачем.

Кожен пелюсток антени типу "Конюшина" випромінює електромагнітну хвилю. За рахунок спеціальної геометрії, пелюстки складаються з 3 частин довжиною в  $\lambda/4$ ,  $\lambda/2$ ,  $\lambda/4$ , і розташування пелюсток ці хвилі об'єднуються, створюючи кругову поляризацію. Оскільки хвилі випромінюються під різними кутами, їх сумарне електричне поле обертається, створюючи кругову поляризацію.

Кругова поляризація дозволяє антенам типу "Конюшина" ефективніше взаємодіяти з навколишнім середовищем. На відміну від лінійно поляризованих антен, які можуть втрачати сигнал через відбиття та зміну поляризації, кругова поляризація забезпечує стійкість до таких втрат. Це робить антену ефективною в умовах, де сигнал може відбиватися від численних перешкод.

					КПТР.021027.01.06 ПЗ	Арк.
						31
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 2.5 – Приклад 3-х і 4-х петлюсткової конюшинної антени

### 3. Всенаправлена BiQuad антена

Всенаправлена BiQuad антена – це різновид антени, яка поєднує в собі властивості бі-квадратної (BiQuad) антени та всенаправленої антени. Така конструкція забезпечує ефективне всеспрямоване випромінювання та прийом сигналу, що робить її корисною для різноманітних бездротових застосувань, включаючи Wi-Fi мережі, системи радіозв'язку та інші бездротові мережі.

Така антена, зазвичай, складеться з 2-3 подвійних квадратів розміщених на 90, 45 градусів один від одного, основи і фідера. Сторони квадратів будуються як в звичайному BiQuad, тобто  $\lambda/4$ , що припадають до основи, а основа до фідера.

Дана конструкція не утворює ідеальної всенаправленої діаграми спрямованості, але порівняно з іншими всенаправленими антенами які, які мають коефіцієнт підсилення приблизно в межах 2-4 дБі, має досить велике підсилення, близько  $\approx 7$  дБі.

					КПТР.021027.01.06 ПЗ	Арк.
						32
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 2.6 – Приклади всенаправлених BiQuad антен

Оглянувши існуючі куполоподібні антени можна зробити висновок, що коефіцієнт підсилення в них, не досягає підсилення більше 7 дБі, тому доречно дослідити можливість модифікації направлених антен в антени з куполоподібною діаграмою спрямованості.

### 2.3 Направлені антени

В даному кваліфікаційному проекті вже було розглянуто 2 направлені антени: спіральна та параболічна антена, які використовуються в системах супутникової навігації для взаємодії КА з керуючим сегментом. Велика відстань між ними вимагає використовувати антени з великим коефіцієнтом підсилення та досить вузьким лучем в діаграмі спрямованості. Розглянемо інші направлені антени.

					КПТР.021027.01.06 ПЗ	Арк.
						33
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 1. Антена UDA-YAGI

Антена UDA-YAGI, є одним з найпоширеніших і ефективних типів направлених антен. Вона була розроблена в 1926 році Шинтаро Удою і Хідетсугу Ягі [11]. Ця антена широко використовується в різних сферах, включаючи телевізійне мовлення, радіоаматорство, супутниковий зв'язок та інші системи, де потрібна висока спрямованість і підсилення сигналу. Основними елементами з яких складається антена, є:

### 1. Активний елемент:

Зазвичай це дипольна або петльова антена, яка безпосередньо підключена до джерела сигналу або приймача. Вона є головним елементом, що випромінює або приймає сигнал.

### 2. Рефлектор:

Це елемент, розташований позаду активного елемента на відстані приблизно  $0.2 - 0.25 \lambda$ . Його основна функція — відбивати сигнали, що приходять ззаду, вперед до активного елемента, збільшуючи загальне підсилення антени.

### 3. Директори:

Це елементи, розташовані перед активним елементом. Кількість директорів може варіювати, зазвичай від одного до кількох десятків, залежно від потрібного підсилення та спрямованості. Директори фокусують і направляють сигнал в напрямку їх осі, підвищуючи підсилення.

### 4. Стріла (Бум):

Так називають трубку, зазвичай алюмінієву, до якої кріпляться всі інші елементи. Вони можуть кріпитися 3 різними способами: з контактом з металом, ізольовані від металу або на відстані від буму. Також антену будують і з використанням діелектричних трубок.

Антена Ягі-Уда працює за принципом взаємодії активного елемента з пасивними елементами (рефлектором і директорами). Сигнал, випромінюваний активним елементом, взаємодіє з пасивними елементами, які створюють

					КПТР.021027.01.06 ПЗ	Арк.
						34
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

додаткові електромагнітні поля. Ці поля підсилюють сигнал в напрямку осі антени і пригнічують його в протилежному напрямку.

Даний тип антен має високий коефіцієнт підсилення, який може досягати від 7 до 20 дБі або більше, залежно від кількості директорів та конструкції; вузьку діаграму спрямованості, що дозволяє ефективно фокусувати сигнал в одному напрямку і зменшувати випромінювання в інших напрямках.

Також антена має високу складність налаштування, де розміщення директорів може коливатися на відстані від  $0,2 \lambda$  до  $0,4 \lambda$ , особливо з найчутливішим першим директором, розміщеним зразу після активного елемента.

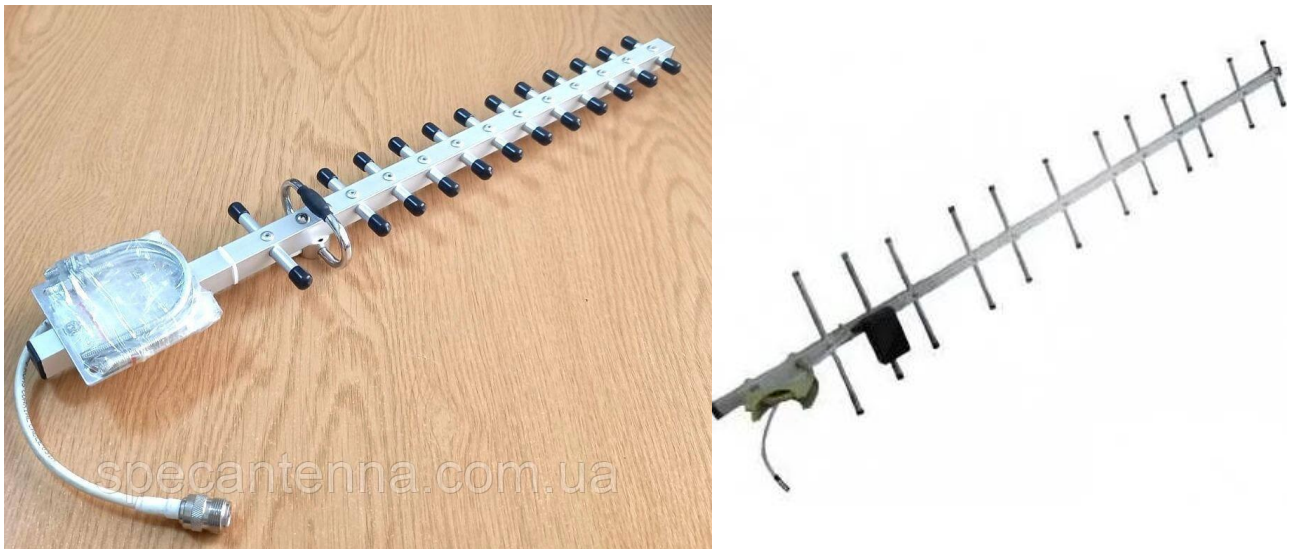


Рисунок 2.7 – Приклади антен UDA-YAGI

## 2. Логоперіодична антена

Логоперіодична антена - це тип направленої антени, що складається з масиву диполів різної довжини, розташованих вздовж однієї осі з логарифмічно змінними інтервалами між ними. Логоперіодична антена забезпечує високу направленість та широку смугу пропускання, що робить її придатною для використання в застосуваннях, де потрібно передавати або приймати сигнал на великій відстані та в широкому діапазоні частот [12].

					КПТР.021027.01.06 ПЗ	Арк.
						35
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Принцип роботи логоперіодичної антени заснований на тому, що кожен диполь в масиві резонує на певній частоті. Коли сигнал досягає фідерної лінії, він збуджує диполі, довжина яких відповідає частоті сигналу. Завдяки логарифмічному розподілу диполів, антена може ефективно працювати на широкому діапазоні частот.

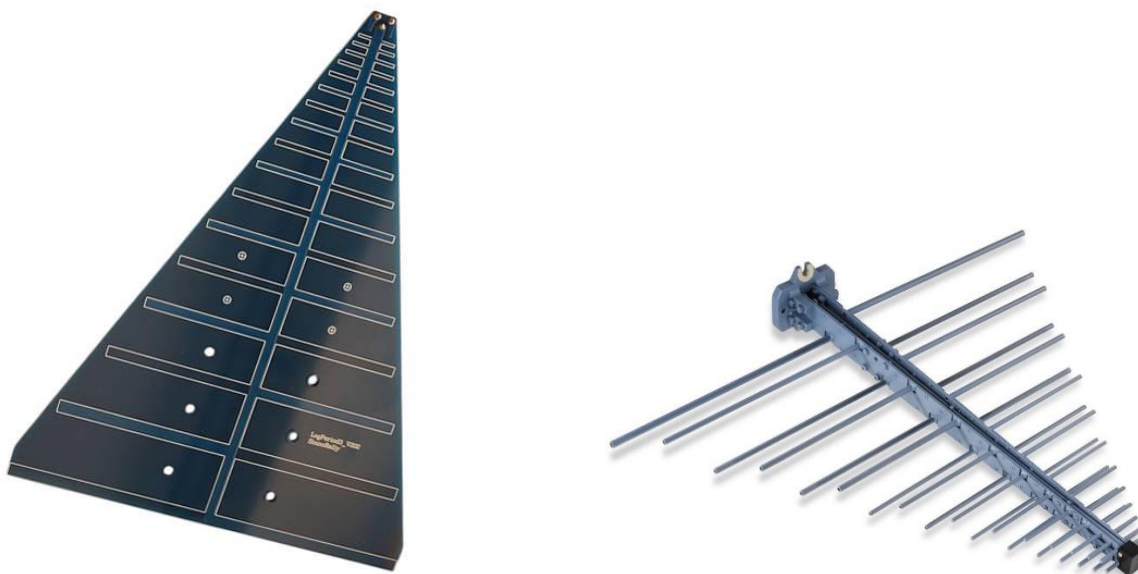


Рисунок 2.8 – Приклади логоперіодичних антен

Завдяки принципу своєї дії логоперіодичну антени можливо побудувати відносно невеликою, порівняно з іншими направленими антенами, широко смуговою і з достатньо великим коефіцієнтом підсилення приблизно від 7 до 14 дБі, що дає можливість використовувати її в пристроях де компактність антени відіграє велике значення.

### 3. Антена Вівальді

					КПТР.021027.01.06 ПЗ	Арк.
						36
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Антенa Вівальді - це тип ультраширокопосмугової антени, яка зазвичай використовується для передачі та прийому радіосигналів у діапазоні від метрових до міліметрових хвиль. Ця антена має високу ефективність, широку смугу пропускання та добру направленість, що робить її популярним вибором для різних застосувань, включаючи радіолокацію, бездротові комунікації, медичні системи зображення, тестування та вимірювання [13].

Антена Вівальді зазвичай складається з паралельних пластин або дуг, що розташовані на діелектричному матеріалі. Структура пластин може бути побудована так, щоб забезпечити бажану характеристику антени, включаючи широкопосмугову смугу пропускання та направлену діаграму спрямованості.

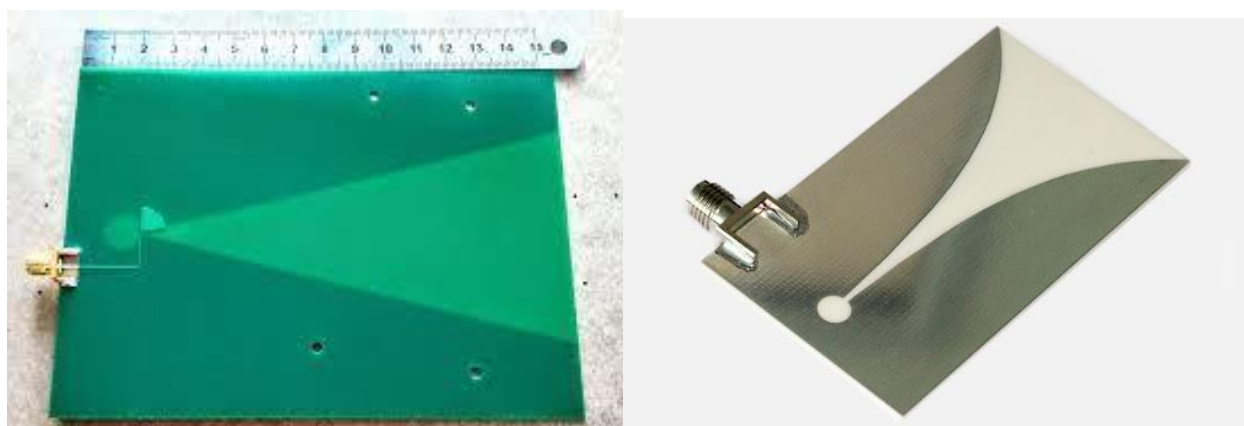


Рисунок 2.9 – Приклади антен Вівальді

Робота антени Вівальді заснована на принципі розповсюдження електромагнітних хвиль уздовж пластин антени. Коли електромагнітна хвиля падає на антену, вона збуджує коливання у пластинах, які в свою чергу створюють електромагнітне поле. Завдяки правильному розташуванню пластин та їх геометрії, антена може забезпечити коефіцієнт підсилення, приблизно 7-12 дБі, та широкопосмугову смугу пропускання.

#### 4. Антена Харченко

					КПТР.021027.01.06 ПЗ	Арк.
						37
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Антенa Харченко, також відома як біквaдрaтна антенa або антенa подвійного квaдрaтa (BiQuad), є простим, але ефективним типом широкосмугової антени, що широко використовується завдяки своїй простоті виготовлення, низькій вартості та високій працездатності. Її характерна конструкція, що складається з двох квaдрaтів зі сторонами  $\lambda/4$ , робить її привабливою для широкого кола застосувань, де потрібна проста та ефективна антенa [14].

Електричний сигнал, поданий на середину антени, створює змінне електромагнітне поле, яке викликає коливання електронів у провідниковому матеріалі рамок. Ці коливання індукують струм, який проходить через рамки і створює вторинне електромагнітне поле. Коли частота сигналу відповідає резонансній частоті антени, відбувається максимальна взаємодія між електромагнітними хвилями і рамковою структурою, що призводить до ефективного випромінювання або прийому сигналу.

Рамки антени мають такі розміри, щоб периметр кожного квaдрaтa дорівнював довжині хвилі сигналу або її кратному значенню. Це забезпечує резонансну взаємодію, коли антенa поглинає або випромінює енергію з максимальною ефективністю. Спрямованість антени Харченко обумовлена симетричністю її конструкції: електромагнітне випромінювання відбувається переважно в напрямку, перпендикулярному до площини рамок.

Антенa може бути як направленою (з відбивачем), так і двунаправленою, має достатньо високий коефіцієнт підсилення 8-11 дБі і широку смугу пропускання та діагaму спрямованості.

					КПТР.021027.01.06 ПЗ	Арк.
						38
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

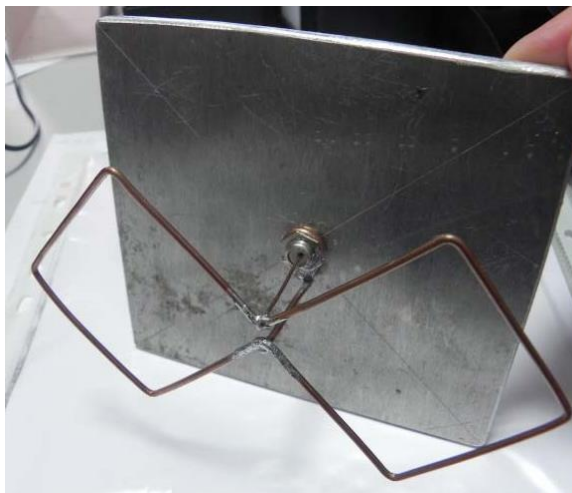


Рисунок 2.10 – Приклад антени Харченко

Розглянувши дані направленні антени можна зробити висновок, що параболічна антена, спіральна антена, логоперіодична антена, антена UDA-YAGI і Вівальді не підійдуть для розробки антени з куполоподібною діаграмою спрямованості, адже зміна їх конструкції робить їх непридатними до використання значно згіршивши їх характеристики. Існують радіопеленгаторні антени що являються комплексом з декількох, направлених в різні напрямки, логоперіодичних антен або антен Вівільді, що створюють куполоподібну діаграму направленості, але такі антени, для правильної роботи, потребують досить велику кількість супутньої апаратури і великі розміри, тому не підходять під вимоги.



Рисунок 2.11 – Пеленгаторна антена ТСІ 643

					КПТР.021027.01.06 ПЗ	Арк.
						39
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Антенa Харченко, порівняно з іншими, має просту конструкції яка не залежить від ніяких складних формул і ефектів, що дає можливість розробити з неї антену з куполоподібною діаграмою спрямованості. Також вже була розглянута вже існуюча всенаправленна ВіQuad антенa яка майже підходить під вимоги роботи, що показує можливість створення куполоподібною діаграми спрямованості використовуючи антену Харченко.

## 2.4 Модифікації антени Харченко

### 1. Антенa Харченко-Маршала

Одна з найпростіших модифікацій антени Харченко, в якій Маршал до рефлектора додає «губки» зверху і знизу антени для звуження діаграми спрямованості ширина яких відповідає  $\lambda/4$ . Така антенa використовувалася Маршалом для опромінення супутникової тарілки і мала коефіцієнт підсилення в 11 дБі.

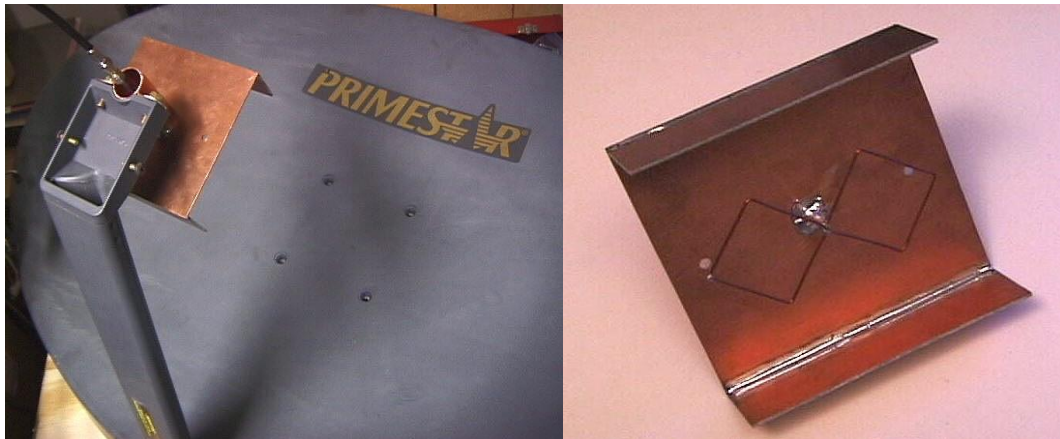


Рисунок 2.12 – Антенa Харченко-Маршала

### 2. Подвійна і потрійна антенa Харченко

Збільшується кількість квадратів що використовуються для підвищення коефіцієнту підсилення і звуження діаграми направленості. Але така конструкція не є дуже ефективною через дуже близьке розташування квадратів що впливає один на одного полем розділених зарядів. Коефіцієнт підсилення таких антен досягає приблизно 12-13 дБі і збільшення квадратів більше трьох не є доцільним, адже не дає значних переваг.

					КПТР.021027.01.06 ПЗ	Арк.
						40
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

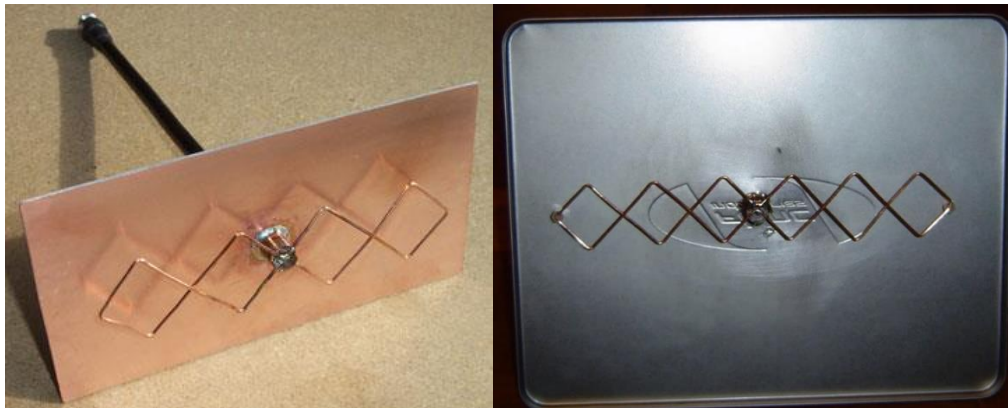


Рисунок 2.13 – Подвійна і потрійна антена Харченко

### 3. Антена Quados

Антенa Quados – це продовження модифікації подвійних і потрійних антен Харченко для підвищення коефіцієнту підсилення і звуження діаграми спрямованості. Конструкторське рішення рознести квадрати один від одного дало можливість досягнути коефіцієнта підсилення до 16-18 дБі.

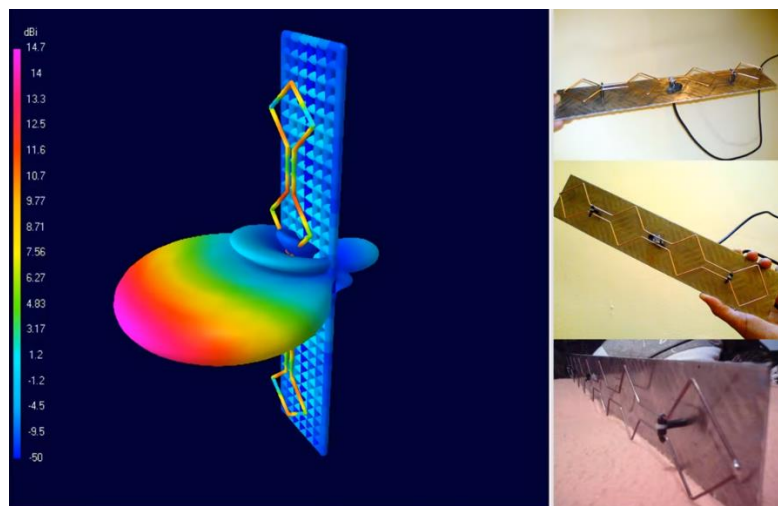


Рисунок 2.14 – Антена Quados і її діаграма спрямованості

### 4. Антена ViLoop

Антенa ViLoop (Подвійна Петля) є модифікацією антени Харченко, у якій квадрати замінюються круговими петлями. У цьому радикальної зміни у принципі випромінювання антени немає. Антенa, як і раніше, складається з двох, з'єднаних паралельно, елементарних магнітних випромінювачів, тільки зі зміненою

геометрією петель, замість ромба – коло. При цьому площа розкриття і, відповідно, підсилення такої антени навіть більше, ніж у бі-квадраті, але не набагато, 0,5-1 дБі. Та й виготовлення петель багато в чому легше, достатньо зігнути коло потрібного діаметру порівняно з вимірами сторін та діагоналей квадрата.



Рисунок 2.15 – Антена BiLoop

					КПТР.021027.01.06 ПЗ	Арк.
						42
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

### 3 РОЗРОБКА АНТЕНИ

#### 3.1 Методики розробки антен

Існує безліч методів розробки антен, при виконанні кваліфікаційного проекту була використана методика розробки антен яку можна розділити на два основних етапи:

##### 1. Проектування антени:

1.1. Вибір типу антени: Тип антени вибирається залежно від її характеристик, таких як частотний діапазон, діаграма спрямованості, посилення та коефіцієнт стоячої хвилі (КСХ).

1.2. Моделювання антени: Моделювання антени використовується для перевірки її характеристик перед виготовленням.

1.3. Розрахунок параметрів антени: Параметри антени, такі як розміри, форма та матеріали, розраховуються за допомогою математичних методів або програмного забезпечення.

##### 2. Виготовлення антени:

2.1. Вибір матеріалів: Матеріали для антени вибираються залежно від її характеристик, таких як частотний діапазон, потужність та умови експлуатації.

2.2. Виготовлення деталей антени: Деталі антени виготовляються згідно з кресленнями.

2.3. Збірка антени: Деталі антени збираються воедино.

2.4. Налаштування антени: Антена налаштовується для досягнення необхідних характеристик.

Потрібно зазначити що пункти 1.2 і 1.3 можуть змінювати свої позиції в залежності від технічного завдання (ТЗ) виданого керівництвом або замовником. При проходженні практики отримане ТЗ передбачає саме вказаний вище порядок дій.

					КПТР.021027.01.06 ПЗ	Арк.
						43
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Самими популярними методами виготовлення антен є:

- Травлення: Цей метод використовується для виготовлення антен з фольгованого матеріалу.
- Фрезерування: Цей метод використовується для виготовлення антен з металевих заготовок.
- 3D-друк: Цей метод використовується для виготовлення антен з пластмас та інших матеріалів.

### 3.2 Розрахунок розмірів антени.

Антенна Харченко, яка являє собою два квадрата з сторонами  $\lambda/4$ , через свою простоту та конструкцію дає можливість розробити на її основі антену що буде утворювати куполоподібну діаграму спрямованості.

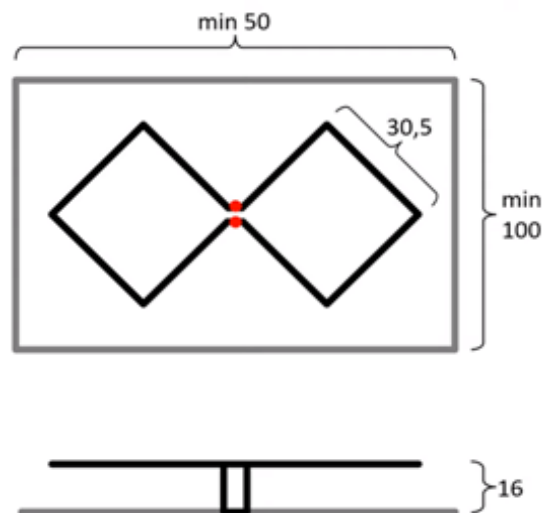


Рисунок 3.1 – Приклад антени Харченко для діапазона Wi-Fi

Більшість супутників СН працюють на частотах L1 (1575 МГц) і L2 (1240 МГц), тому і антени для прийому сигналів розробляються під даний діапазон частот. Для розробки будь-якої антени спочатку потрібно розрахувати її довжину хвилі ( $\lambda$ ) в відповідності до її частоти. Для антени Харченко також розраховується  $\lambda/4$  для сторін квадратів.

Розраховуємо довжину хвилі для частоти 1575 МГц:

					КПТР.021027.01.06 ПЗ	Арк.
						44
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\lambda_1 = \frac{v}{f} = \frac{3 \cdot 10^8}{1575 \cdot 10^6} = 0,19 \text{ м}$$

Розраховуємо довжину хвилі для частоти 1240 МГц:

$$\lambda_2 = \frac{v}{f} = \frac{3 \cdot 10^8}{1240 \cdot 10^6} = 0,242 \text{ м}$$

Переводимо результати в мм : 190 мм і 242 мм відповідно.

Розраховуємо  $\lambda/4$  для побудови антени Харченко:

$$\lambda_1/4 = \frac{190}{4} = 47,5 \text{ мм}$$

$$\lambda_2/4 = \frac{242}{4} = 60,5 \text{ мм}$$

### 3.3 Моделювання антени

Існує безліч програм, які використовуються для моделювання антен, такі як: Ansys HFSS, CST Microwave Studio, FEKO, NEC2, MMANA-GAL і 4nec2.

При роботі над кваліфікаційним проектом для моделювання антен була використана безкоштовна програма MMANA-GAL, що має такі можливості, як:

- Моделювання антен з тонких проводів.
- Розрахунок S-параметрів.
- Розрахунок КСХ.
- Розрахунок діаграми спрямованості.
- Розрахунок поля випромінювання.
- Візуалізація 3D-моделі антени [16].

Будуємо в програмі MMANA-GAL просту антену Харченко для перевірки роботи програми і запису характеристик антени для зрівняння з наступними її варіаціями.

					КПТР.021027.01.06 ПЗ	Арк.
						45
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

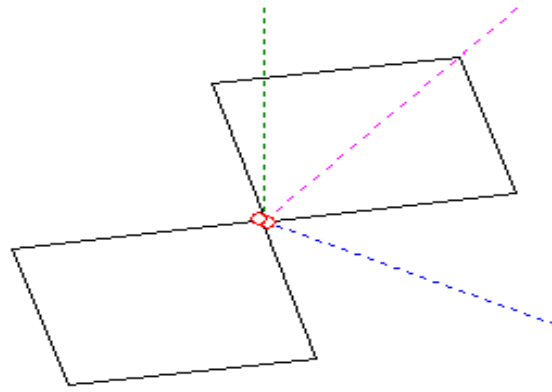


Рисунок 3.2 – Антена Харченко

Далі, вказавши матеріал, землю і відстань до неї, розраховуємо характеристики антени Харченко, для необхідного діапазону.

BiQuad2.2

Freq  MHz

Ground

Free space

Perfect

Real

Add height  m

Material

```

WAVE LENGTH = 0.242 (m)
TOTAL PULSE = 52
THE LOWEST POINT OF ANTENNA = 0.060 M
FILL MATRIX...
FACTOR MATRIX...
PULSE   U (V)           I (mA)           Z (Ohm)         SWR   PWR(WT)
w9c     5.000+j0.000       33.98+j44.20    54.66-j71.10   3.58  0.1699
w10c    5.000+j0.000       33.98+j44.20    54.66-j71.10   3.58  0.1699
Pin = 0.34 WT
CURRENT DATA...
FAR FIELD (Pin = 0.33981 WT)
NO FATAL ERROR(S)
0.08 sec
    
```

No.	F (MHz)	R (Ohm)	jX (Ohm)	SWR 50	Gh dBd	Ga dBi	F/B dB	Elev.	Ground	Add H.	Polar.
15	1240.0	54.66	-71.1	3.58	---	10.66	-2.23	90.0	Perfect	0.06	hori.

Рисунок 3.3 – Отримані розрахунки

Під час розрахунку програма MMANA-GAL також розраховує діаграму спрямованості яку можна подивитися на наступній вкладці як в стандартному вигляді так і в виді 3D моделі.

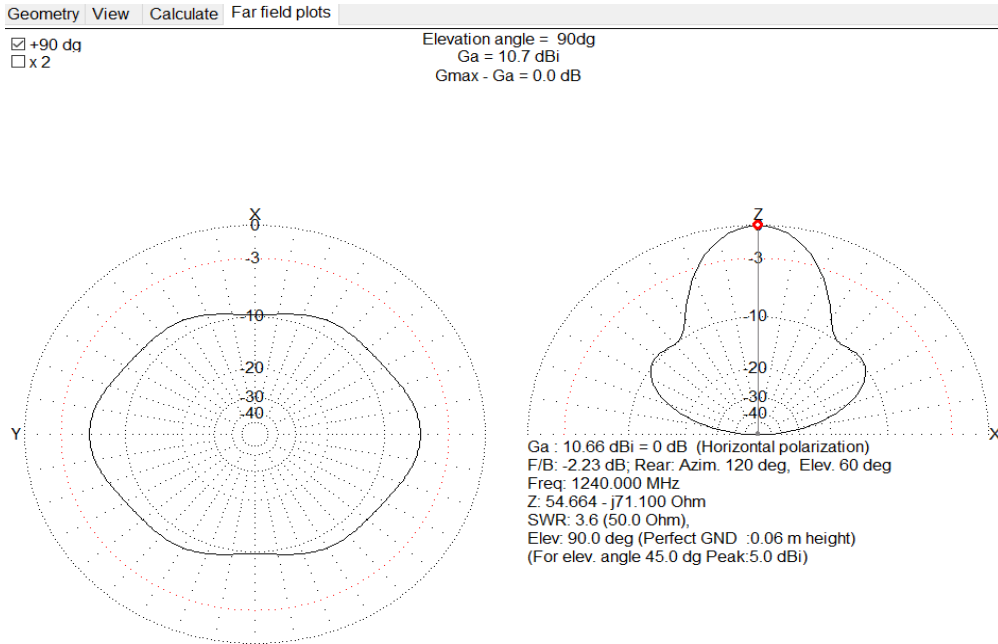


Рисунок 3.4 – Діаграма спрямованості.

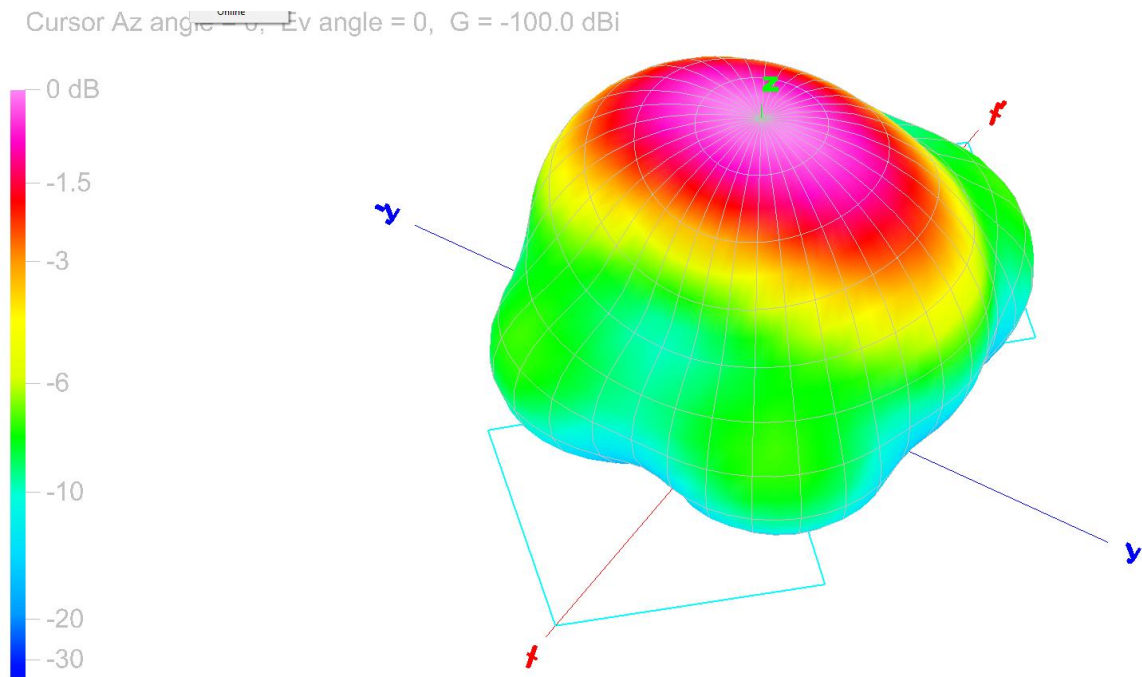


Рисунок 3.5 – 3D діаграма спрямованості

На діаграмі спрямованості видно що антена хоч є широкосмуговою але для утворення куполоподібної діаграми спрямованості її треба змінити. Зігнемо бічні сторони квадратів під кутом  $45^\circ$ .

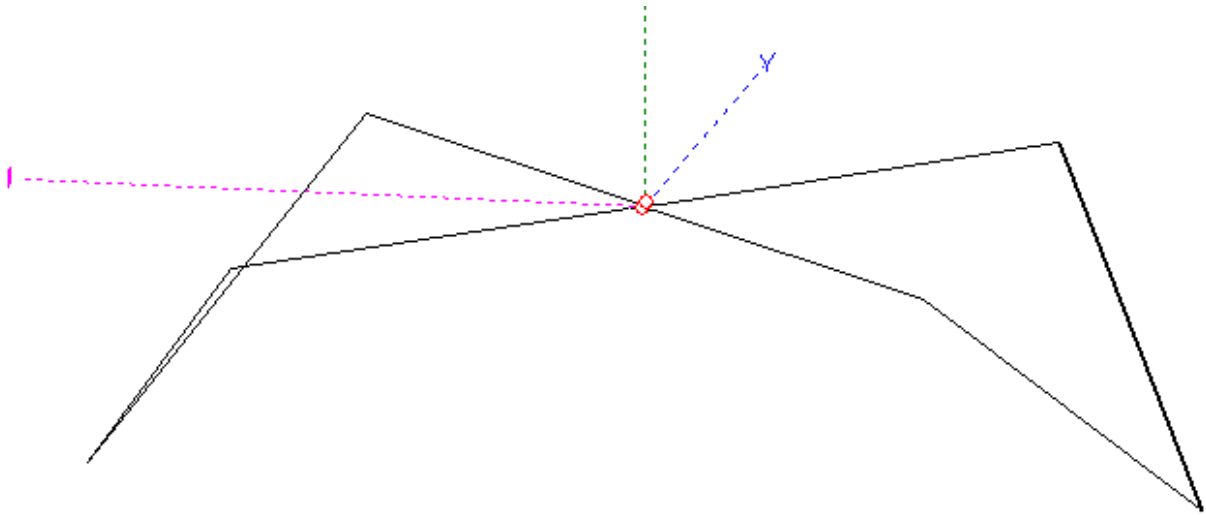


Рисунок 3.6 – Зігнута антена Харченко.

+90 dg  
 x 2

Azimuth angle = -1 dg  
 Ga = 5.7 dBi  
 Gmax - Ga = 0.0 dB

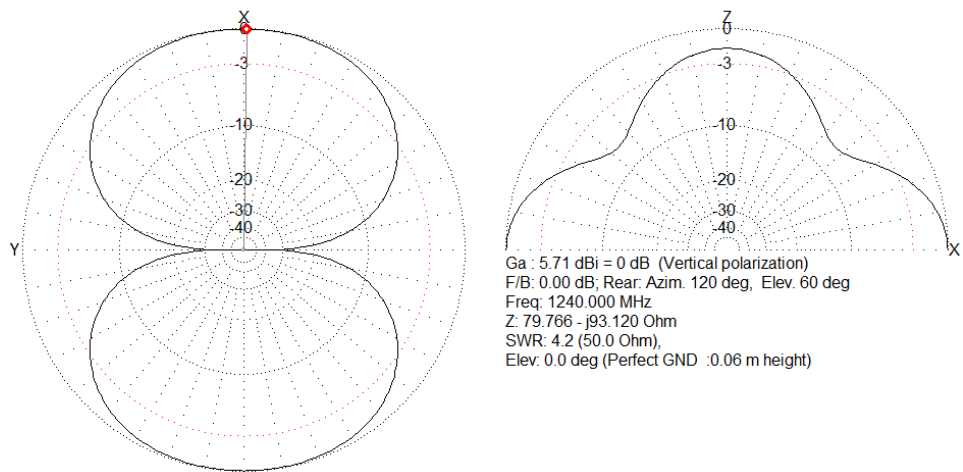


Рисунок 3.7 – Діаграма спрямованості зігнутої антени

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

КПТР.021027.01.06 ПЗ

Арк.

48

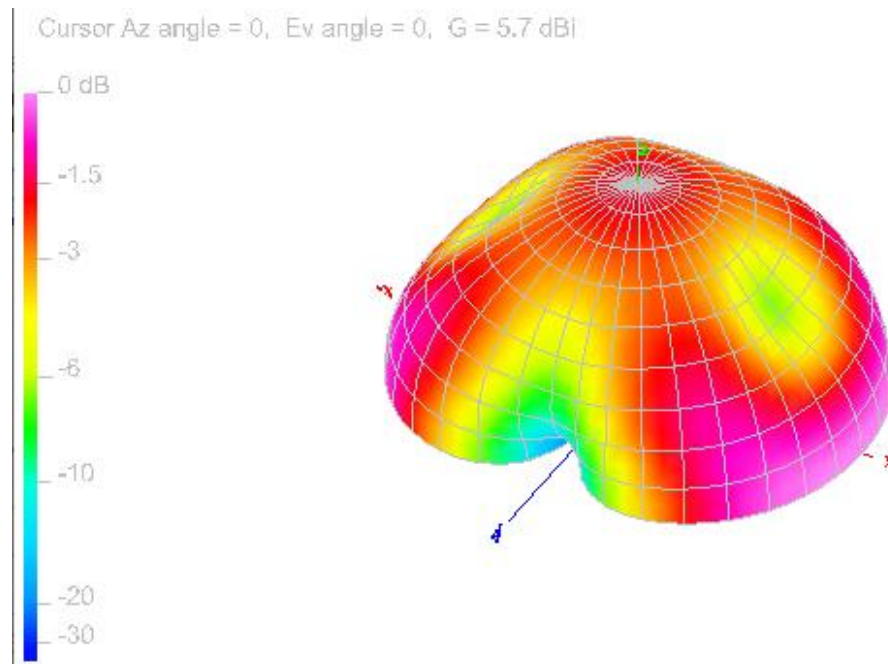


Рисунок 3.8 – 3D діаграма спрямованості зігнутої антени

По 3D діаграмі спрямованості видно що така антена утворює овал і розширилась, порівняно з першою, на осі X. Тепер потрібно розширити Діаграму для осі Y, для чого кращим варіантом буде додати ще одну таку антену Харченка повернуту на 90°.

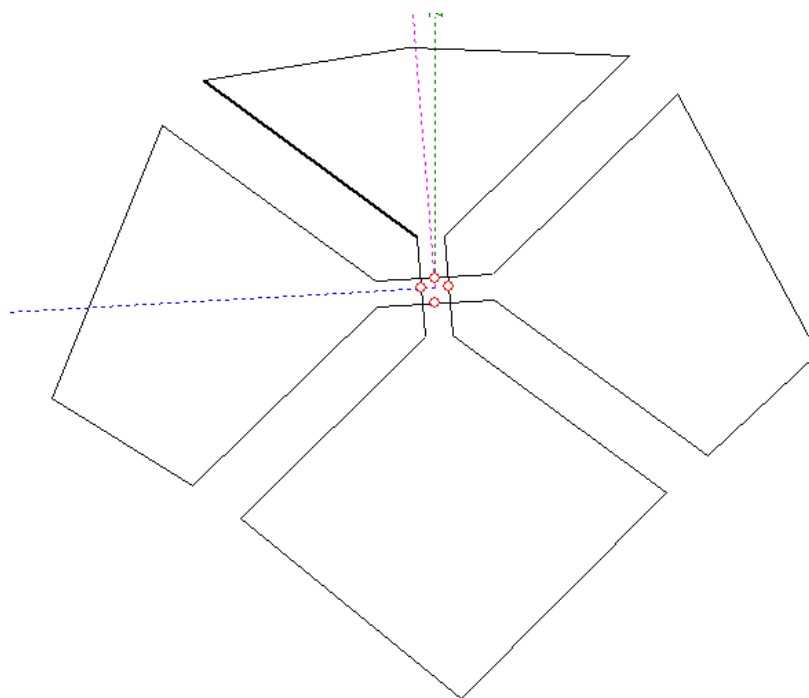


Рисунок 3.9 – X подібна антена Харченка

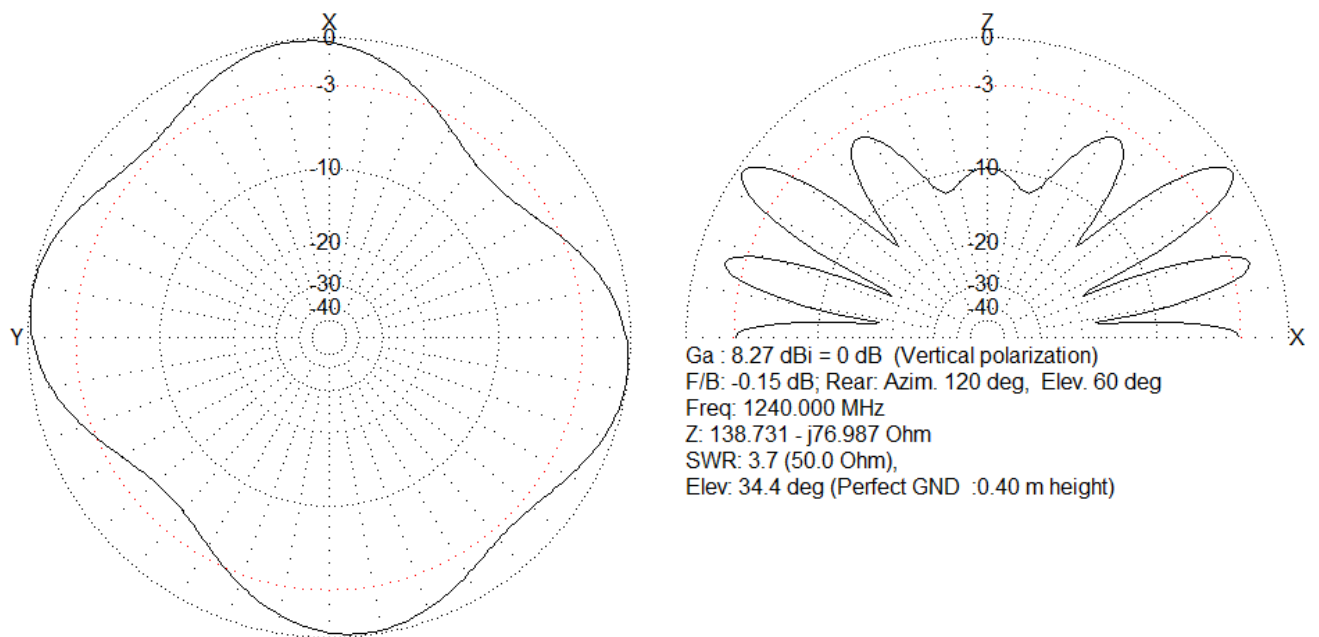


Рисунок 3.10 – Діаграма спрямованості X подібної антени Харченко

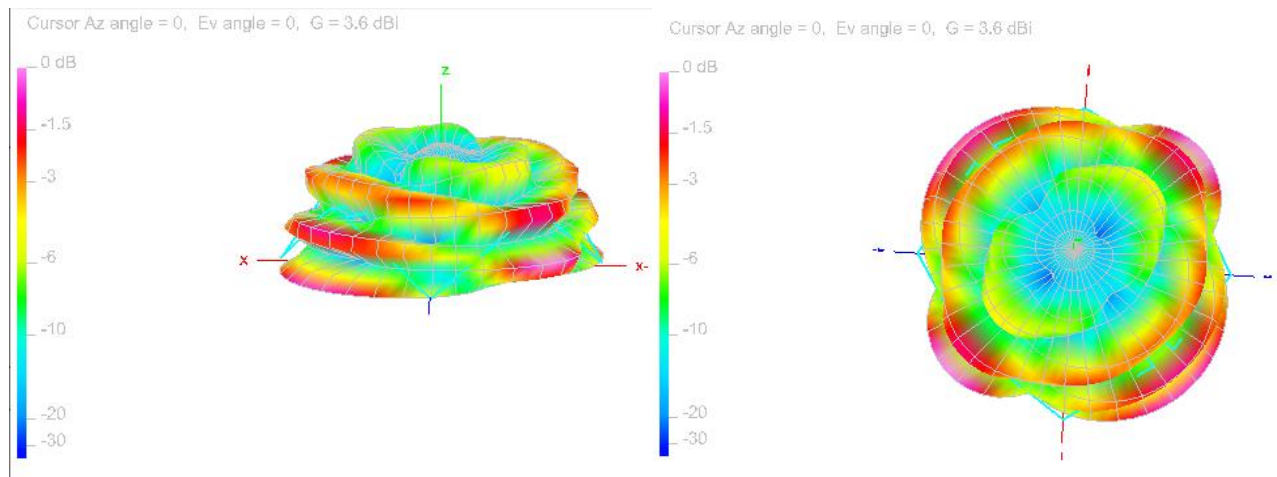


Рисунок 3.11 – 3D діаграма спрямованості X подібної антени Харченко

### 3.4 Побудова антени

Спочатку, для отримання точних габаритів антени, будуюмо її 3D-модель. В цьому розділі буде наведений приклад побудови антени Харченко на 1240 МГц, яка буде мати однаковий вигляд з антеною на 1575 МГц, окрім їх розмірів, які будуть наведені в кресленнях. Першою частиною антени яку

									Арк.
									50
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	КПТР.021027.01.06 ПЗ				

потрібно зробити є її центральна частина на якій буде розміщено на склотекстоліті обидві антени Харченко(з горизонтальною і вертикальною поляризацією).

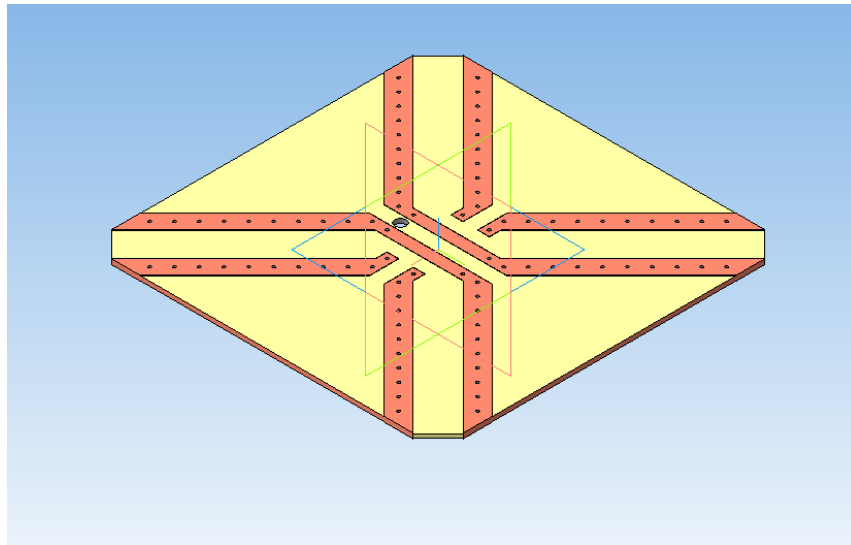


Рисунок 3.12 – Центральна частина антени.

Створюємо другу деталь. Друга частина будується як половинка одного з квадратів антени Харченко, яка виглядає як трикутник (розрізаний по діагоналі).

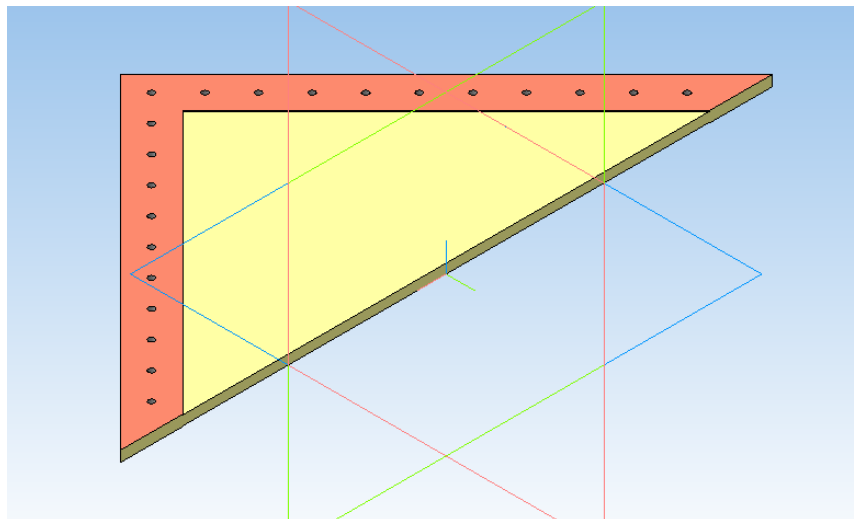


Рисунок 3.13 – Бік (пелюстка) антени

Також була спроектована підставка для антени, яка буде виготовлена з радіопрозорого пінопласту і загальна підставка для антен обох діапазонів.

					КПТР.021027.01.06 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

Складаємо зроблені деталі в збірку, для отримання габаритів зібраної антени.

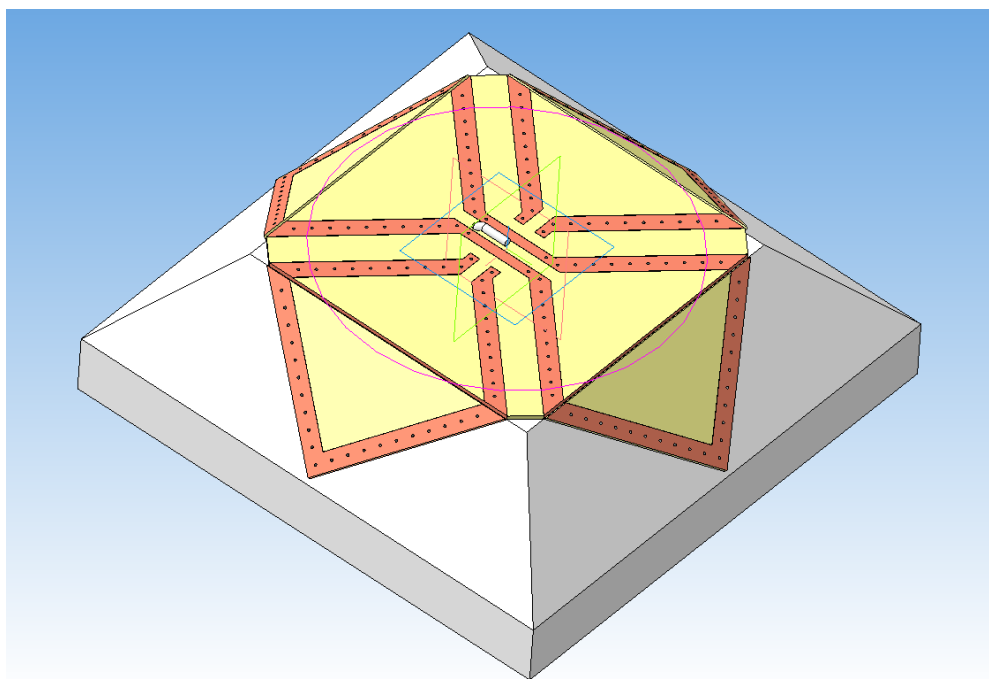


Рисунок 3.14 – Антена 1240МГц

### 3.5 Виготовлення деталей антени

Спроектвані деталі за допомогою програми Altium Designer переробляються в вид друкованих плат, електронного формату .m3d, що дає можливість виготовити антену за допомогою спеціального обладнання. Altium Designer – комплексна система автоматизованого проектування (САПР) друкованих плат, схемотехніки, радіоелектронних засобів. Програма надає інструменти для проектування друкованих плат [17], наприклад:

- а. Бібліотека елементів - Altium Designer має бібліотеку елементів в яку входять різні типи резисторів, конденсаторів, транзисторів, чіпів та інших елементів. Також програма дає можливість створити свою власну бібліотеку елементів, що спрощує пошук найчастіше використовуваних користувачем елементів і дає змогу додати (створити) елемент якого немає в загальній бібліотеці.

- b. Симуляція та аналіз – дає можливість проводити симуляції та аналіз електронних пристроїв, щоб перевірити їхню роботу та виявити можливі помилки або проблеми.
- c. Виробництво та документація - дозволяє створювати всі необхідні файли та документацію для виробництва друкованих плат та інших радіоелектронних засобів.
- d. Загальне редагування – надає можливість декільком користувачам редагувати один файл одночасно, що пришвидшує проектування і виробництво друкованих плат.

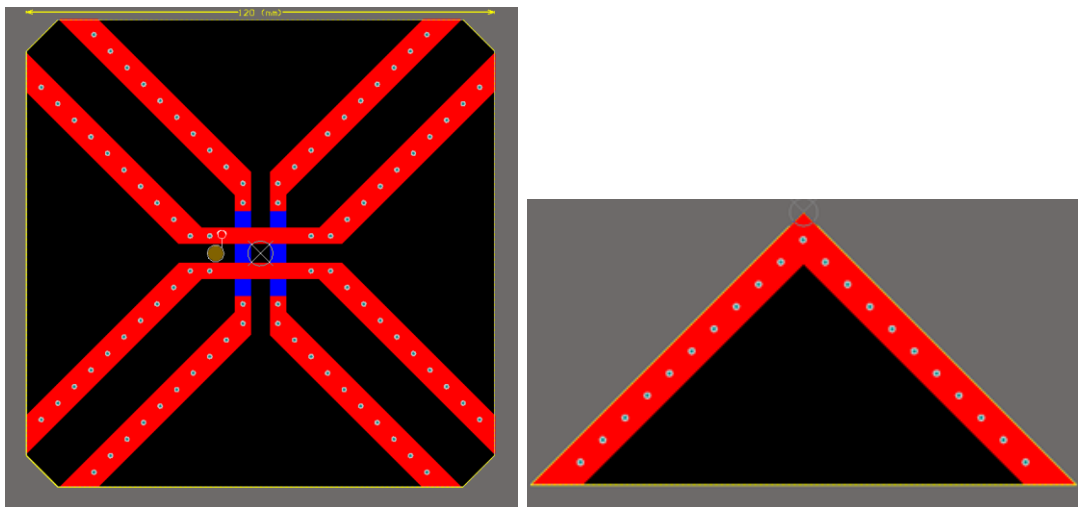


Рисунок 3.15 – Центральна частина антени та бік

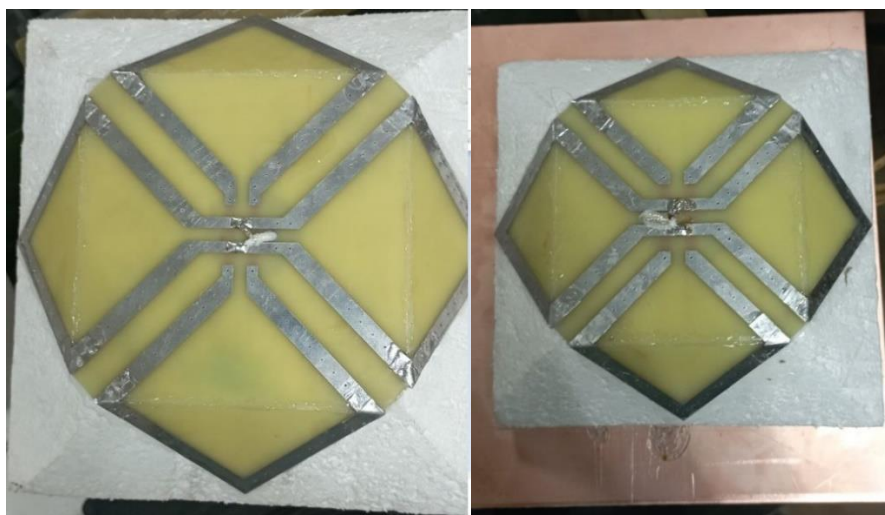


Рисунок 3.16 – Зібрані антени на частоту 1240 МГц і 1575 МГц

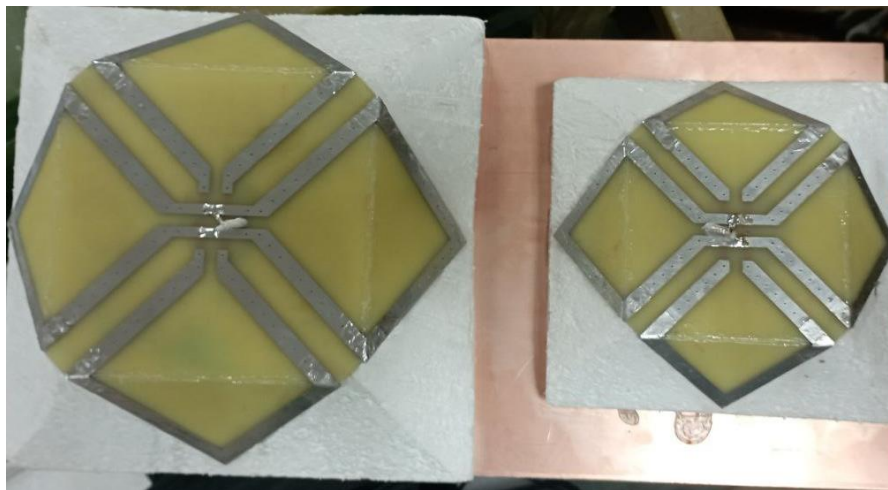


Рисунок 3.17 – Загальна збірка антен

					КІТР.021027.01.06 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

## ВИСНОВКИ

У ході виконання кваліфікаційного проєкту було здійснено розробку антени супутникової навігації з куполоподібною діаграмою спрямованості на основі антени Харченка. Проєкт мав на меті створити ефективну антену для супутникової навігації, яка забезпечувала б надійний прийом сигналу з супутників незалежно від їх положення на небосхилі.

Було проведено детальний аналіз існуючих типів антен, що використовуються для супутникової навігації. Це дало змогу зрозуміти вимоги до нової антени та визначити її основні характеристики.

На основі аналізу було обрано конструкцію антени Харченка (BiQuad) як базову для розробки. Ця антена характеризується високим коефіцієнтом підсилення, широкою смугою пропускання і простотою виготовлення, що робить її підходящою для застосувань в супутниковій навігації. Було здійснено модифікацію конструкції антени Харченка для досягнення куполоподібною діаграми спрямованості. Це включало розробку та оптимізацію геометрії елементів антени для рівномірного прийому сигналу з різних напрямків.

Було виготовлено прототип антени, який успішно пройшов тестування. Випробування показали, що антена має стабільну куполоподібну діаграму спрямованості, коефіцієнт підсилення  $> 8$  дБі і забезпечує надійний прийом сигналу від супутників.

Кваліфікаційний проєкт "Антенa супутникової навігації з куполоподібною діаграмою спрямованості" продемонстрував можливість створення ефективної антени з високими технічними характеристиками, яка може бути використана в системах супутникової навігації. Отримані результати свідчать про успішність обраного підходу та відкривають перспективи для подальших досліджень у цій галузі.

					КПТР.021027.01.06 ПЗ	Арк.
						55
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Що таке GNSS? URL: <https://systemnet.com.ua/gnss/>
2. Серапинас Б.Б. Глобальні системи позиціонування: : навч. посіб. / Серапинас Б.Б - М. : ИКФ "Каталог", 2002. - 106 с.
3. How GPS Receivers Work URL: <https://electronics.howstuffworks.com/gadgets/travel/gps.htm#pt1>. (дата звернення: 20.02.2024).
4. GPS: The Global Positioning System URL: <https://www.gps.gov/> (дата звернення: 20.02.2024).
5. European GNSS Service Centre URL: <https://www.gsc-europa.eu/> (дата звернення: 21.02.2024).
6. What is Galileo? URL: [https://web.archive.org/web/20191011044246/http://www.esa.int/Our\\_Activities/Navigation/Galileo/What\\_is\\_Galileo](https://web.archive.org/web/20191011044246/http://www.esa.int/Our_Activities/Navigation/Galileo/What_is_Galileo) (дата звернення: 21.02.2024).
7. BeiDou 1 Satellite Navigation Experimental System URL: <https://web.archive.org/web/20090131222233/http://www.sinodefence.com/space/spaceraft/beidou1.asp> (дата звернення: 22.02.2024).
8. Супутникові системи навігації: GPS і сім його аналогів URL: <https://worldbank.org.ua/3814-suputnikovi-sistemi-navigatsiyi.html> (дата звернення: 23.02.2024).
9. Навігація у смартфоні URL: <https://ek.ua/ua/post/4850/230-navigaciya-v-smartfone-globalnye-sistemy-sputnikovoy-navigacii-gps-glonass-galileo-i-beidou/> (дата звернення: 23.02.2024).
10. Параболічна антена URL: <https://www.radartutorial.eu/06.antennas/an21.uk.html> (дата звернення: 24.03.2024).
11. Balanis C.A. «Antenna theory analysis and design»: ISBN: 0-471-66782-X: Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2005 – 1073 с.

					КПТР.021027.01.06 ПЗ	Арк.
						56
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

12. Білоцерківський Р. Б. Основи радіотехніки і антен: навч. посіб. / Білоцерківський Р. Б. - М., Радіо і зв'язок, 1983 – 294 с.

13. Конічна щілинна антена (антена Вівільді) URL: <https://www.radartutorial.eu/06.antennas/an40.ru.html> (дата звернення: 29.03.2024).

14. Харченко К.П. УКВ антени: навч. посіб. / Харченко К.П. - М., ДОСААФ, 1969. — 112 с.

15. А.П. Заїкін Антенні пристрої засобів зв'язку: навч. посібник / А.П. Заїкін, О.О. Зеленський, О.В. Тоцький та ін. –Харків, 2003. – 523 с.

16. Гончаренко І.В. Комп'ютерне моделювання антен. Все про програму MMANA. / Гончаренко І.В. - М: ІП РадіоСофт, Журнал «Радіо». 2002 – 10 с.

17. Altium Designer URL: <https://www.altium.com/altium-designer> (дата звернення: 05.04.2024).

					КПТР.021027.01.06 ПЗ	Арк.
						57
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

КПР21/027.0106.01 СК

Перв. эскиз  
КПР21/027.0106 СК

Добіток №

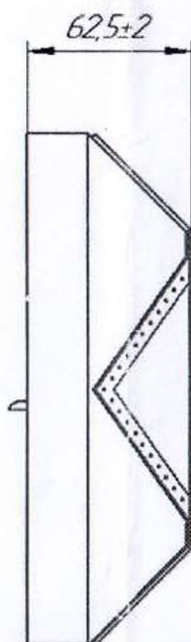
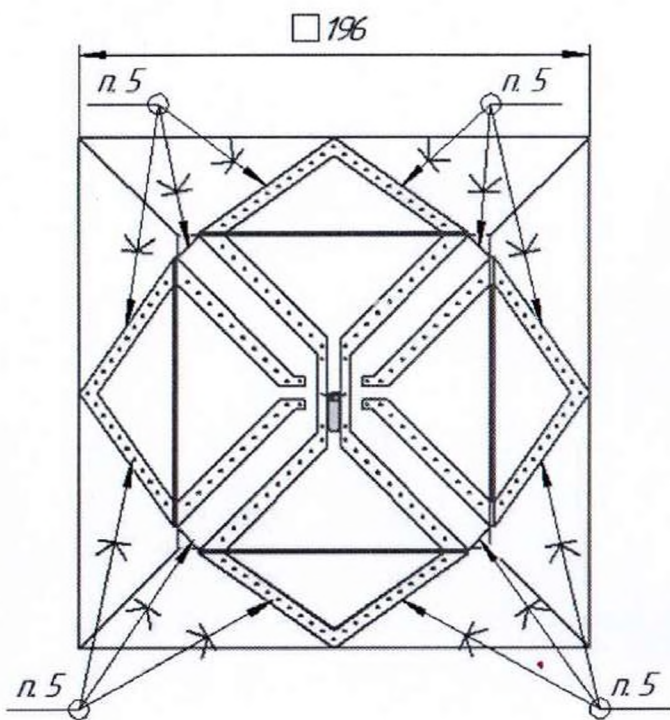
Підпис і дата

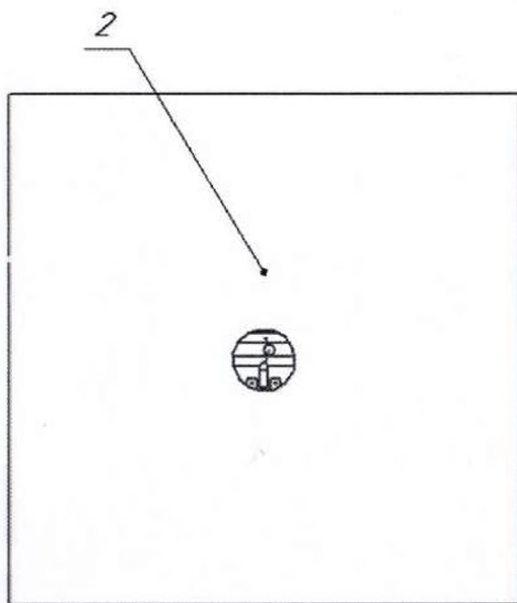
Інв. № дубля

На зам. інв. №

Підпис і дата

Інв. № провідн.

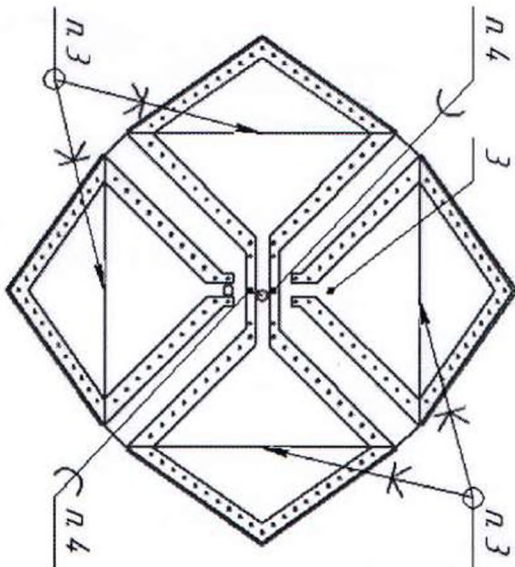
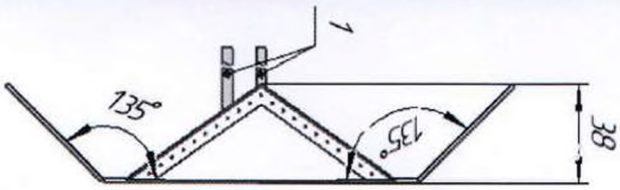
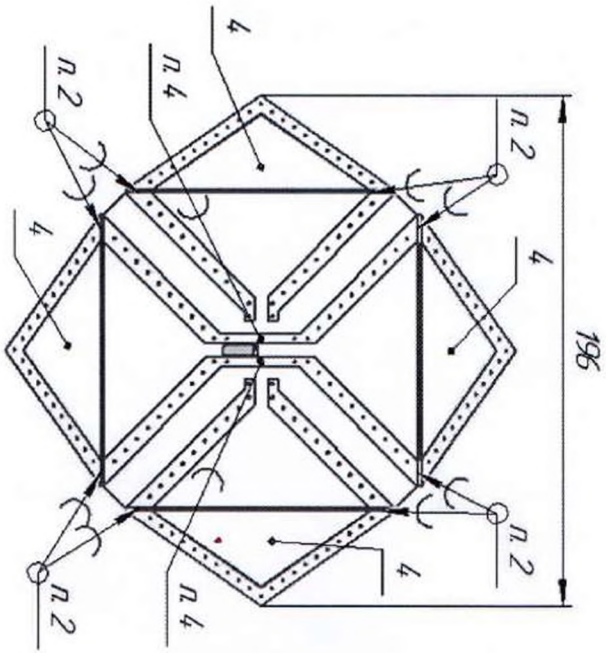




1. Розміри для довідок.
2. Припій ППС-61 ГОСТ 21930-76. Припаювати з обох сторін.
3. Клей Д-9 ОСТ4ГО.029.204. Клеїти з обох сторін після паївки на стиках друкованих плат.
4. Поз. 4,5 клеїти до підставки поз.8 клеєм Д-9 ОСТ4ГО.029.204, клей розмастити по всій площині.
4. Кабелі паяти ППС-61 до центру антени.
5. Граничні відхилення розмірів  $\pm 2$  мм.
6. Решта ТВ згідно з ОСТ4ГО.070.015.

					КПТР.21/027.01.06.01 СК		
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Літ.	Маса	Масштаб
<b>Антенна АП-1</b>						451,05 г	1:2
<b>Складальний кресленник</b>					Аркуш 1	Аркуш 2	
Розроб.	Коваль		<i>[Signature]</i>	23.05.21	ФІТ, ХНУ		
Перев.	Підченко		<i>[Signature]</i>	24.05.21			
Т.контр.							
Н.контр.	Стецьків		<i>[Signature]</i>	15.06.21	Фонат А3		
Затв.	Підченко		<i>[Signature]</i>	11.06.21			
Копіював							

Без поз 8.



Інв. № проєкту	Підпис і дата	На зам. інв. №	Інв. № дубл.	Підпис і дата

Зм.	Док.	№ док.	Підпис	Дата

КПР-21/027.0106.01 СК

Док

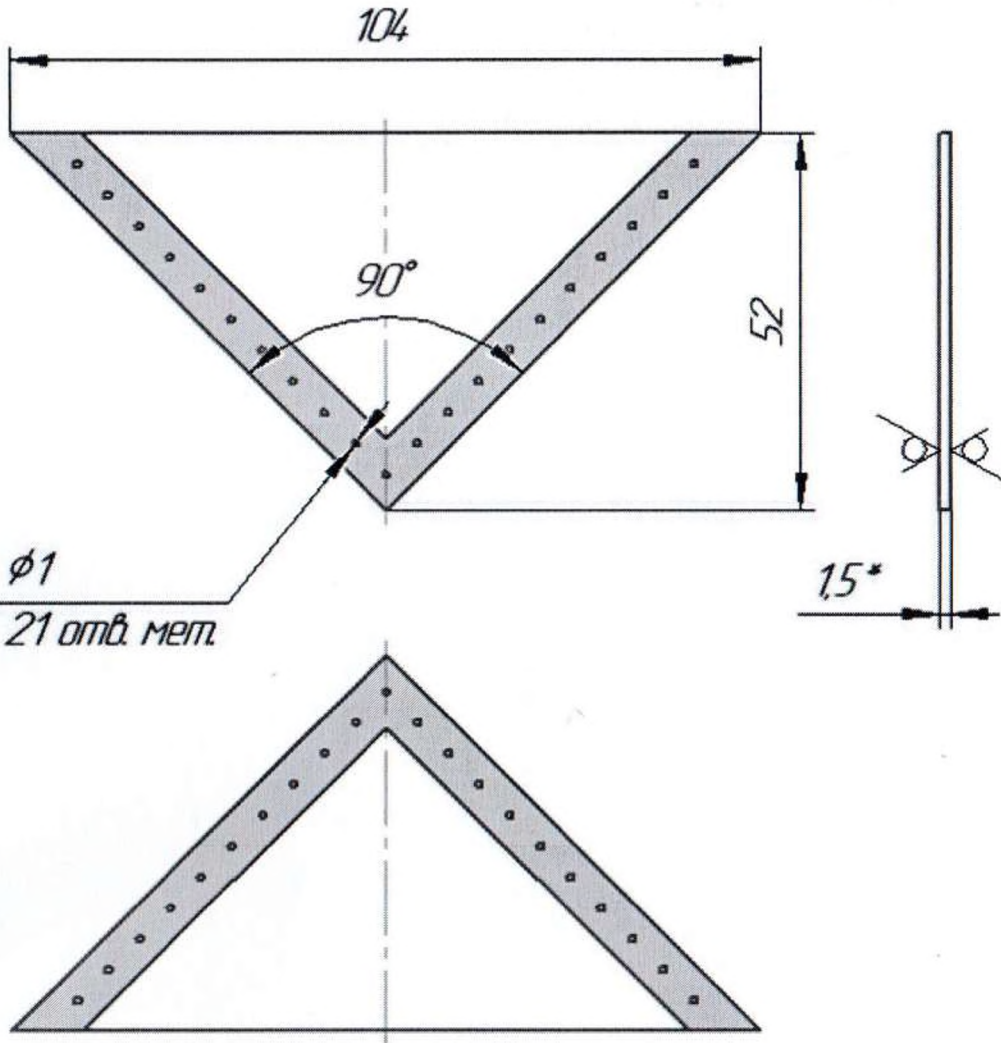
2

Копія

Формат А3

КПТР.21/027.0106.03 СК

$\sqrt{Rz\ 40\ (\sqrt{1})}$



1.\*Размір для довідок.

2. Плата повинна бути покрита по контуру.

Допускається часткове непокриття до 20% по контуру.

3. Граничні відхилення розмірів між осями двох любых отворів  $\pm 0,2\text{мм}$

4. Плата повинна бути покрита згідно з HALI процесу.

5. Поверхні друкованої плати без маски.

6. Решітка ТВ згідно з ОСТ4ГО.070.014.

КПТР.21/027.0106.03 СК

Лист	№ доцм.	Подп.	Дата
Разраб.	Кобаль	<i>[Signature]</i>	27.05.24
Проб.	Підченко	<i>[Signature]</i>	28.05.24
Т.контр.			
Н.контр.	Стецюк	<i>[Signature]</i>	06.06.24
Утв.	Підченко	<i>[Signature]</i>	11.06.24

Плата друкована

Склотекстоліт FR-4 15 35/35

Лист	Масса	Масштаб
	9,14 г	1:1
Лист	Листов	1

ФІТ, ХНУ

Подп. и дата

Инв. № дубл.

Взам. инв. №

Подп. и дата

Инв. № подл.

Справ. №

Перв. примен.  
КПТР.21/027.0106.01 СК

КПТР.21/027.01.06.04 СК

Перв. застосуєб.  
КПТР.21/027.01.06.01 СК

Додатк. №

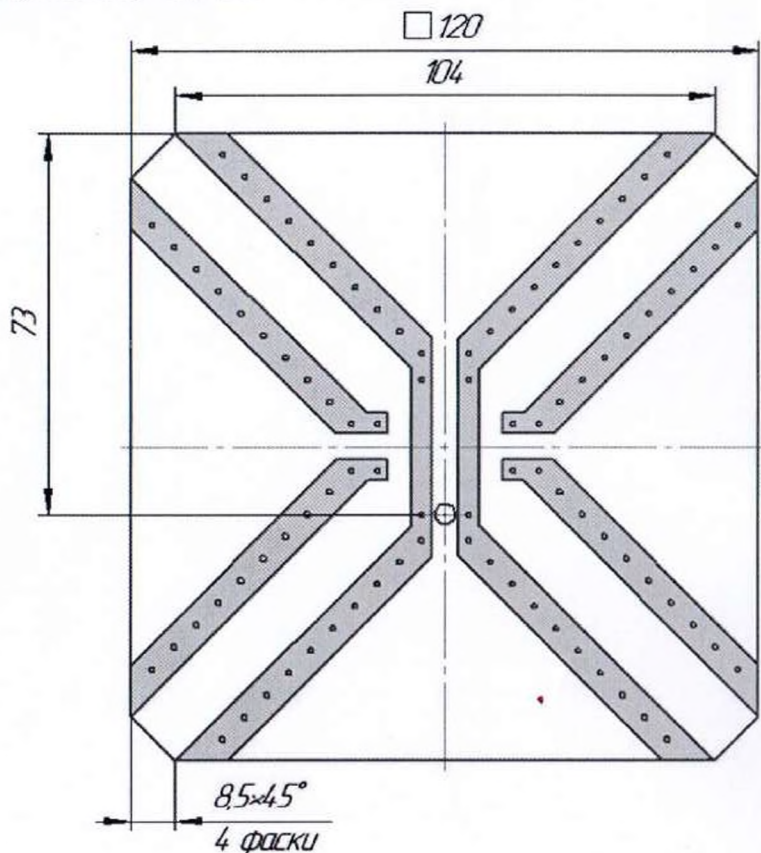
Підпис і дата

Ім'я, № відп.

На зам. ім'я, №

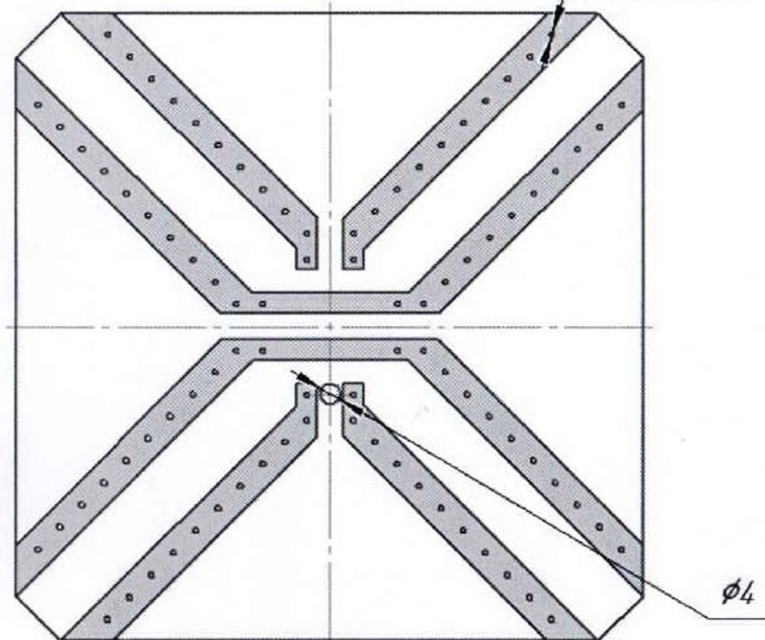
Підпис і дата

Ім'я, № проєкту



$\sqrt{Rz 40 (\sqrt{1})}$

$\phi 1$   
88 отб. мет



1. \*Розмір для довідок.
2. Плата повинна бути покрита по контуру.  
Допускається часткове непокриття до 20% по контуру.
3. Граничні відхилення розмірів між осями двох лобних отворів  $\pm 0,2$  мм.
4. Плата повинна бути покрита згідно з HALL процесу.
5. Поверхні друкованої плати без маски.
6. Решта ТВ згідно з ОСТ4ГО.070.014.

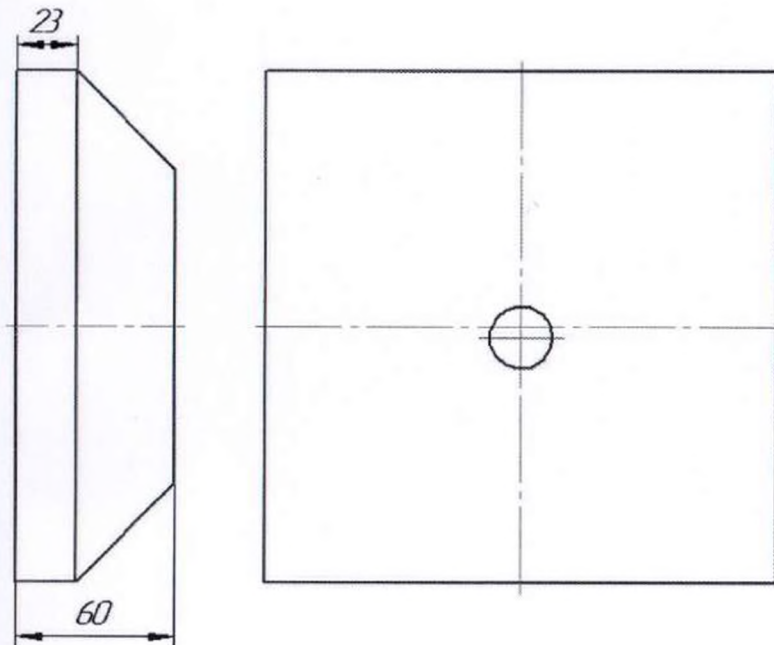
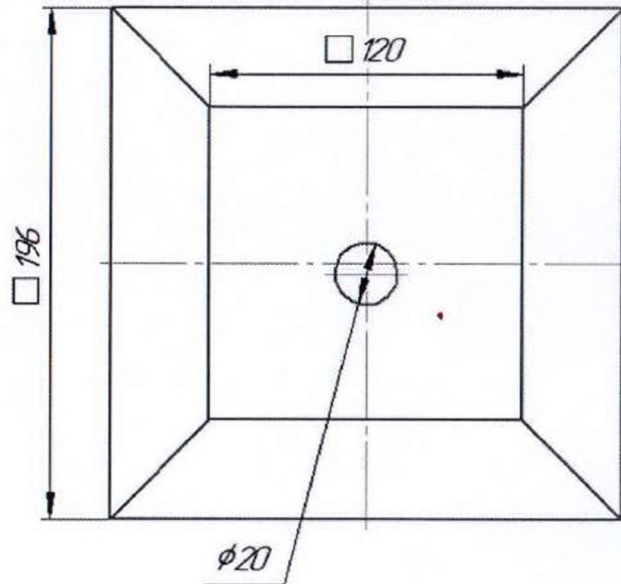
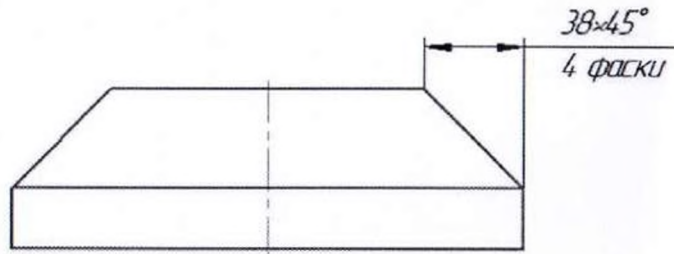
				КПТР.21/027.01.06.04 СК			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Лит	Маса	Масштаб
Разроб.	Кобаль			22.05.21		48,56 г	1:1
Перев.	Підченко			22.05.21			
Т.контр.					Аркцш	Аркцш	1
Н.контр.	Стецьок			22.06.21	Плата друкована		
Затв.	Підченко			01.06.21	Склотекстоліт FR-4 1,5 35/35		

Копіював

Формат А3

КПТР.21/027.0106.07 СК

√ Rz 40 (√)



ТВ згідно з ОСТ4ГО.070.014.

КПТР.21/027.0106.07 СК  
 Переб. застосовано  
 Дробітьк. №  
 Підпис / дата  
 № доз. № доз. №  
 Підпис / дата  
 № доз. № доз. №  
 Підпис / дата  
 № доз. № доз. №  
 Підпис / дата

КПТР.21/027.0106.07 СК

Зм.	Арк.	№ докци.	Підпис	Дата	Лист	Маса	Масштаб
Разроб.	Кобаль			23.05.24	Н	0,36	1:2
Перев.	Підченко			27.5.24			
Т.контр.					Аркциш		Аркциш 1
Н.контр.	Стецюк			08.06.24	Підставка		
Затв.	Підченко			11.05.24	Пенопласт ПЗН ТУ 6-03-4-3-72		
					ФІТ, ХНУ		

Коплюбов

Формат А3

КПР.21/027.01.06.02 СК

Перб. застосуф.  
КПР.21/027.01.06

Додік. №

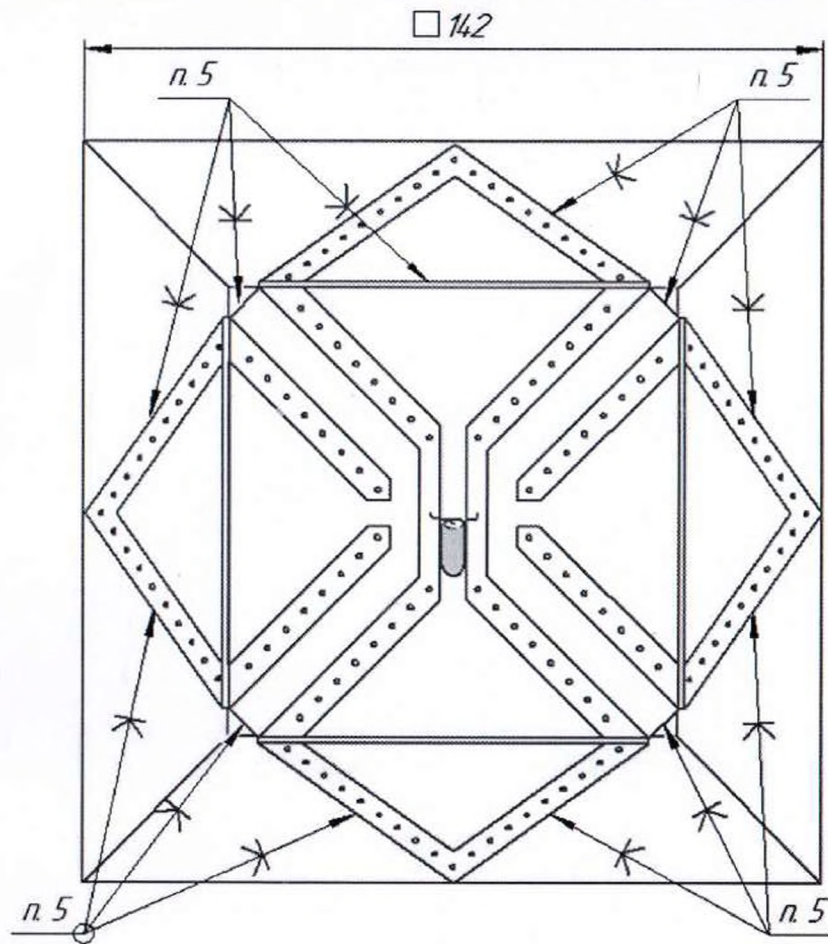
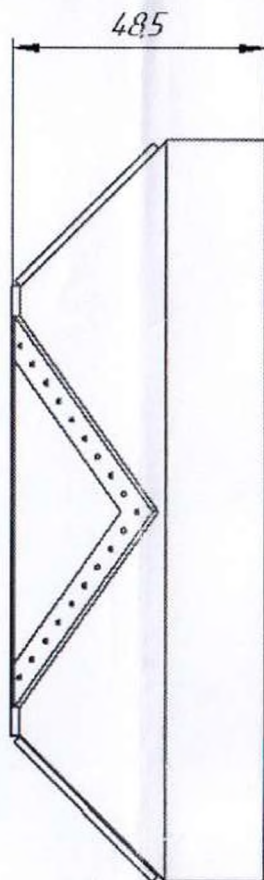
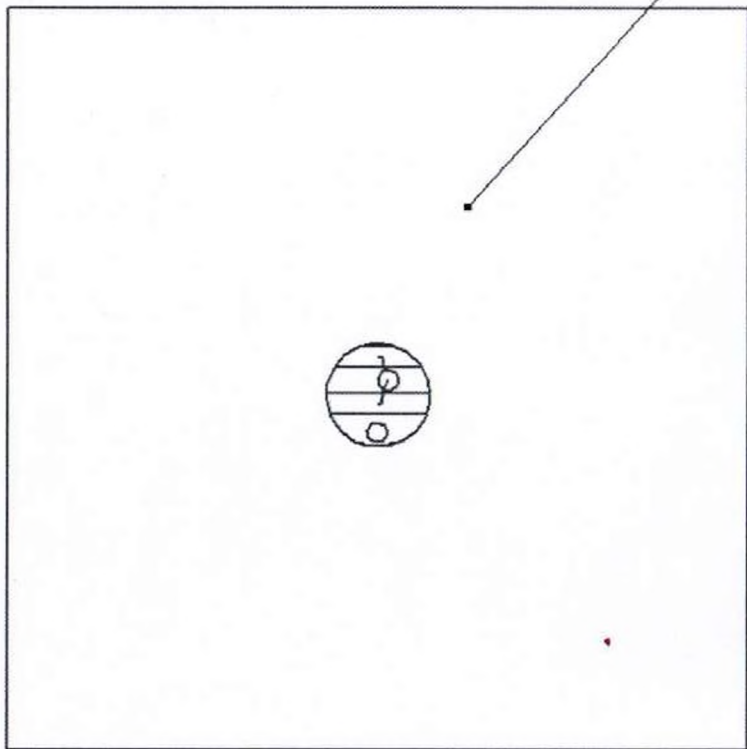
Підпис і дата

Інв. № дубл.

На зам. інв. №

Підпис і дата

Інв. № провідн.



5. Після висихання антени приклеїти до підставки поз.9 клеєм Д-9 ОСТ4ГО.029.204, клей розмастити по всій площині.
6. Відхилення розмірів  $\pm 2$  мм.
7. Решта ТВ згідно з ОСТ4ГО.070.015.

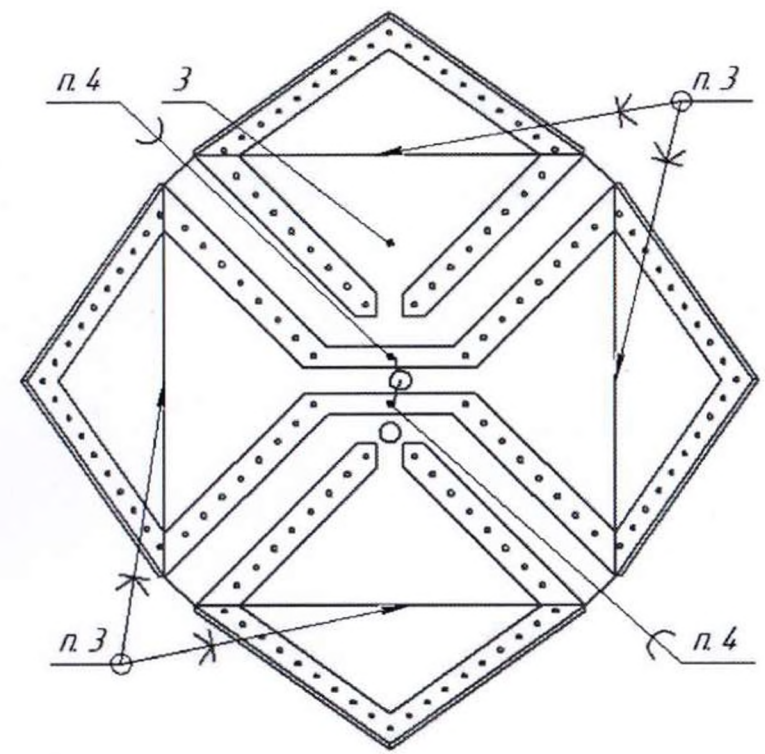
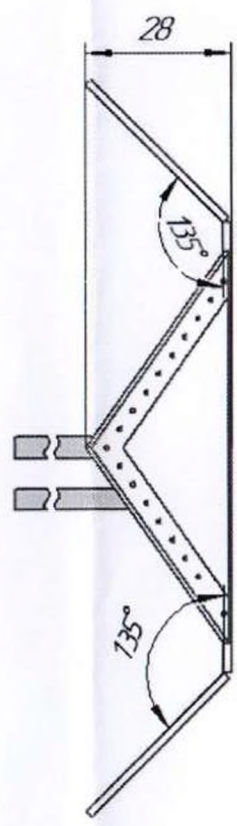
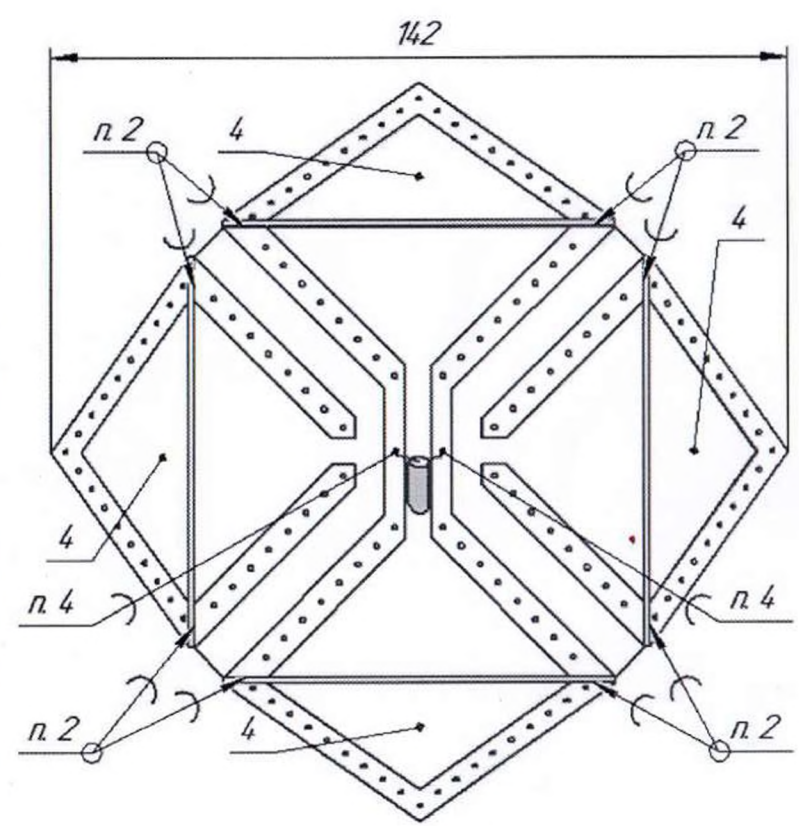
1. Розміри для довідок.
2. Приліп ПРС-61 ГОСТ 21930-76. Прикладавати з обох сторін.
3. Клей Д-9 ОСТ4ГО.029.204. Клеїти з обох сторін після пайки на стиках друкованих плат!
4. Кабелі п'яти ПРС-61 до центру антени.

					КПР.21/027.01.06.02 СК			
Зм.	Арж.	№ док.м.	Підпис	Дата	<b>Антенa АП-2</b> Складальний кресленик	Літ	Маса	Масштаб
Розроб.		Кабаль	<i>[Signature]</i>	23.05.21			0,19	1:1
Перев.		Підченко	<i>[Signature]</i>	28.05.21		Аржцш 1		Аржцшв 2
Т.контр.						ФІТ, ХНУ		
Н.контр.		Стецюк	<i>[Signature]</i>	1.06.21				
Затв.		Підченко	<i>[Signature]</i>	0.06.21				

Копіював

Формат А3

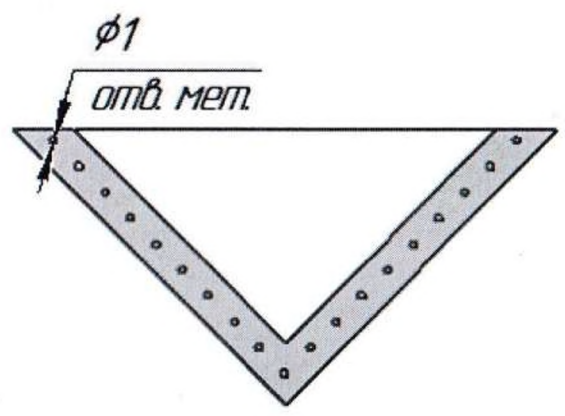
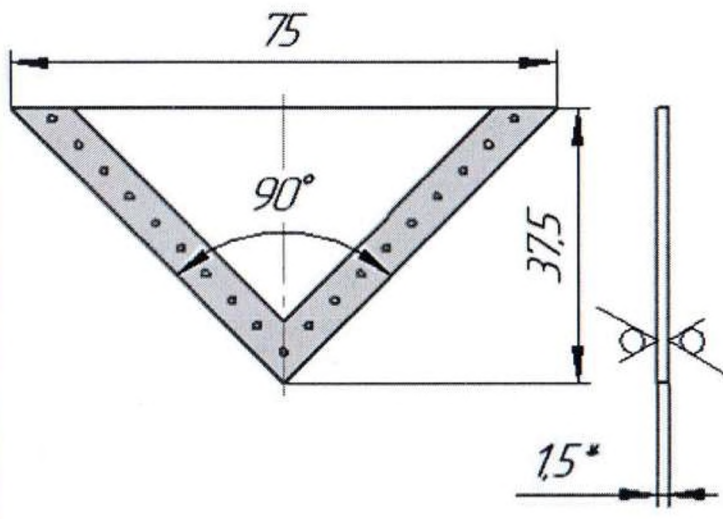
Без поз 9



Инв. № прорабн.	Підпис і дата
На зам. інв. №	Инв. № проєкт.
Підпис і дата	

КПТР.21/027.0106.05 СК

$\sqrt{Rz\ 40\ (\sqrt{1})}$



Перв. застосув.  
КПТР.21/027.0106.02 СК

Довідк. №

Підпис і дата

Інв. № дубл.

На зам. інв. №

- 1\*Розмір для довідок.
- 2 Плата повинна бути покрита по контуру.  
Допускається часткове непокриття до 20% по контуру.
- 3. Граничні відхилення розмірів між осями двох любых отворів  $\pm 0,2\text{мм}$
- 4. Плата повинна бути покрита згідно з HALL процесу.
- 5. Поверхні друкованої плати без маски.
- 6. Решта ТВ згідно з ОСТ4ГО.070.014.

КПТР.21/027.0106.05 СК

					Лім.	Маса	Масштаб
Зм. Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата	Плата друкована		4,63 г	1:1
Разроб.	Кобаль	<i>[Signature]</i>	25.05.24				
Перев.	Підченко	<i>[Signature]</i>	28.05.24				
Т.контр.							
Інв. № прабдн.	Н.контр.	Стецюк	2.06.24	Склотекстоліт FR-4 15 35/35	Аркуш	Аркушів	1
	Затв.	Підченко	11.06.24				

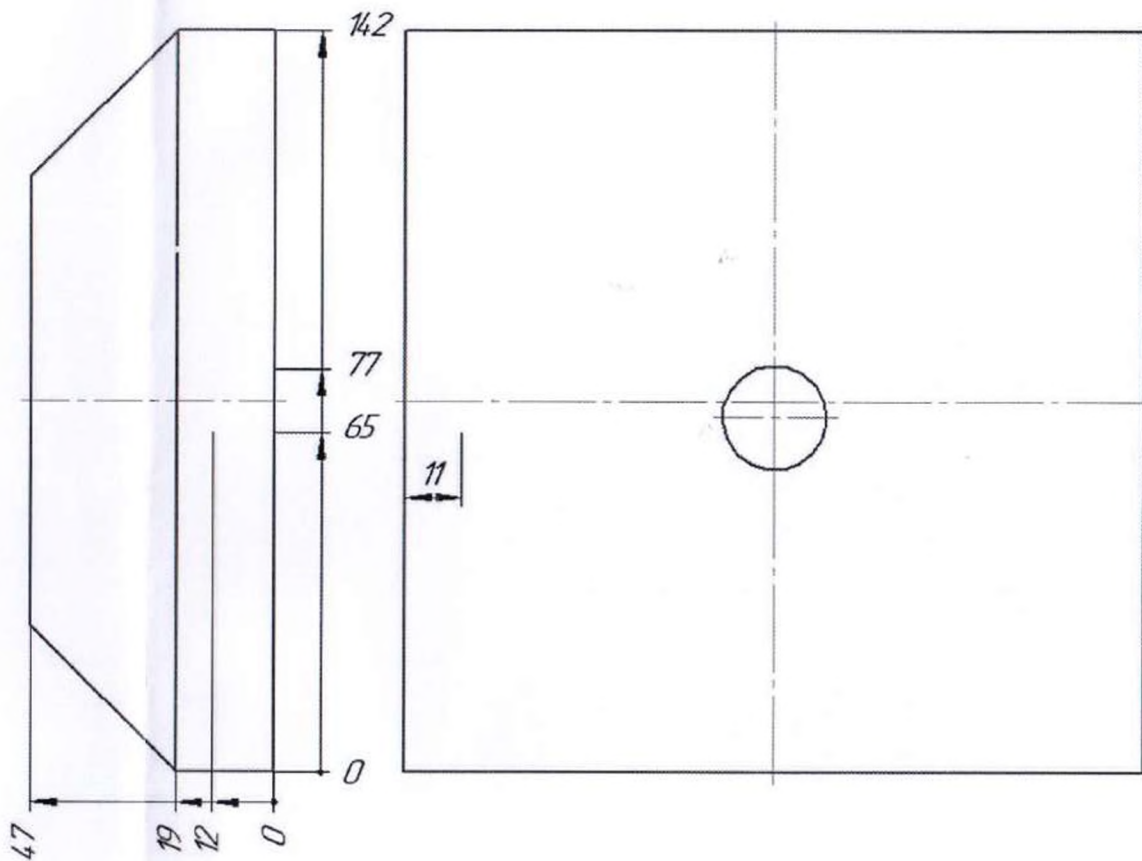
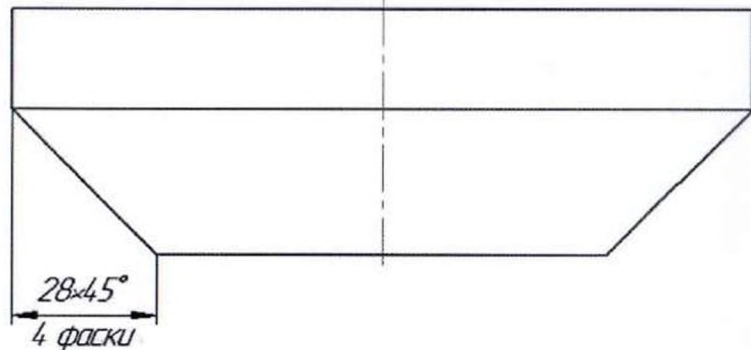
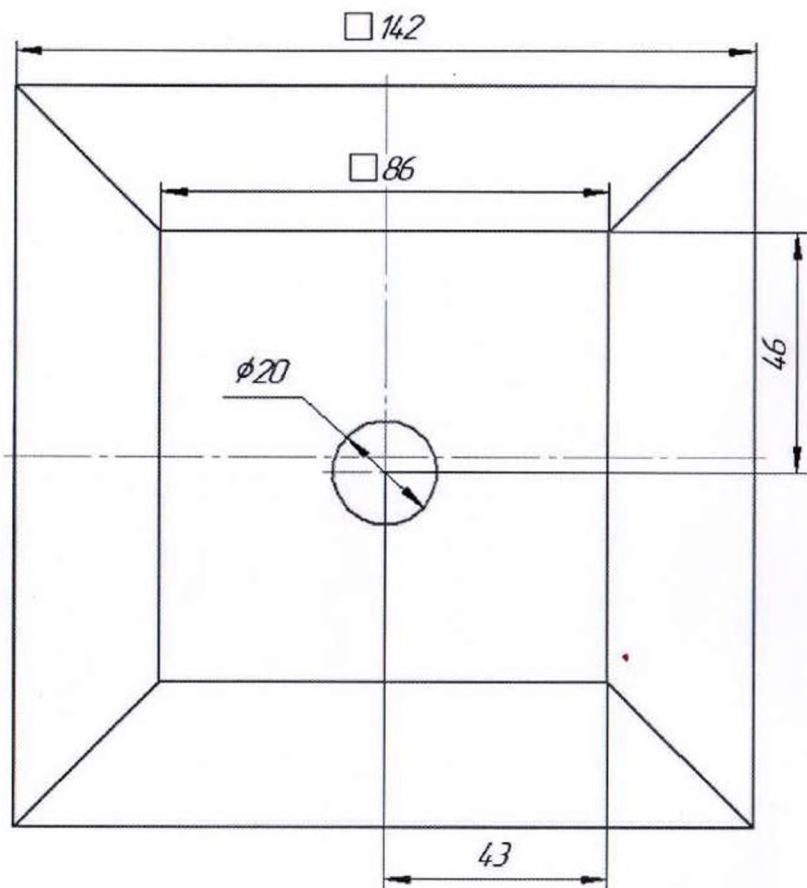
Копія

Формат А4

КПТР.21/027.01.06.08 СК

√ Rz 40 (√)

Перв. застосує. КПТР.21/027.01.06.02 СК  
 Додатк. №  
 Підпис і дата  
 Інв. № дудл.  
 На зам. інв. №  
 Підпис і дата  
 Інв. № провідн.



ТВ згідно з ОСТ4ГО.070.014.

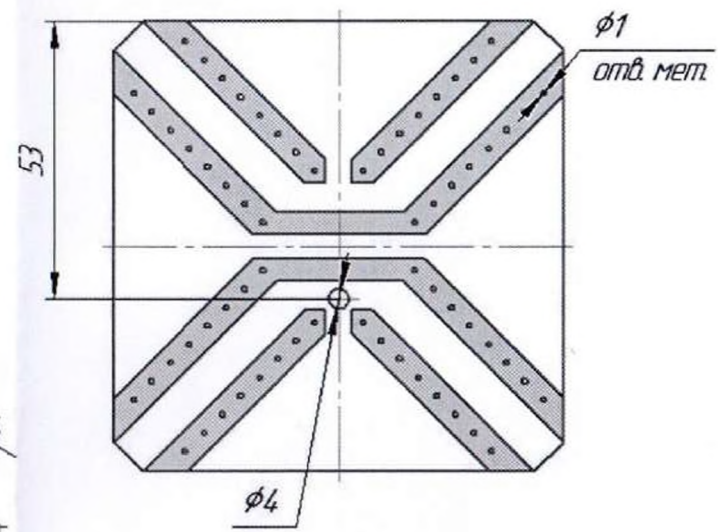
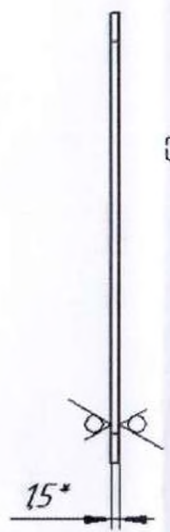
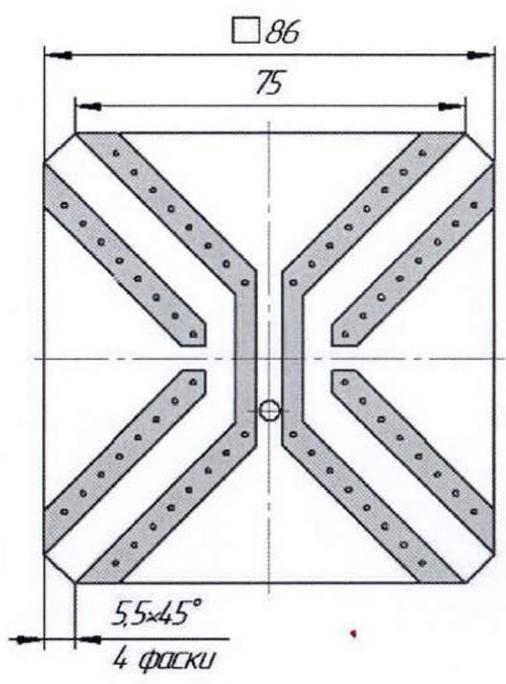
					КПТР.21/027.01.06.08 СК			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	<b>Підставка</b>	Літ.	Маса	Масштаб
Разроб.	Кабаль						0,15	1:1
Перев.	Півченко				Аркуш	Аркушів 1		
Т.контр.					Пенопласт ПЭН ТУ 6-03-4-3-72			Фіт, ХНУ
Н.контр.	Стецьк				Копіював			Формат А3
Затв.	Півченко							

Перв. застосує.  
КПТР.21/027.01.06.06 СК

Добіток №  
Підпис / дата  
Інв. № докл.  
Інв. № №  
На зам. № №  
Підпис / дата  
№ № проєктн.

КПТР.21/027.01.06.06 СК

√ Rz 40 (√)



- \*Розмір для довідок
- Плата повинна бути покрита по контуру.  
Допускається часткове непокриття до 20% по контуру.
- Граничні відхилення розмірів між осями двох лобих отворів  $\pm 0,2$ мм.
- Плата повинна бути покрита згідно з HALL процесу.
- Поверхні друкованої плати без маски.
- Решта ТВ згідно з ОСТ4ГО.070.014.

КПТР.21/027.01.06.06 СК					Лит	Маса	Масштаб
Зн. Арк.	№ док.	Підпис	Дата	Плата друкована		24,33 г	1:1
Разроб.	Коваль	<i>[Signature]</i>	23.05.21				
Перев.	Підченко	<i>[Signature]</i>	23.05.21				
Т.контр.							
Н.контр.	Стецьк	<i>[Signature]</i>	23.05.21	Склотекстолит FR-4 1,5 35/35	ФІТ, ХНУ		
Затв.	Підченко	<i>[Signature]</i>	23.05.21				

Коваль

Формат А3

## ДОДАТОК А

ФАКУЛЬТЕТ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ  
Кафедра телекомунікацій, медійних та інтелектуальних технологій

# Антенa супутникової навігації з куполоподібною діаграмою спрямованості.



Виконав:

Студент групи ТР2с-21-1

Коваль М.О.

Науковий керівник:

Д.т.н. професор

Підченко С.К.

2

## ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

Мета роботи:

- Розробка антени супутникової навігації з куполоподібною діаграмою спрямованості.
- **Об'єктом дослідження** є процес прийому користувачем сигналів супутникової навігації.
- **Предметом дослідження** є антена з куполоподібною діаграмою спрямованості.



## Супутникова навігація. Принцип роботи

3

- Супутникова система навігації (GNSS — Global Navigation Satellite System) — система наземного та космічного обладнання, що призначена для позиціонування в просторі та часі, для визначення швидкості, напрямку та інших параметрів руху об'єкта, яка дає можливість корегувати напрям руху об'єктів при їх відхиленні від запланованого шляху, що є особливо важливим для літаків і кораблів.



Рисунок 1. Сегменти супутникової навігації

## Системи супутникової навігації.

4



Рисунок 2. Зовнішній вигляд супутника системи GPS

- NAVSTAR GPS (Global Positioning System Navigation Satellite Time and Ranging) — високоточна супутникова система навігації, яка дозволяє визначити місцезнаходження об'єкта, його широту, довготу та висоту над рівнем моря, а також напрямок і швидкість його руху. Комплекс NAVSTAR розроблений, утілений і належить Міністерству оборони США.

## Системи супутникової навігації.

5



Рисунок 3. Зовнішній вигляд супутника системи Бейдоу

- Бейдоу (Beidou) - китайська супутникова система навігації. Космічний сегмент навігаційної супутникової системи Бейдоу складається з орбітального угруповання змішаного типу, що складатиметься з супутників на орбітах 3 типів (Beidou-3G, Beidou-3I, Beidou-3M).

## Системи супутникової навігації.

6

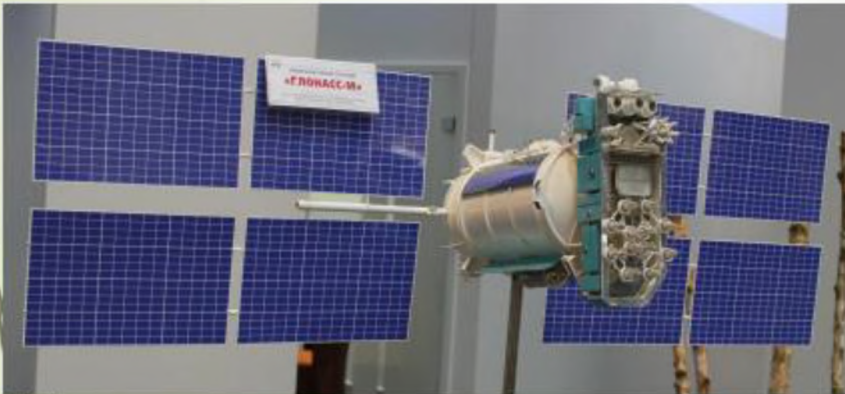


Рисунок 4. Зовнішній вигляд супутника системи Галілео.

- Галілео (Galileo) – система супутникової навігації Європейського Союзу та Європейського космічного агентства, що розроблена як альтернатива американській системі GPS та російській ГЛОНАСС, які контролюються Міністерствами оборони США і Росії відповідно.

## Системи супутникової навігації.

7



- ГЛОНАСС (Глобальна Навігаційна Супутникова Система) - російська радіонавігаційна супутникова система, яка почалась розроблятися на замовлення ще Міністерства оборони СРСР.

Рисунок 5. Зовнішній вигляд супутника системи ГЛОНАСС.

## Антени що використовуються на космічних апаратах.

8

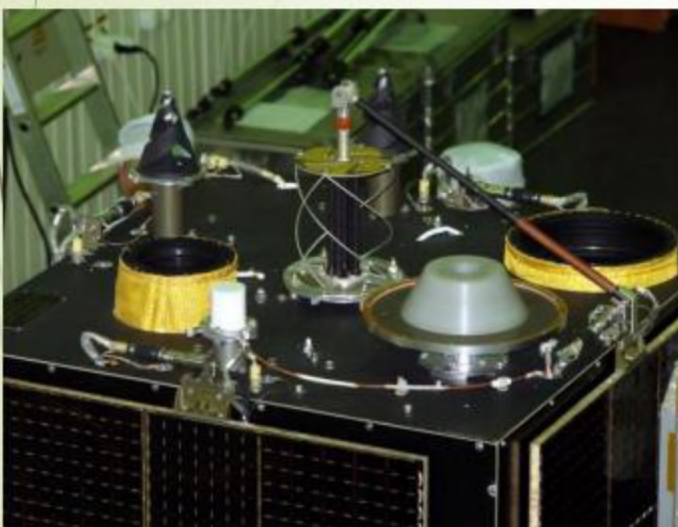


Рисунок 6. Зовнішній вигляд антенного комплексу КА «EgyptSat-1».

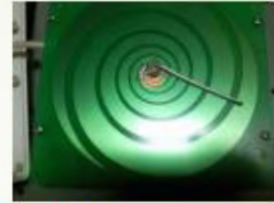
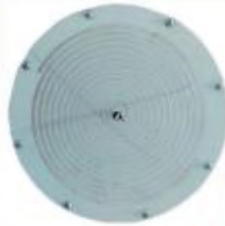
- На всіх космічних апаратах встановлюються велика кількість різноманітних антен, кожна з яких має своє призначення і особливості. Однією з самих розповсюджених і ефективних антен, що легко впізнається на більшості КА, є спіральна антена.
- Спіральна антена, діапазонна антена бігучої хвилі, яка випромінює (приймає) електромагнітні хвилі з еліптичною або круговою поляризацією хвиль. Спіральну антену застосовують переважно в дециметровому і сантиметровому діапазонах довжин хвиль - як самостійно, так і як опромінювачі дзеркальних і лінзових антен (наприклад, у системах космічного зв'язку). Розрізняють плоскі та просторові спіральні антени, які також розділяються на два підвиди.

9

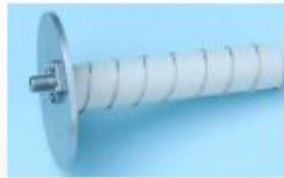
## Антени що використовуються на космічних апаратах.



**Рисунок 7.** Зовнішній вигляд антенного комплексу супутнику «ГЛОНАСС-К».



**Рисунок 8.** Плоскі спіральні антени



**Рисунок 9.** Просторові спіральні антени

10

## Антени в керуючому сегменті



**Рисунок 10.** Великі параболічні

- ▶ Параболічні антени використовуються для передачі та прийому радіохвиль. Вони складаються з параболічного відбивача (дзеркала, тарілки), який фокусує хвилі в одну точку, та приймальної або передавальної антени, розташованої в цій точці.
- ▶ Робота параболічних антен ґрунтується на геометричних властивостях параболи. Коли електромагнітна хвиля падає на антену, вона відбивається від її внутрішньої поверхні таким чином, що всі відбиті промені сходяться в одній точці, яка називається фокусом. Ця фокальна точка є оптимальним місцем для розміщення приймача або передавача, оскільки саме там буде досягнута максимальна концентрація енергії сигналу

11

## Анени користувацького сегменту з куполоподібною діаграмою спрямованості.

- Анени з куполоподібною діаграмою спрямованості мають специфічні властивості та застосування, які роблять їх корисними в різних радіочастотних і бездротових системах. Такі анени зазвичай випромінюють або приймають сигнал рівномірно у всіх напрямках у горизонтальній площині і мають обмежене випромінювання у вертикальній площині, що створює характерну куполоподібну діаграму. Часто ці анени мають відносно широкую смугу пропускання, що дозволяє використовувати їх для прийому або передачі сигналів у різних діапазонах частот. Також анени з куполоподібною діаграмою спрямованості не потребують точного налаштування на конкретний напрямок, що спрощує їх встановлення і експлуатацію.



Рисунок 11. Штирєві анени.

12

## Анени користувацького сегменту з куполоподібною діаграмою спрямованості.



Рисунок 12. Анени типу «Конюшина».



Рисунок 13. всенаправлені BiQuad анени

13

## Направлені антени.



- ▶ Антена Ягі-Уда працює за принципом взаємодії активного елемента з пасивними елементами (рефлектором і директорами). Сигнал, випромінюваний активним елементом, взаємодіє з пасивними елементами, які створюють додаткові електромагнітні поля. Ці поля підсилюють сигнал в напрямку осі антени і пригнічують його в протилежному напрямку.
- ▶ Принцип роботи логоперіодичної антени заснований на тому, що кожен диполь в масиві резонує на певній частоті. Коли сигнал досягає фідерної лінії, він збуджує диполі, довжина яких відповідає частоті сигналу. Завдяки логарифмічному розподілу диполів, антена може ефективно працювати на широкому діапазоні частот.
- ▶ Робота антени Вівальді заснована на принципі розповсюдження електромагнітних хвиль уздовж пластин антени. Коли електромагнітна хвиля падає на антену, вона збуджує коливання у пластинах, які в свою чергу створюють електромагнітне поле.

Рисунок 14. Приклади направлених антен Uda-Yagi.

14

## Направлені антени.

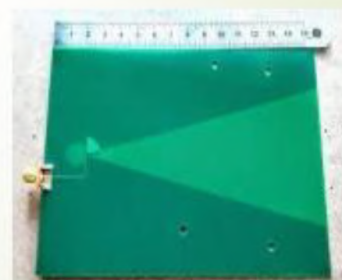
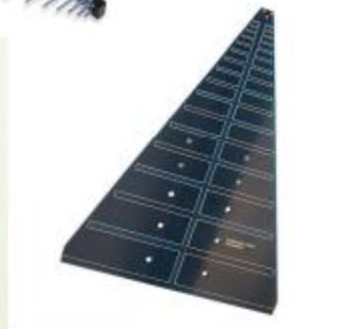
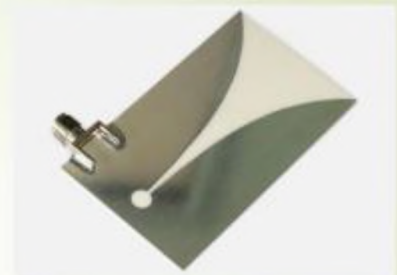


Рисунок 15. Приклади направлених логоперіодичних антен і антен Вівальді.

15

## Направлені антени. Антенa Харченко.

- Антенa Харченко, також відома як біквдратна антенa або антенa подвійного квадрата (BiQuad), є простим, але ефективним типом широкосмугової антени, що широко використовується завдяки своїй простоті виготовлення, низькій вартості та високій працездатності. Її характерна конструкція, що складається з двох квадратів зі сторонами  $\lambda/4$ , робить її привабливою для широкого кола застосувань, де потрібна проста та ефективна антенa.
- Рамки антени мають такі розміри, щоб периметр кожного квадрата дорівнював довжині хвилі сигналу або її кратному значенню. Це забезпечує резонансну взаємодію, коли антенa поглинає або випромінює енергію з максимальною ефективністю. Спрямованість антени Харченко обумовлена симетричністю її конструкції: електромагнітне випромінювання відбувається переважно в напрямку, перпендикулярному до площини рамок.

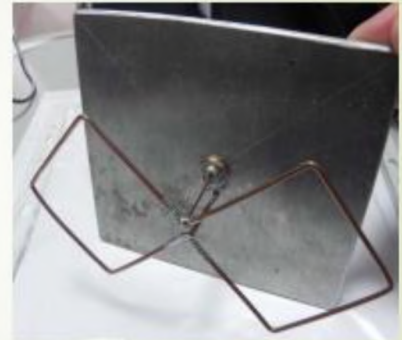


Рисунок 16. Антенa Харченко.

16

## Модифікації антени Харченко.

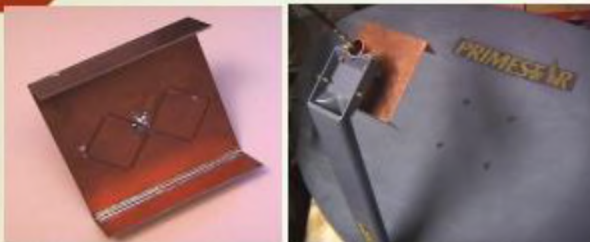


Рисунок 17. Антенa Харченко-Маршала.



Рисунок 18. Подвійна і потрійна антенa Харченко.

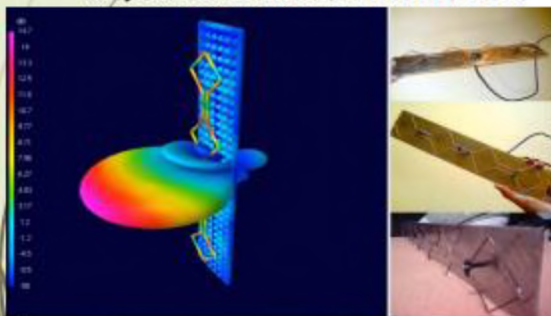


Рисунок 19. Антенa Quados.



Рисунок 20. Антенa BiLoop.

17

## Методики розробки антени.

Розробку антени можна розділити на два етапи:

### 1. Проектування антени:

- A. Вибір типу антени: Тип антени вибирається залежно від її характеристик, таких як частотний діапазон, діаграма спрямованості, посилення та коефіцієнт стоячої хвилі (КСХ).
- B. Моделювання антени: Моделювання антени використовується для перевірки її характеристик перед виготовленням.
- C. Розрахунок параметрів антени: Параметри антени, такі як розміри, форма та матеріали, розраховуються за допомогою математичних методів або програмного забезпечення.

### 2. Виготовлення антени:

- A. Вибір матеріалів: Матеріали для антени вибираються залежно від її характеристик, таких як частотний діапазон, потужність та умови експлуатації.
- B. Виготовлення деталей антени: Деталі антени виготовляються згідно з кресленнями.
- C. Збірка антени: Деталі антени збираються воедино.
- D. Налаштування антени: Антена налаштовується для досягнення необхідних характеристик.

18

## Моделювання антени.

- Перший етап модулювання – побудова звичайної антени Харченко.

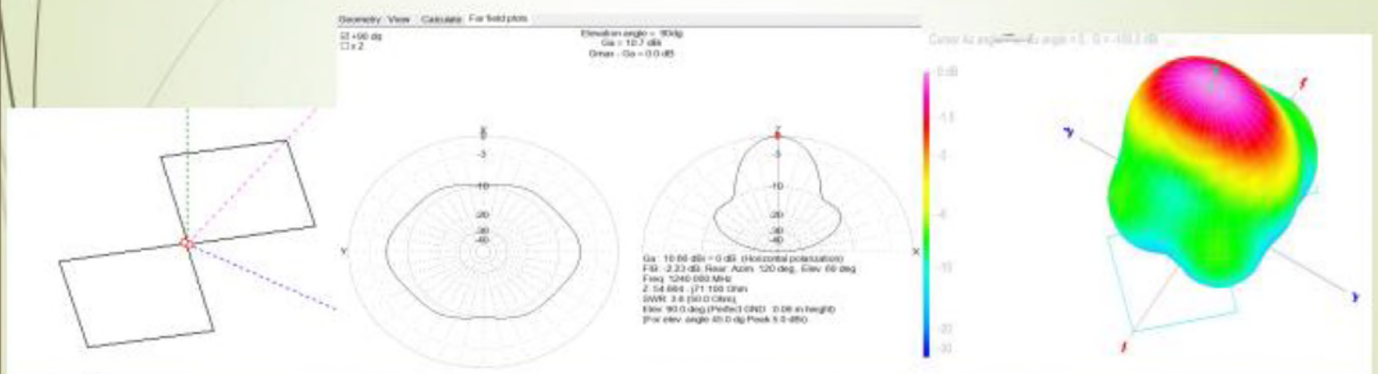


Рисунок 21. Антена Харченко.

Рисунок 22. Діаграма спрямованості.

Рисунок 23. 3D Діаграма спрямованості.

## Моделювання антени.

19

- Другий етап модулювання – побудова антени Харченка з зігнутими бічними сторонами квадратів під кутом  $45^\circ$ .

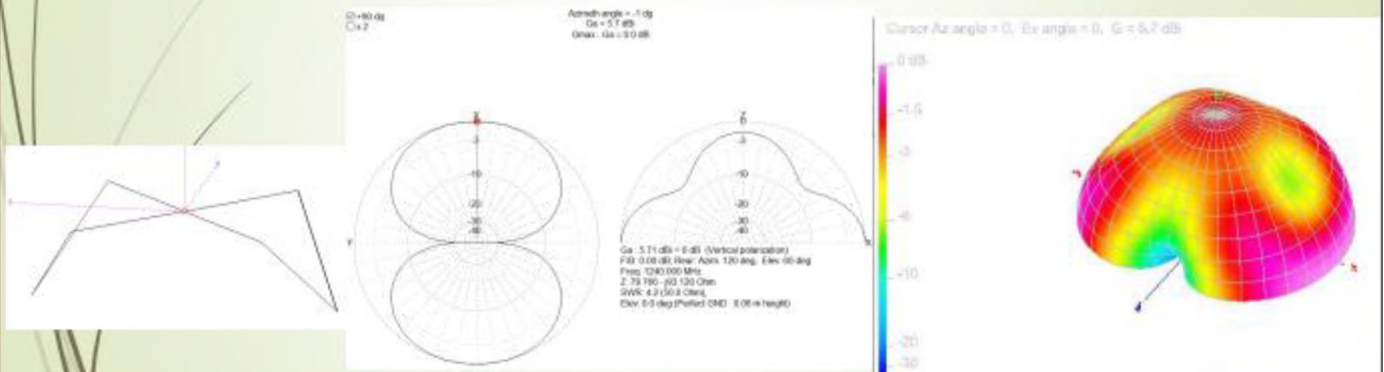


Рисунок 24. Антена Харченка.

Рисунок 25. Діаграма спрямованості.

Рисунок 26. 3D Діаграма спрямованості.

## Моделювання антени.

20

- По 3D діаграмі спрямованості в зміненій антені видно що така антена утворює овал і розширилась, порівняно з першою, на осі X. Тепер потрібно розширити Діаграму для осі Y, для чого кращим варіантом буде додати ще одну таку антену Харченка повернуту на  $90^\circ$ .

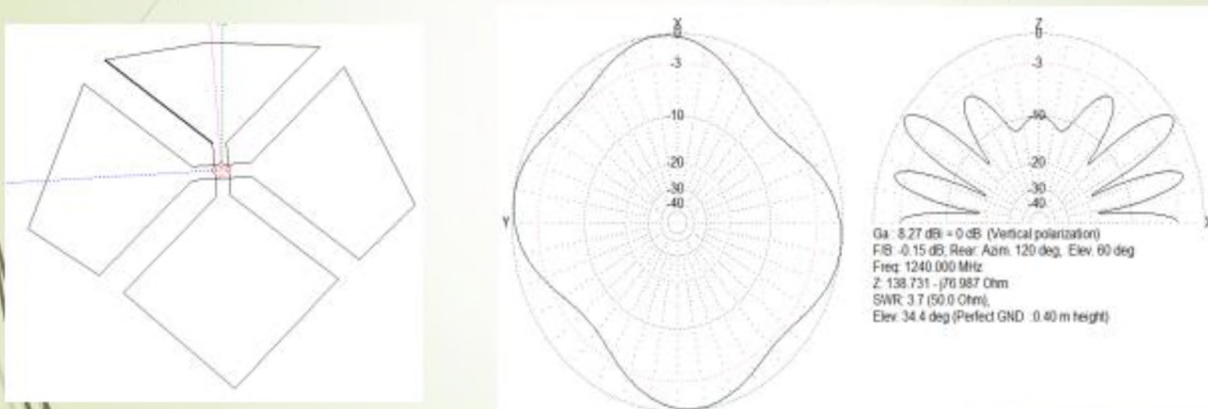


Рисунок 27. Антена Харченка.

Рисунок 28. Діаграма спрямованості.

## Моделювання антени.

21

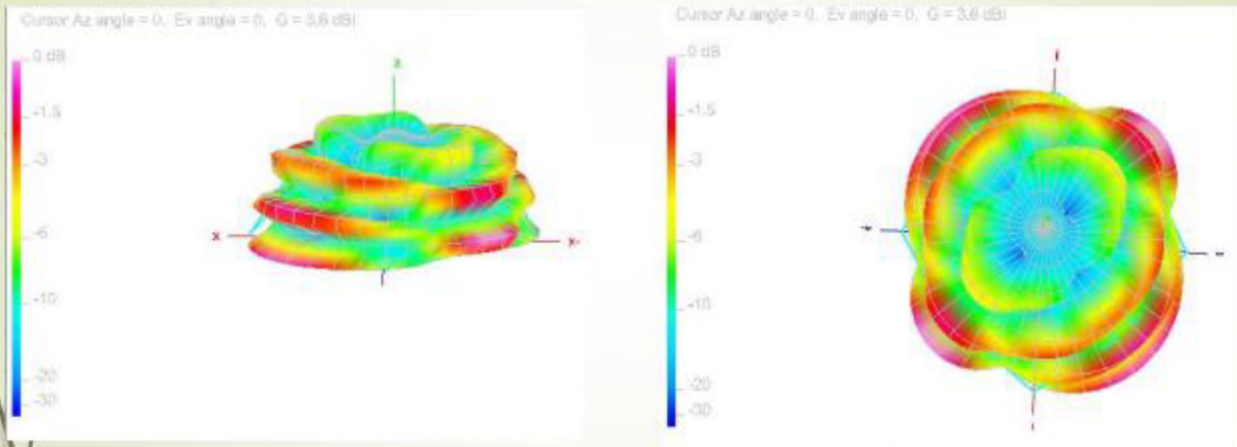


Рисунок 29. 3D Діаграма спрямованості з різних ракурсів.

## Побудова антени

22

- Спочатку, для отримання точних габаритів антени, будуємо її 3D-модель. В цьому розділі буде наведений приклад побудови антени Харченко на 1240 МГц, яка буде мати однаковий вигляд з антеною на 1575 МГц, окрім їх розмірів, які будуть наведені в кресленнях.

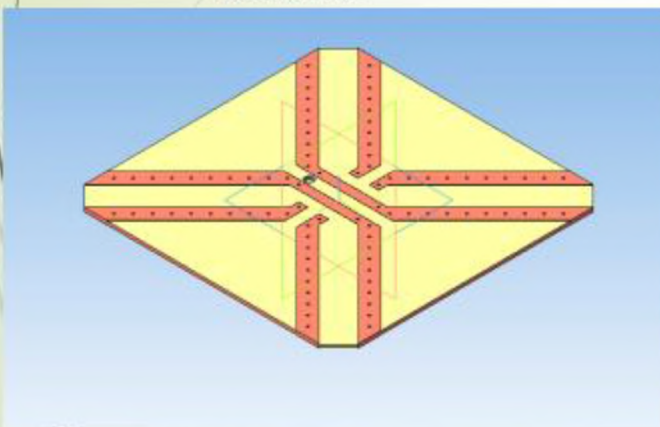


Рисунок 30. Центральна частина антени.

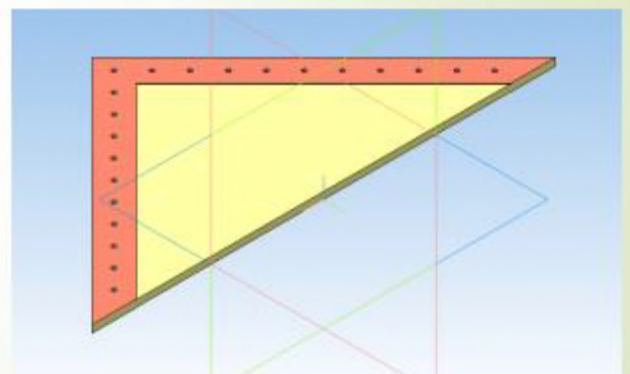


Рисунок 31. Бік (петлюстка) антени.

## Побудова антени

23

Спроектвані деталі за допомогою програми Altium Designer переробляються в вид вид друкованих плат, електронного формату .m3d, що дає можливість виготовити антену за допомогою спеціального обладнання. Altium Designer – комплексна система автоматизованого проектування (САПР) радіоелектронних засобів.

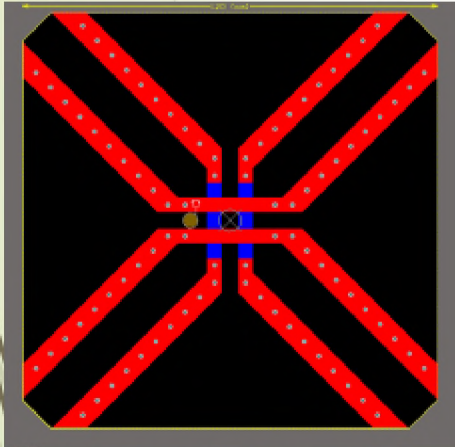


Рисунок 32. Центральна частина антени.

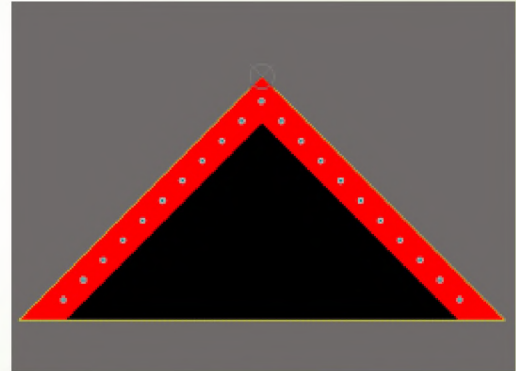


Рисунок 33. Бік (пелюстка) антени.

## Виготовлені антени

24

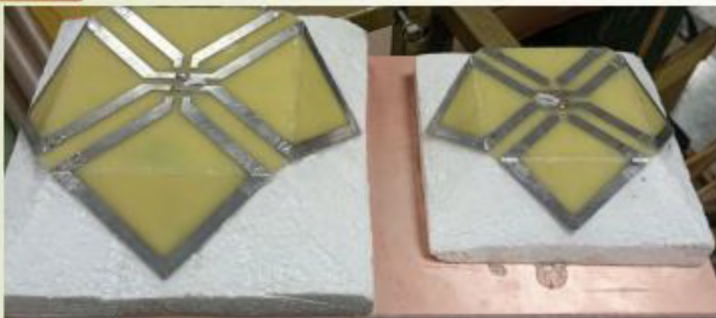


Рисунок 34. Куполоподібні антени Харченко для частоти 1240 МГц і 1590 МГц

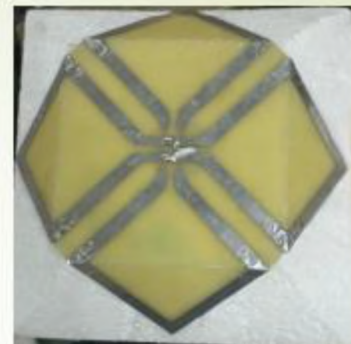


Рисунок 35. Антени Харченко 1240 МГц (вид зверху)

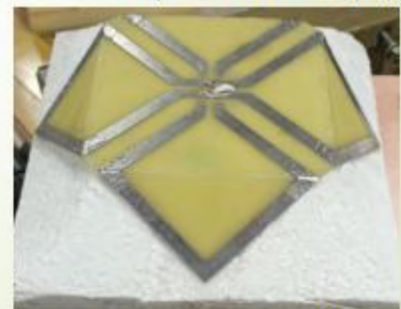
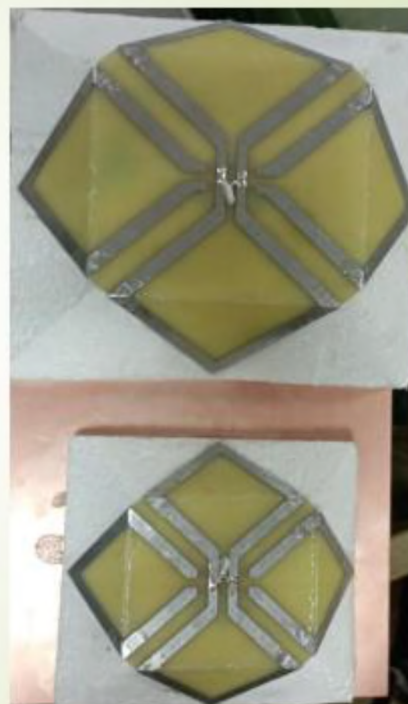


Рисунок 36. Антени Харченко 1240 МГц (вид збоку)

25

## Висновки

- ❖ Проведено аналіз існуючих і сучасних антен що використовуються у всіх сегментах систем супутникової навігації всенаправленого і направленого типу.
- ❖ Була розроблена антена супутникової навігації з куполоподібною діаграмою спрямованості на основі направленої антени Харченко, що має менші габарити і краще підсилення порівняно з стандартними куполоподібними антенами.
- ❖ Проведено моделювання і побудова модернізованої антени Харченко за допомогою програм "MMANA-GAL", "Altium Designer"



Дякую за увагу!

Завідувачу кафедри ТМІТ

Підченко С.К.

здобувача вищої освіти

студента 3 курсу, гр.ТР2с-21-1

Ковалю Максима Олеговича

### ЗАЯВА

З правилами чинного Положення про систему забезпечення академічної доброчесності у Хмельницькому національному університеті, згідно з яким виявлення академічного плагіату є підставою для відмови в допуску кваліфікаційної роботи до захисту і застосування заходів дисциплінарної та академічної відповідальності, ознайомлений (а). Про використання програмно-технічних засобів для перевірки кваліфікаційних робіт здобувачів вищої освіти на наявність академічного плагіату оповіщений (а) та надаю свою згоду на обробку й збереження університетом моєї роботи в інституційному репозитарії Хмельницького національного університету.

Також надаю університету право на передачу моєї роботи для обробки та збереження в базах даних програмно-технічних засобів (Unicheck та/або Anti-Plagiarism) і використання роботи для виявлення академічного 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 текстових збігів в роботах.

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

11.06.2024

дата



підпис

Ім'я користувача:  
Kafedra TMIT KhNU

Дата перевірки:  
11.06.2024 23:10:32 EEST

Дата звіту:  
11.06.2024 23:35:24 EEST

ID перевірки:  
1016349709

Тип перевірки:  
Doc vs Internet + Library

ID користувача:  
100005657

Назва документа: Коваль ТРС-21

Кількість сторінок: 53 Кількість слів: 7251 Кількість символів: 54483 Розмір файлу: 2.57 MB ID файлу: 1016153106

## 18.5% Схожість

Найбільша схожість: 13.3% з Інтернет-джерелом (<https://er.nau.edu.ua/bitstream/NAU/60223/1/%d0%a4%d0%9d%d0%...>)

16.6% Джерела з Інтернету 82

Сторінка 55

3.45% Джерела з Бібліотеки 76

Сторінка 56

## 0.1% Цитат

Цитати 1

Сторінка 57

Не знайдено жодних посилань

## 0% Вилучень

Немає вилучених джерел

## Модифікації

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

Замінені символи 17

Tue Jun 11 21:25:56 EEST 2024, Стецюк Віктор Іванович, Хмельницький національний університет, ХНУ

## Anti-Plagiarism v-15.257

Максимальне співпадіння з одним документом 2.0%

Словники перевірки: en\_US, ru\_RU, ua\_UA. Помилко в документах: 11%

ID: 129807 Назва: Антена супутникової навігації з куполоподібною діаграмою спрямованості Додано в БД: 2024-06-11 Автора: Коваль Максим Олегович Керівники: Підченко Сергій Костянтинович Консультанти: Опоненти:	Документ		Сумарний збіг по Базі Даних	
	Символи	Лексеми	Символи	Лексеми
	42940	642	1223 (3%)	11 (2%)

Джерело плагіату

ID	Опис	Наявність плагіату в документі	
		Символи	Лексеми

**РІШЕННЯ ЕКСПЕРТНОЇ КОМІСІЇ**  
**КАФЕДРИ КОМП'ЮТЕРНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ**  
**ПРО ДОПУСК КВАЛІФІКАЦІЙНОГО ПРОЄКТУ ДО ЗАХИСТУ**

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

Назва: Антена супутникової навігації з куполоподібною діаграмою спрямованості

Автор: Коваль Максим Олегович

Спеціальність: 172 – Телекомунікації та радіотехніка

Освітня програма: освітньо-професійна

Науковий керівник: Підченко Сергій Костянтинович, д.т.н, професор

Після аналізу звіту подібності зроблено такий висновок:

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

Підтвердження:

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

- 1) запозичення розміщені в розділах аналізу існуючих аналогів та прототипів, які не описують безпосередньо авторське дослідження і не стосуються результатів роботи;
- 2) усі запозичення фрагментарні, або мають належним чином оформленні посилання;
- 3) всі зафіксовані системою ознаки модифікації тексту відносяться до комбінування латинських символів зі україномовними скороченнями індексів в формулах, що не є модифікацією тексту.

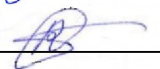
Сумарний обсяг всіх запозичень, визначений системою виявлення збігів/ідентичності/схожості, складає 18.5% і адресується до 158 першоджерел, що, з урахуванням наведених обґрунтувань, відповідає характеру наукового дослідження і свідчить на користь кваліфікаційної роботи.

Керівник роботи

  
\_\_\_\_\_


С. К. Підченко

Гарант ОП

  
\_\_\_\_\_

В. І. Стецюк

Завідувач кафедри ТМІТ

  
\_\_\_\_\_

С. К. Підченко

РЕЦЕНЗІЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНИЙ ПРОЄКТ

Дипломник: Коваль Максим Олегович

Тема: Антена супутникової навігації з куполоподібною діаграмою спрямованості

Спеціальність: 172 «Телекомунікації та радіотехніка»

Обсяг кваліфікаційного проєкту:

Кількість листів креслень 8 Кількість сторінок записки 57

1. Короткий зміст роботи та прийнятих рішень: метою кваліфікаційного проєкту є розробка антени супутникової навігації з куполоподібною діаграмою спрямованості. Поставлена мета досягається дослідженням роботи антен в системах супутникової навігації та розробкою антени з куполоподібною діаграмою спрямованості.

2. Висновок про відповідність роботи дипломному завданню: робота повністю відповідає поставленому завданню.

3. Характеристика виконання проєкту: у ході виконання кваліфікаційного проєкту було здійснено розробку антени супутникової навігації з куполоподібною діаграмою спрямованості на основі антени Харченка. Проєкт мав на меті створити ефективну антену для супутникової навігації, яка забезпечувала б надійний прийом сигналу з супутників незалежно від їх положення на небосхилі. Було проведено детальний аналіз існуючих типів антен, що використовуються для супутникової навігації. Це дало змогу зрозуміти вимоги до нової антени та визначити її основні характеристики. На основі аналізу було обрано конструкцію антени Харченка (BiQuad) як базову для розробки. Ця антена характеризується високим коефіцієнтом підсилення, широкою смугою пропускання і простотою виготовлення, що робить її підходящою для застосувань в супутниковій навігації. Було здійснено модифікацію конструкції антени Харченка для досягнення куполоподібною діаграми спрямованості. Це включало розробку та оптимізацію геометрії елементів антени для рівномірного прийому сигналу з різних напрямків. Було виготовлено прототип

з програмним керуванням, а також описано детально метод непрямого синтезу частоти на основі кола цифрового ФАПЧ для реалізації синтезатора частоти діапазонного кварцового генератора;

3) в третьому розділі кваліфікаційної роботи було описано та обґрунтовано вибір елементної бази для керованого кварцового генератора; розроблено принципову схему діапазонного кварцового генератора з програмним керуванням, а також розроблено та детально описано програмне забезпечення для мікроконтролера сімейства STM32 для керування діапазонним генератором.

4. Позитивні сторони роботи: висока практична цінність роботи.

5. Негативні сторони роботи: недостатній рівень опису програмного забезпечення програмованого генератора.

6. Оцінка графічного оформлення та пояснювальної записки роботи: пояснювальна записка оформлена коректно, згідно діючих стандартів оформлення документації.

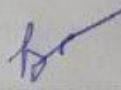
7. Відгук про роботу в цілому: Робота виконана на достатньому науково-технічному рівні.

8. Інші зауваження: \_\_\_\_\_

9. Оцінка дипломної роботи: добре

Рецензент (прізвище, ім'я, по батькові, посада, місце роботи) Гула І. В., к.т.н.,  
доцент кафедри фізики та електротехніки

“\_18” червня 2024 р.

 \_\_\_\_\_ (підпис)

## ВІДГУК

на дипломний проєкт Ковалю М. О.  
*“Антенa супутникової навігації з куполоподібною діаграмою спрямованості”*

Тема кваліфікаційного проєкту «Антенa супутникової навігації з куполоподібною діаграмою спрямованості» присвячена розробці та оптимізації антени супутникової навігації з куполоподібною діаграмою спрямованості. Завданнями є: вивчення сучасних технологій та конструкцій антен супутникової навігації; розробка моделі антени з куполоподібною діаграмою спрямованості; оптимізація параметрів антени для забезпечення максимальної ефективності; проведення експериментів для перевірки працездатності розробленої антени.

В пояснювальній записці технічно грамотно та достатньо повно обґрунтований вибір технічних рішень, проведені необхідні розрахунки та дослідження. Розроблена конструкція антени, виконані розрахунки параметрів та проведено імітаційне моделювання.

Під час проєктування студент Коваль М. О. проявив себе ініціативним і творчим спеціалістом з добрими теоретичними знаннями та практичними навичками. При розробці електричної принципової схеми вміло використовувались стандартні схемотехнічні рішення, що дозволило суттєво скоротити час на розробку пристрою тестування.

Матеріали кваліфікаційного проєкту мають практичну цінність і можуть бути використані на підприємствах відповідного профілю для впровадження у виробництво.

В цілому кваліфікаційний проєкт виконано на достатньо високому рівні, заслуговує на оцінку “відмінно”, а її автор – Коваль М. О. на присвоєння кваліфікації «Бакалавр з телекомунікацій та радіотехніки».

д.т.н., професор



Підченко С. К.