

Додаток А  
(Рекомендований)

КОПІЇ ПРЕЗЕНТАЦІЇ

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

Проектування та дослідження  
антен високочастотних діапазонів  
для радіозв'язку на основі  
технологій 5G

Виконала: Бойченко Анна Анатоліївна

Керівник: ст.викл. PhD. Мерзлікін А.О.

## ВСТУП

В сучасному світі технологій радіозв'язку набуває все більшої важливості, особливо у зв'язку з поширенням мобільних пристроїв та розвитком Інтернету речей (IoT). Технологія 5G є однією з ключових технологій, що революціонізує спосіб, яким ми спілкуємося та взаємодіємо з оточуючим світом.

Одним із ключових аспектів технології 5G є використання високочастотних діапазонів, що вимагає нових підходів до проектування та дослідження антен. Ця робота присвячена теоретичному аналізу та моделюванню антен високочастотних діапазонів для радіозв'язку на основі технологій 5G з метою визначення їхньої ефективності та можливостей в умовах високочастотних перешкод.

## Огляд технічних характеристик високочастотних антен

Частотний діапазон антен для систем 5G є важливим параметром, оскільки він визначає, на яких частотах антена може працювати ефективно. Технологія 5G використовує високочастотні діапазони, що відрізняються від традиційних діапазонів, використаних у попередніх поколіннях мобільних мереж.

Для технології 5G використовуються такі частотні діапазони:

**Міліметрові хвилі (mmWave):** Цей діапазон знаходиться в діапазоні від 30 ГГц до 300 ГГц. Він надає велику пропускну здатність та швидкість передачі даних, але має обмежену дальність передачі і високу чутливість до перешкод.

**Середні частоти:** Цей діапазон зазвичай знаходиться в діапазоні від 2 ГГц до 6 ГГц. Він використовується для забезпечення покриття великих площ і кращої проникності в будівлях.

**Низькі частоти:** Діапазон низьких частот (до 2 ГГц) використовується для забезпечення широкого покриття та підтримки внутрішнього проникнення сигналу.

## Коефіцієнт підсилення

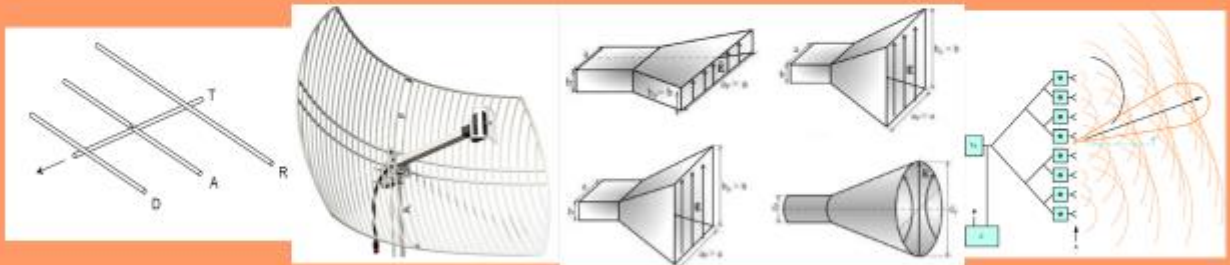
Коефіцієнт підсилення (gain) антени є одним із ключових параметрів, що визначає ефективність антени в перетворенні електричної потужності на радіаційну енергію в певному напрямку. Для антен високочастотних діапазонів, таких як ті, що використовуються в системах 5G, важливо мати високий коефіцієнт підсилення для компенсації високих втрат на цих частотах.

Коефіцієнт підсилення вимірюється в децибелах (dB) і зазвичай порівнюється з ідеальною антеною, яка має підсилення 0 дБ (яка розподіляє енергію рівномірно у всіх напрямках). Зазвичай для антен у системах 5G очікується коефіцієнт підсилення в діапазоні від кількох децибел до десятків децибел, в залежності від конкретного застосування та вимог до зв'язку.

## Теоретичні основи проектування антен для систем 5G

Проектування антен для систем 5G вимагає розуміння ряду теоретичних концепцій і принципів, що стосуються високочастотних антен та їхньої взаємодії з сучасними мережами зв'язку. Основні теоретичні аспекти включають:

Типи антен: Різні типи антен, такі як патч-антени, Yagi-антени, мікрополоскові антени, дипольні антени тощо, мають різні характеристики та використовуються для різних застосувань в системах 5G.



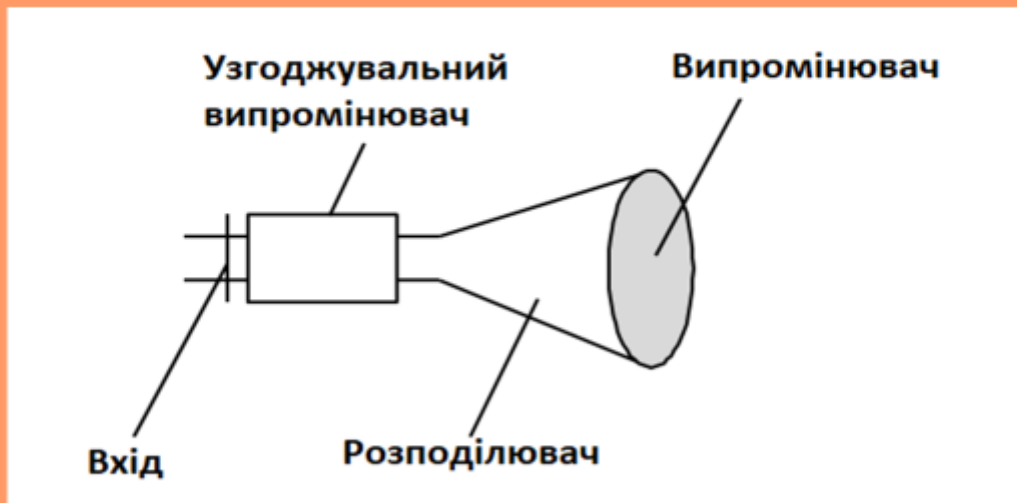
### РАДІОТЕХНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТА ПАРАМЕТРИ ПЕРЕДАВАЛЬНИХ І ПРИЙМАЛЬНИХ АНТЕН

Основне призначення антен - випромінювання або приймання електромагнітних хвиль.

Антенною називається пристрій, що здійснює перетворення спрямованих електромагнітних хвиль у радіохвилі, і навпаки, радіохвиль у спрямовані електромагнітні хвилі.

Якість функціонування антен оцінюється низкою радіотехнічних, конструктивних та інших характеристик і параметрів. Конструктивне виконання антен і досяжні значення параметрів істотно залежать від діапазону застосовуваних радіохвиль. Розрізняють антени довгих хвиль (10 000 - 1 000 м), середніх хвиль (1 000 - 100 м), короткохвильові антени (100 - 10 м), антени УКХ, НВЧ-антени (300 МГц - 300 ГГц), антени оптичних хвиль.

## Структурна схема антени



## Коефіцієнт спрямованої дії та коефіцієнт підсилення

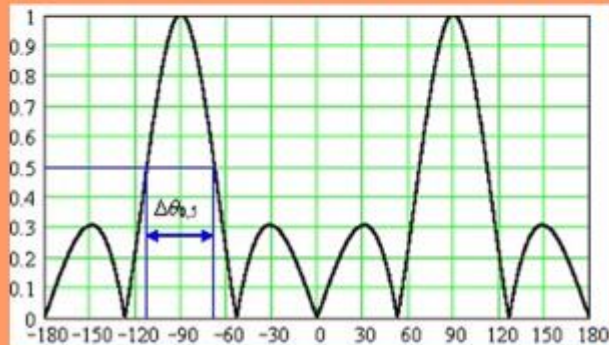
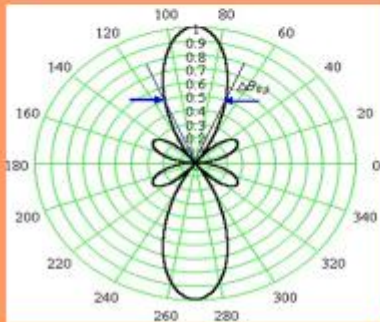
Коефіцієнтом спрямованої дії (КНД) називається відношення густини потоку потужності, випромінюваної даною антеною, у певному напрямі, до густини потоку потужності, що випромінювалася б абсолютно неспрямованою антеною в будь-якому напрямі за рівності повної потужності випромінювання обох антен та за умови, що вимірювання проводять на однаковій віддалі від них у дальній зоні:

$$D = \frac{P_{\text{дослід.антена}}}{P_{\text{ненаправ.антена}}}$$

## Амплітудна діаграма спрямованості

Амплітудна ДН передавальної антени - залежність інтенсивності електромагнітного поля, випромінюваного антеною, або його окремих компонент від кутових координат у просторі.

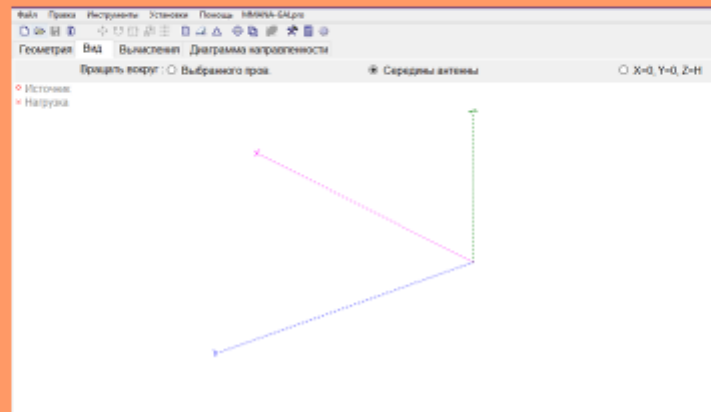
Амплітудна ДН безпосередньо характеризує спрямовані властивості антени, тобто її здатність концентрувати електромагнітну енергію в заздалегідь обраному секторі простору. Визначається за полем або за потужністю. Діаграма спрямованості антени є графічним представленням випромінювальних властивостей антени як функції напрямку випромінювання.



## РОЗРОБКА АНТЕНИ

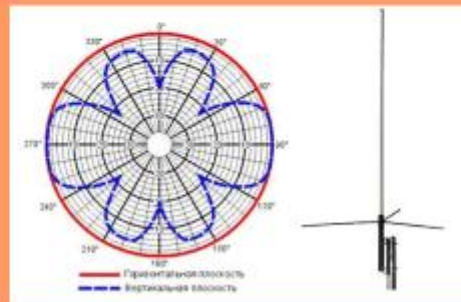
Розробка антени проводилась в MMANA GAL. Це потужний і популярний інструмент для моделювання антен, який використовують радіоаматори та професіонали.

MMANA-GAL використовується для моделювання та аналізу різних типів антен. Вона дає змогу користувачам створювати, редагувати й тестувати антени у віртуальному середовищі, перш ніж розпочати їхнє реальне складання та встановлення.



## Вибір та розробка антени

Вибір антени для 5G мереж залежить від багатьох факторів, включаючи тип середовища, в якому вона буде використовуватись, а також вимоги до покриття та швидкості передачі даних. Всенаправлена антена (рис.3.1) може бути кращим вибором в деяких випадках з наступних причин: Широке покриття. Зручність встановлення. Рухомі користувачі. Простота у використанні в різних умовах: Всенаправленні антени добре підходять для встановлення в місцях з обмеженими можливостями для точного налаштування направлених антен, таких як будівлі з великою кількістю перепон або в місцях зі складними умовами для установки.



## Геометрія антени для частоти 28 ГГц

Геометрія антени для частоти 28 ГГц.

Довжина хвилі  $\lambda = \frac{c}{f}$  де  $c$  - швидкість світла,  $f$  - частота.

Для 28 ГГц ( $28 \times 10^9$ )

$$\lambda = \frac{3 \times 10^8}{28 \times 10^9} = 0.0107 \text{ м}$$

Чвертьхвильова довжина:  $\frac{\lambda}{4} \approx 0.002675 \text{ м}$  (або 2.675 мм).

Субстрат: FR4 з діелектричною проникністю 4.4 і товщиною 1.6 мм.

Провідник: Мідь, товщиною 35 мкм.

Розміри антени:

Довжина антени (L): 8.5 мм

Ширина антени (W): 6 мм

Ширина подачі (Feed width): 1 мм

Відстань від краю антени до подачі (Feed offset): 2 мм

## Геометрія антени

Геометрия	Вид	Вычисление	Диаграмма направленности					
Имя	*		Частота	28000 МГц				
Проводов	5	Автосегментация	DM1 800	DM2 80				
			SC 2.0	EC 2				
			<input type="checkbox"/> в градусах					
			<input type="checkbox"/> Не разбивать					
No.	X1(m)	Y1(m)	Z1(m)	X2(m)	Y2(m)	Z2(m)	R(mm)	Seg.
1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0085	0.1	-1
2	0.0	0.0	0.0	0.0085	0.0	0.0	0.0	-1
3	0.0	0.0	0.0	-0.0085	0.0	0.0	0.0	-1
4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.008	0.0	0.0	-1
5	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.008	0.0	0.0	-1
след								

Для моделювання антени, встановленої в міському середовищі, важливо враховувати параметри землі, характерні для таких умов. У містах ґрунт зазвичай має вищу провідність через присутність різних матеріалів, таких як бетон, асфальт і метал. Під час моделювання антен у міських умовах можна використовувати такі приблизні параметри:

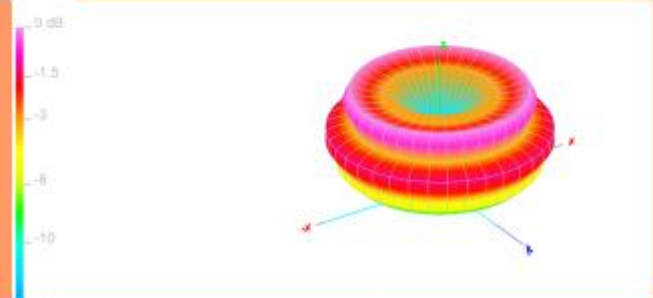
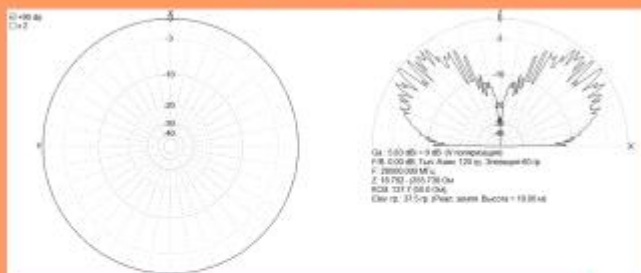
Параметри землі для міського середовища:

Conductivity (провідність): 0.03 S/m

Permittivity (діелектрична проникність): 15

Ці значення є усередненими характеристиками для міського середовища, що включає бетонні будівлі, асфальтові покриття та металеві конструкції.

## Діаграма спрямованості антени



## Відстань роботи

Для визначення відстані, на якій випромінюватиме антена, важливо враховувати кілька чинників, як-от потужність випромінювання, чутливість приймача, перешкоди на шляху поширення сигналу та ефективність антени.

Для цієї антени, що працює на частоті 28 ГГц, радіус покриття залежатиме від цих факторів. У загальному випадку, на відкритій місцевості без перешкод, антена може забезпечити зв'язок на відстань від кількох десятків до кількох сотень метрів.

## Відстань роботи

При характеристиках  
 Частота роботи: 28 ГГц  
 Потужність передавача (Pt): 1 Вт (30 dBm)  
 Коефіцієнт посилення передавальної антени (Gt): 20 dBi  
 Коефіцієнт посилення приймальної антени (Gr): 20 dBi  
 Чутливість приймача (Pr): -90 dBm  
 Системні втрати (Lsys): 10 dB  
 Розрахунок загасання на вільному просторі (FSPL) для 100 метрів

$$FSPL = 20 \log_{10}(100) + 20 \log_{10}(28 \times 10^9) - 147.55$$

$$FSPL = 40 + 88.94 + 180 - 147.55$$

$$FSPL = 161.39 \text{ dB}$$

Перерахунок потужності на приймачі (Pr)

Формула для розрахунку потужності на приймачі:

$$P_r = P_t + G_t + G_r - FSPL - L_{sys}$$

$$P_r = -96.39 \text{ dBm}$$

За системних втрат у 5 dB, потужність на приймачі становитиме -96.39 dBm, таким чином, для досягнення зв'язку на 100 метрів на частоті 28 ГГц з надійністю, необхідно використовувати наступні показники:

Потужність передавача: 1 Вт (30 dBm)

Посилення антен: 20 dBi

Системні втрати: мінімізовані до 5 dB

## Висновки

Дослідження підтвердило важливість теоретичних основ проектування високочастотних антен для забезпечення якісного та швидкого зв'язку в системах 5G. Аналіз літературних джерел і попередніх досліджень дозволив ідентифікувати ключові параметри, що впливають на ефективність роботи антен у високочастотному діапазоні. Вивчення основних принципів роботи високочастотних антен і сучасних підходів до їх реалізації показало, що правильний вибір і налаштування антен є критичними для досягнення оптимальної продуктивності систем 5G. Розроблена всенаправлена антена демонструє перспективи для подальших досліджень і вдосконалення в області високочастотного зв'язку.

Додаток Б  
(Обов'язковий)

ВІДОМОСТІ АТЕСТАЦІЙНОГО ПРОЕКТУ

