

**Полтавський національний технічний університет
імені Юрія Кондратюка
Навчально-науковий інститут інформаційних
технологій і механотроніки**

Національний транспортний університет

**Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»**

**Військовий коледж сержантського складу
Військового інституту телекомунікацій та
інформатизації**

Проблеми інфокомунікацій

**МАТЕРІАЛИ ПЕРШОЇ ВСЕУКРАЇНСЬКОЇ
НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ**

14 – 15 листопада 2017 року

**Полтава – Київ – Харків
2017**

Проблеми інфокомунікацій : Матеріали першої всеукраїнської науково-технічної конференції. – Полтава: ПолтНТУ; Київ: НТУ; Харків: НТУ«ХП»; Полтава: ВКСС ВІТІ, 2017. – 134 с.

ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ КОМІТЕТ КОНФЕРЕНЦІЇ

Голова оргкомітету:

СІВІЦЬКА Світлана Павлівна (к.е.н, доцент, ПолтНТУ, Полтава)

Заступник голови оргкомітету:

ШУЛЬГА Олександр Васильович (д.т.н., доцент, ПолтНТУ, Полтава)

Члени оргкомітету:

СЛЮСАР Вадим Іванович (д.т.н., професор, ЦНДІ ОВТ ЗСУ, Київ)

ГАВРИЛЕНКО Валерій Володимирович (д.ф-м.н., професор, НТУ, Київ)

БАРАНОВ Георгій Леонідович (д.т.н., професор, НТУ, Київ)

СЕРКОВ Олександр Анатолійович (д.т.н., професор, НТУ«ХП», Харків)

ПУСТОВОЙТОВ Павло Євгенович (д.т.н., доцент, НТУ«ХП», Харків)

ІВАНЧЕНКО Олег Васильович (к.т.н., доцент, УМСФ, Дніпро)

БОЯРЧУК Артем Володимирович (к.т.н., НАУ «ХАІ», Харків)

КОПШИНСЬКА Олена Петрівна (к.ф-м.н., доцент, ПДАА, Полтава)

ЗДОРЕНКО Юрій Миколайович (к.т.н., ВКСС ВІТІ, Полтава)

ВАСЮТА Василь Васильович (к.т.н., доцент, ПолтНТУ, Полтава)

ВОЛОШКО Сергій Володимирович (к.т.н., с.н.с., ПолтНТУ, Полтава)

ГРОЗА Петро Миколайович (к.т.н., с.н.с., ПолтНТУ, Полтава)

ДЕГТЯРЬОВА Лариса Миколаївна (к.т.н., доцент, ПолтНТУ, Полтава)

ТИРТИШНІКОВ Олексій Іванович (к.т.н., доцент, ПолтНТУ, Полтава)

СЛЮСАРЬ Ігор Іванович (к.т.н., доцент, ПолтНТУ, Полтава)

Секретаріат оргкомітету:

ВАСИЛЬЄВ Костянтин Олександрович (к.т.н., ПолтНТУ, Полтава)

ЧЕРНИЦЬКА Ілона Олександрівна (ПолтНТУ, Полтава)

УДК 621.396

ФРАКТАЛЬНІ АНТЕНИ ДІАПАЗОНУ 5 ГГц НА ОСНОВІ ПЕТЛІ МІНКОВСЬКОГО

к.т.н., доцент Слюсарь І.І., д.т.н., професор Слюсар В.І., Павлюк С.Ф.

Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка,
м. Полтава
Email: islyusar2007@ukr.net

Як відомо [1], за рахунок своїх мобільних властивостей стандарти групи 802.11x займають основну частку на ринку обладнання послуг широкосмугового доступу (ШСД). В якості технологічного базису, що дозволив зробити якісний стрибок в підвищенні пропускну здатності, надійності та оптимізації обслуговування, можливо виділити: DBF, MIMO, MU-MIMO, OFDM, OFDMA, QAM. В потенціалі, це дозволить забезпечити швидкість передачі даних 7 Гбіт/с (802.11ac) та до 9,8 Гбіт/с (802.11ax). Прогнозовані введення нових робочих частот в інтересах 5G та IoT і збільшення ємності MU-MIMO та існуючі обмеження властивостей мікросмужкових друкованих антен (МДА) [2] вимагають неklasичних підходів щодо проектування антенних пристроїв [3].

З цією метою в роботі запропоновано моделі фрактальних антен на основі петлі Мінковського [4]. В якості вихідних даних використано специфікацію IEEE 802.11ax з орієнтацією на діапазон 5 ГГц. На рис. 1 наведено приклад фрактального перетворення Мінковського прямої дипольної антени довжиною L , яку можна прийняти за нульову ітерацію ($I=0$), на рівні першої ($I=1$, $l_1 = L/4$, $h_1 = l_1/2$) та 2-ої ітерацій ($I=2$, $l_2 = l_1/4$, $h_2 = l_2/2$, $l_3 = h_2$, $h_3 = l_3/2$).

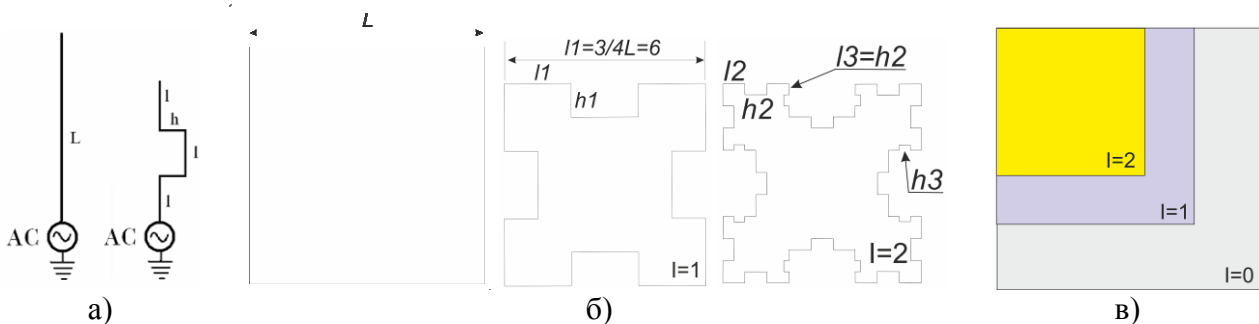


Рис. 1. Фрактальне перетворення Мінковського: а) – прямої дипольної антени довжиною L ($I=1$); б) – квадратної рамки ($I=1, 2$); в) – співвідношення розмірів

Враховуючі складність опису взаємодії антен неевклідової геометрії з радіохвилями, доцільно виконувати їх синтез із використанням прикладних пакетів шляхом математичного моделювання.

Серед низки програмних засобів для моделювання була вибрана програма MMANA-GAL [5]. В ній антена описується як набір одиночних прямих проводів. Результати розрахунку виводяться у вигляді 2D і 3D діаграм спрямованості (ДС) і множини графічних залежностей. Перевагами даного програмного

середовища є безкоштовність (freeware), простота, зручний інтерфейс, можливість масштабування антени на довільний частотний діапазон, розрахунок параметрів пристрою узгодження. MMANA має деякі обмеження в моделюванні реальної землі, але відсутні обмеження щодо взаємного розташування сегментів антенного елементу.

Моделювання виконувалось за етапами: проектування антени в MMANA-GAL на основі геометричних параметрів; визначення електричних параметрів; пошук (оптимізація) на їх основі базової антени; масштабування на очікувану розрахункову частоту (f_{calc}); оцінка електричних параметрів. Мінімальний коефіцієнт стоячої хвилі (SWR) дорівнює 1 при $R = 50$ Ом (реальна складова Z_B). Базовою вважалась антена, яка має результуючу 3D однопроменеву ДС; $SWR \rightarrow \min$, $X \rightarrow 0$ (мніма складова Z_B), $R \rightarrow 50$ Ом, параметр відбиття в програмі MMANA-GAL: $F/B \rightarrow 0$. Поняття f_{calc} введено з метою врахування невизначеності зсуву резонансної частоти фрактальної антени відносно розрахункової. Через можливу несиметричність смуги пропускання при $SWR < 2$, замість першої резонансної частоти аналізувалась центральна частота $f_{median} = 0,5(f_{min} + f_{max})$. При цьому, f_{calc} підбиралась таким чином, щоб f_{median} наближалась до середини діапазону 802.11ах: 5,502 ГГц. Таким чином, досліджувались антени, що наведені на рис. 2 (антена № 4 зі складу бібліотеки MMANA-GAL, з початковим узгодженням для $SWR = 1$ при $Z_B = 27 + j \cdot 0$ Ом). Визначення параметрів проводилось без використання пристрою узгодження у вільному просторі на основі матеріалу без втрат (хвильовий опір – Z , коефіцієнт підсилення (Ga) і SWR). Параметри базових антен наведено в табл. 1. Приклад, результатів проектування та виконання процедури масштабування наведено на рис. 3, 4 і в табл. 2. З метою підтвердження адекватності отриманих моделей оцінювались параметри ДС (рис. 5).

Таблиця 1

Параметри базових антен

№ антени	f_{res} , МГц	Bw (SWR<2,0), кГц	Ga, дБі	F/B, дБ	SWR	Розміри, см
1	125,789	6672,3	3,32	0	2,56	64x64
2	139,867	8290,7	2,7	0	1,61	48x48
3	170,09	8542,6	2,46	0	1,35	36x36
4	14,21	131,3	2,02	0	2,11	284x284

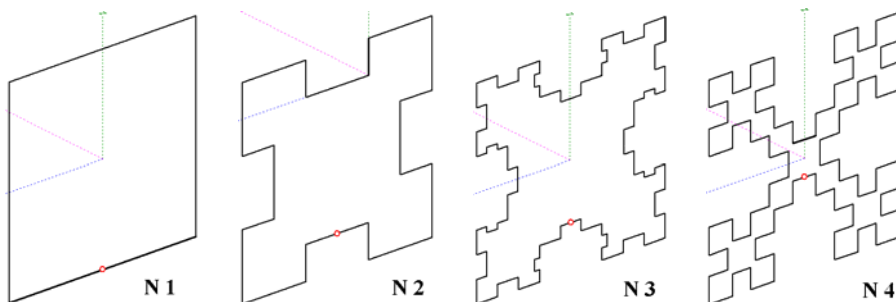


Рис. 2. Моделі антен, що отримані в програмі MMANA-GAL

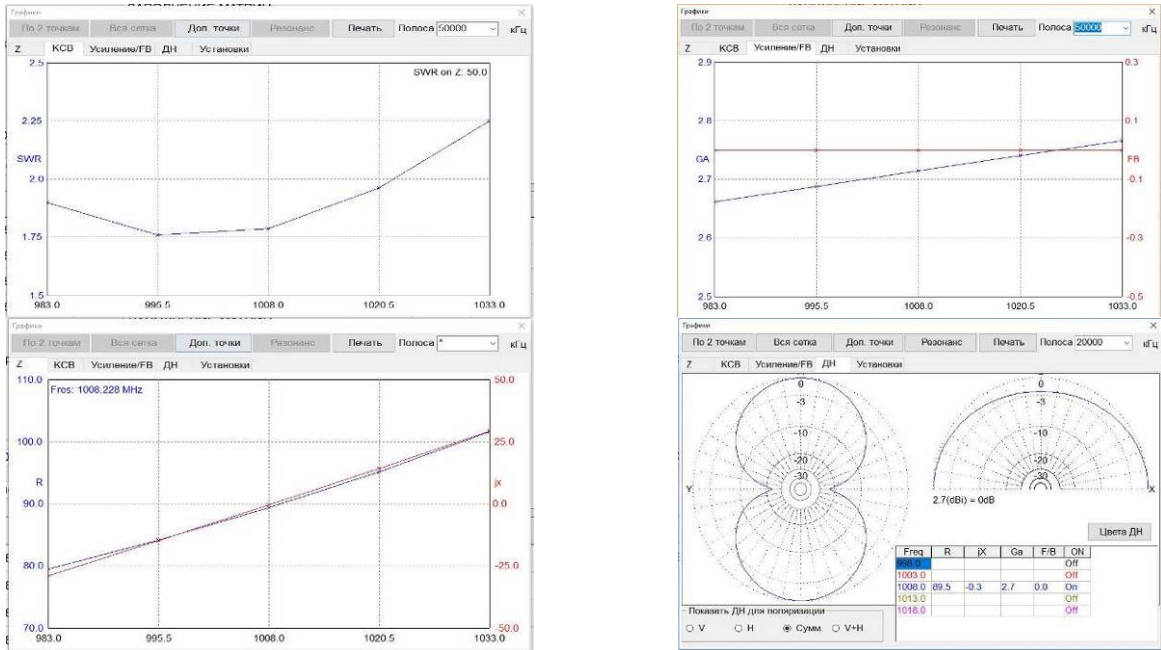


Рис. 3. Параметри базової антени № 3

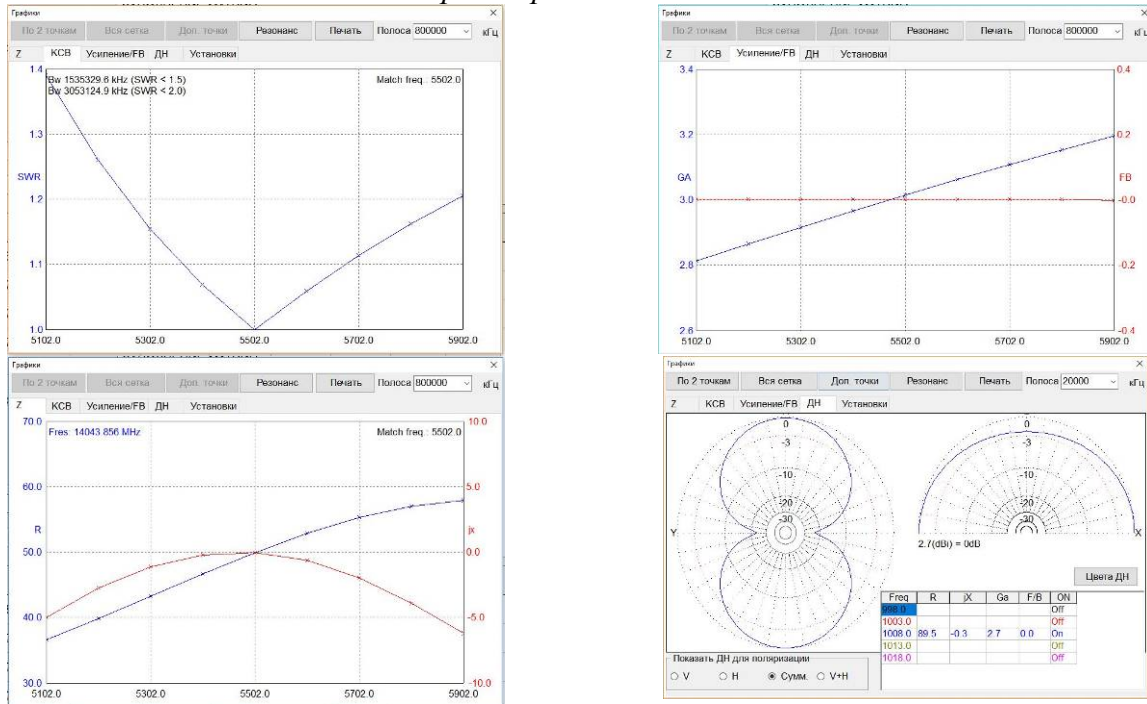


Рис. 4. Параметри масштабованої антени № 3

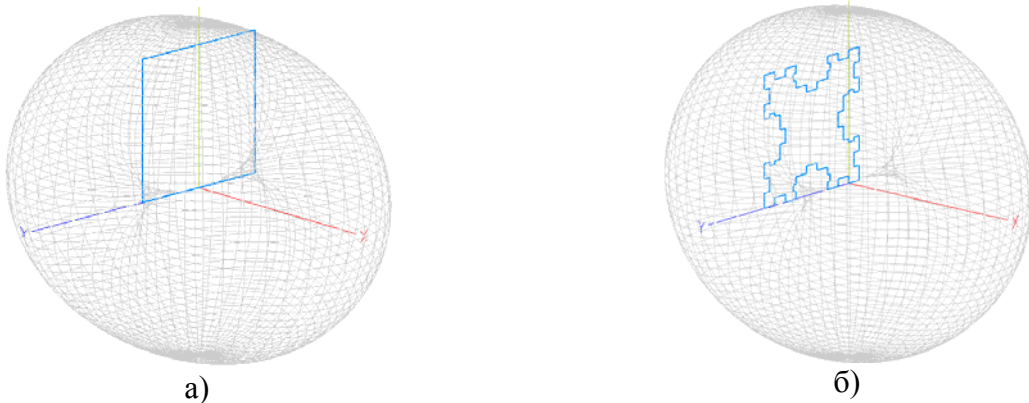


Рис. 5. Приклад: ДС антени: а) – базової № 1; б) – масштабованої № 3

Форма ДС антени № 4 після масштабування наведена на рис. 6, що не відповідає початковим умовам однопроменевості. Для переходу від провідних антен до МДА можливо використовувати поняття еквівалентного провідного вібратору (рис. 7). Так, якщо діаметр проводу (R) дорівнює 1 мм (для МДА, відповідно, 2 мм), в т. ч., після процедури масштабування.

Подальші дослідження будуть спрямовані на моделювання модифікації ламаної Мінківського, що заснована не на квадратному, а на прямокутному шаблоні (FRC) – рис.8. За даними [4], антени на основі FRC-ламаної мають низку переваг перед вібраторами Коха та Мінківського.

Таблиця 2

Параметри масштабованих антен для частоти спостереження 5,502 ГГц

№ антени	f_{calc} , МГц	Bw (SWR<2,0), кГц	Ga, дБі	F/B, дБ	SWR	Розміри, см
1	4875	5211497	3,63	0	2,94	0,0165
2	4275	3034739,8	3,19	0	2,49	0,0157
3	3925	3196563,7	3,03	0	3,03	0,0156
4	2250	412346,2	2,23	-5,67	1,29	0,0177

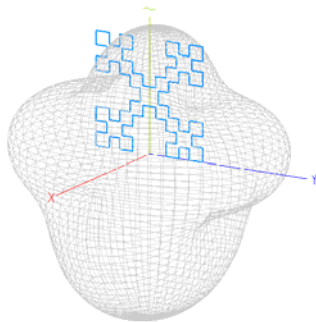


Рис. 6. ДС антени № 4

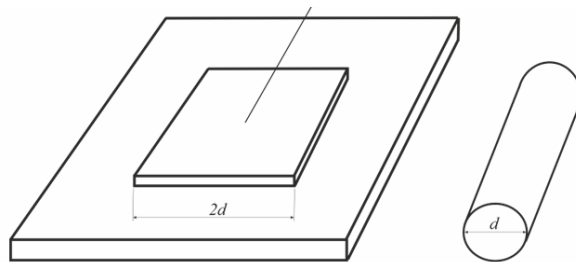


Рис. 7. Мікромужковий та провідний вібратори

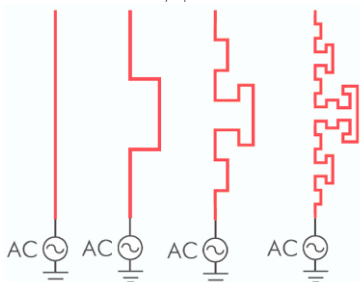


Рис. 8. Формування FRC

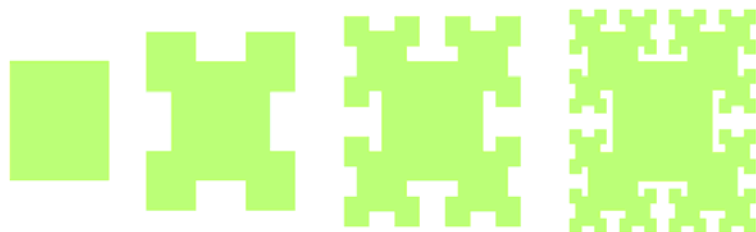


Рис. 9. Ітерації прямокутної рекурсії, узагальнюючої Squares Curve

Література

1. IEEE 802.11ax Technology Introduction White Paper [Electronic resource] / Ronde & Shwarz. – Last access: <http://www.rohde-schwarz.com/appnote/1MA222>.
2. Панченко Б.А. Микрорічкові антени. / Б.А. Панченко, Е.І. Нефедов. – М.: Радио и связь, 1986. – 144 с.
3. Слюсар В.І. Фрактальні антени. Принципово новий тип «ломаних» антен. / Слюсар В.І. // Електроніка: наука, технологія, бізнес. – 2007. – № 5. – С. 78-83.
4. Слюсар В.І. Фрактальні антени. Принципово новий тип «ломаних» антен. Частина 2. / Слюсар В.І. // Електроніка: наука, технологія, бізнес. – 2007. – № 6. – С. 82-89.
5. Гончаренко І. Комп'ютерне моделювання антен. Все про програму MMANA. / І. Гончаренко. – М.: РадиоСофт. – 2002. – 80 с.

Мельник В.М.	68	Серков О.А.	106, 108
Мерзлікін А. О.	85	Скрипник Б.В.	24
Миколенко О.С.	36	Слюсар В.І.	26, 32, 36
Міронова В.Л.	47	Слюсарчук Ю.А.	68
Мозоль Р.С.	90	Слюсарь І.І.	20, 26, 30, 32, 36, 42
Нефьодов О.О.	77		
Неєжмаков П.І.	54	Смоляр В.Г.	20, 26, 30, 42
Обод А.І.	100	Сокол Г.В.	3, 43
Обод И.И.	90	Соколов С.О.	106
Обод І.І.	87	Сомов С.В.	21
Овчинников Д.В.	94	Соснова Е.А.	92
Одарущенко О.Б.	24	Спіян О.М.	52
Оленич О.А.	17	Терещук В.І.	49
Олефір В.С.	20	Тиртишніков О.І.	9,4
Олефірова В.С.	84	Топольськов Є.О.	72, 74, 75
Опішнян Т.А.	41	Улько Р.Є.	9
Орлов Д.М.	81	Фокін В.В.	87
Павлюк С.Ф.	32	Харитоновна Л.В.	59
Паранькіна О.Ю.	68	Харкянен О. В.	50
Парохненко Л.М.	63	Цопа О. І.	85
Парохненко О.С.	48	Шаповалов В.С.	103
Поворознюк Н.І.	65	Шарай О. І.	6
Подьячий Г.Ю.	92	Шевцова В.В.	108
Поночовний Ю.Л.	6	Шендрик О.М.	38
Прокопенко О.О.	30	Шкіцькій В.В.	25
Прохоренко О.М.	46	Шкляр В.О.	67
Пустовойтов П.Є.	93	Яковенко П.Л.	11
Рогочий С. Ю.	6	Янко А.С.	11, 14, 17
Ромашко І.В.	5, 22		
Рудоман Н.В.	57		
Рудь П.О.	40		
Савченко М.В.	95		
Савченко Н.В.	125		
Сайківська Л.Ф.	38		
Сапон Н.Н.	64		
Свид І.В.	100, 103		
Свичкар В.Ю.	90		
Сердюк А.А.	75		

ЗМІСТ

Секція 1. Комп'ютерні системи та мережі	3
Секція 2. Телекомунікаційні технології та системи	24
Секція 3. Інтегровані засоби інтелектуальних технологічних комплексів та систем	45
Секція 4. Інфокомунікаційні системи і технології.....	80
Учасники конференції	132