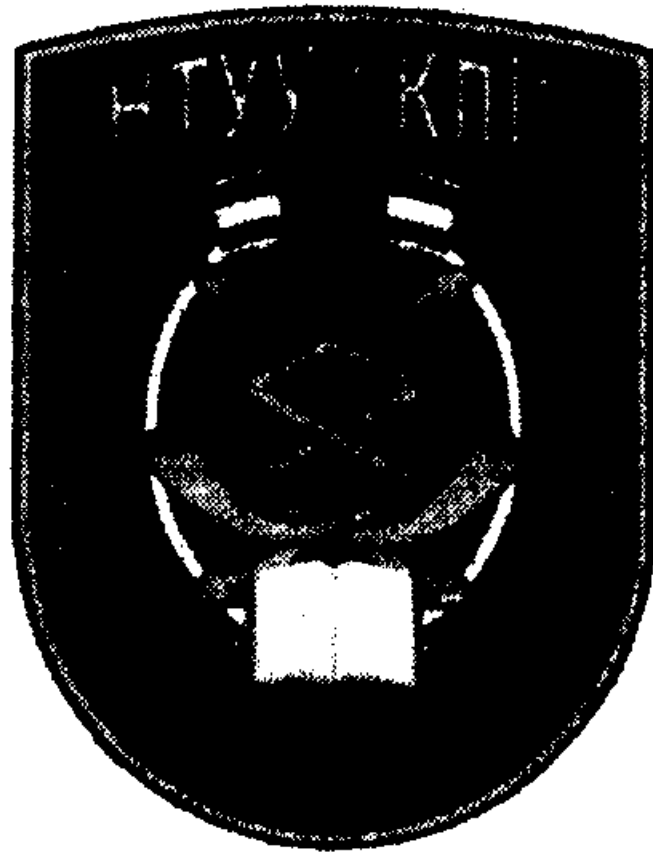


**МІНІСТЕРСТВО ОБОРОНИ УКРАЇНИ**  
**Військовий інститут телекомунікацій та інформатизації**  
**Національного технічного університету України**  
**„Київський політехнічний інститут”**



# **ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ**

**Випуск № 3**

**Київ – 2009**

ББК  
Ц4(4Укр)39  
З – 415

Збірник наукових праць Військового інституту телекомунікацій та інформатизації Національного технічного університету України „Київський політехнічний інститут”. – Випуск № 3. – Київ: ВІТІ НТУУ „КПІ”, 2009, 112 с.

У збірнику опубліковано статті вчених, ад’юнктів і здобувачів, студентів інституту, та інших організацій та установ в яких розглядаються питання побудови сучасних мереж, систем зв’язку та захисту інформації, автоматизованих систем управління військами.

**Редакційна колегія:**

**Романюк В.А.**, д.т.н., професор (голова редколегії); **Креденцер Б.П.**, д.т.н., професор; **Герасимов Б.М.**, д.т.н., професор (заступники голови редколегії); **Гостєв В.І.**, д.т.н., професор; **Жердєв М.К.**, д.т.н., професор; **Смірнов Ю.О.**, д.т.н., професор; **Самохвалов Ю.Я.**, д.т.н., професор; **Романов О.І.**, д.т.н., професор; **Бессалов А.В.**, д.т.н., професор; **Субач І.В.**, к.т.н., доцент; **Кувшинов О.В.**, к.т.н., доцент; **Колачов С.П.**, к.т.н.; **Старков В.М.**, к.в.н., доцент; **Ткаченко Ю.М.** прац. ЗСУ (члени редколегії); прац. ЗСУ **Шевченко М.К.** (відповідальний редактор).

Всі наукові статті, включені до збірника, прорецензовані фахівцями по галузях та отримали позитивний відгук.

Збірник затверджено на засіданні вченої ради інституту. Протокол засідання вченої ради № 08 від 29.12.2009 року.

Збірник наукових праць ВІТІ НТУУ „КПІ” затверджено Постановою ВАК України від 15 січня 2003 року № 2-05/1 в якості фахового видання, в якому можуть публікуватися результати дисертаційних досліджень в галузі технічних наук.

При передрукуванні матеріалів посилання на збірник наукових праць Військового інституту телекомунікацій та інформатизації Національного технічного університету України „Київський політехнічний інститут” обов’язкові.

---

© Військовий інститут телекомунікацій та інформатизації Національного технічного університету України „Київський політехнічний інститут”, 2009.

Відповідальний за випуск М.К.Шевченко

Підписано до друку 25.12.2009 р. Зам. 429а. Друк. арк. 14.  
Ум.-друк. арк. 13,02. Обл.-вид. арк. 12,10. Формат паперу 60x84/8.  
Тираж 100 прим.

Друкарня ВІТІ НТУУ "КПІ"

## ЗМІСТ

1. **Ананьїн О. В.** Моделювання системи автоматичного регулювання потужності передавача у радіоканалах..... 4
2. **Аругюнян А. Л.** Новий вид функціоналу тихонова для систем м'яких обчислень.... 9
3. **Катін П.Ю., Гунько Д.Ю.** Методика тестування програм обробки растрових зображень з чисельною оцінкою ефективності..... 13
4. **Круковський І.А.** Архітектура експертної системи з розширеним виведенням на трьохкомпонентній гібридній моделі подання знань..... 19
5. **Кувшинов О. В.** Ігрова модель системи радіозв'язку при впливі навмисних завад..... 25
6. **Липський О.А.** Методика контролю стану радіорелейного каналу зв'язку в умовах впливу навмисних завад..... 31
7. **Малярчук М.В., Колачов С. П., Недайбіда Ю.П., Драглюк О. В.** Сучасні проблеми інформаційного забезпечення автоматизованих систем управління тактичної ланки Збройних Сил України..... 40
8. **Малярчук М.В., Колачов С.П., Швець А.А.** Архітектура мобільного компоненту перспективної системи зв'язку і автоматизації тактичної ланки управління Збройних Сил України з використанням опорної мережі на радіорелейних станціях..... 45
9. **Мінакова М. В.** Аналіз реалізації впровадження інтелектуальних послуг на телекомунікаційному ринку України..... 51
10. **Польщиків К.О.** Методика моделювання доступної для трафіку даних пропускної здатності мобільної радіомережі спеціального призначення..... 56
11. **Радзівілов Г.Д., Бевзюк Б.М., Волков О.В.** Застосування нелінійних ефектів оптоволокна в оптичних підсилювачах..... 66
12. **Романюк В.А.** Архітектура системи оперативного управління тактичними радіомережами..... 70
13. **Слюсар В.І., Масесов М.О.** Метод обробки тропосферних сигналів у режимі мульти-МІМО з додатковим стробуванням відліків АЦП..... 77
14. **Слюсар І.І., Слюсар В.І., Зінченко А.О.** Основні напрями підвищення потенційних можливостей систем зв'язку з цифровими антенними решітками..... 82
15. **Стрюк О.Ю.** Метод розподілу пропускної спроможності базової станції радіомережі для підвищення інтегральної якості обслуговування абонентів..... 89
16. **Теленик С.Ф., Ролік О.І., Букасов М.М., Косован О.А., Кобец О.І.** Моделі і методи розподілу ресурсів в системах з серверною віртуалізацією..... 100
17. **Автори номера**..... 110
18. **Пам'ятка для автора**..... 112

## АВТОРИ НОМЕРА

1. **Ананьїн Олег Валерійович** – кандидат технічних наук, начальник відділення телефонного ЗАС ЦВЗ Державної прикордонної служби України.
2. **Арутюнян Ашот Леонович** – працівник підприємства з іноземними інвестиціями ТОВ „Бюро ВЕРІТАС Україна”.
3. **Бевзюк Богдан Миколайович** – курсант Військового інституту телекомунікацій та інформатизації Національного технічного університету України „Київський політехнічний інститут”.
4. **Букасов Максим Михайлович** – старший викладач кафедри АУТС Національного технічного університету України „Київський політехнічний інститут”.
5. **Волков Олександр Віталійович** – кандидат технічних наук, начальник науково-дослідного відділу Наукового центру зв'язку та інформатизації Військового інституту телекомунікацій та інформатизації Національного технічного університету України „Київський політехнічний інститут”.
6. **Гуцько Денис Юрійович** – студент Військового інституту телекомунікацій та інформатизації Національного технічного університету України „Київський політехнічний інститут”.
7. **Драглиук Олексій Вікторович** – молодший науковий співробітник НДВ Наукового центру зв'язку та інформатизації інституту.
8. **Зінченко Андрій Олександрович** – кандидат технічних наук, начальник кафедри зв'язку АСУ та захисту інформації Національного університету оборони України.
9. **Катін Павло Юрійович** – кандидат технічних наук, старший викладач Військового інституту телекомунікацій та інформатизації Національного технічного університету України „Київський політехнічний інститут”.
10. **Кобець Олександр Іванович** – студент кафедри АУТС Національного технічного університету України „Київський політехнічний інститут”.
11. **Калачов Сергій Петрович** – кандидат технічних наук, начальник Наукового центру зв'язку та інформатизації Військового інституту телекомунікацій та інформатизації Національного технічного університету України „Київський політехнічний інститут”.
12. **Косован Олександр Анатолійович** – студент кафедри АУТС Національного технічного університету України „Київський політехнічний інститут”.
13. **Круковський Ігор Анатолійович** – старший науковий співробітник науково-дослідної лабораторії наукового центру Житомирського військового інституту ім. С.П. Корольова Національного авіаційного університету.
14. **Кувшинов Олексій Вікторович** – кандидат технічних наук, доцент, начальник факультету Військового інституту телекомунікацій та інформатизації Національного технічного університету України „Київський політехнічний інститут”.
15. **Липський Олександр Анатолійович** – молодший науковий співробітник Наукового центру зв'язку та інформатизації Військового інституту телекомунікацій та інформатизації Національного технічного університету України „Київський політехнічний інститут”.
16. **Маларчук Михайло Васильович** – начальник військ зв'язку Збройних Сил України – начальник Головного управління зв'язку та інформаційних систем Генерального штабу Збройних Сил України.
17. **Масесов Микола Олександрович** – кандидат технічних наук, старший викладач кафедри Військового інституту телекомунікацій та інформатизації Національного технічного університету України „Київський політехнічний інститут”.
18. **Мінакова Марина Володимирівна** – студентка Військового інституту телекомунікацій та інформатизації Національного технічного університету України „Київський політехнічний інститут”.
19. **Недайбіда Юрій Петрович** – кандидат технічних наук, доцент, провідний науковий співробітник НДВ Наукового центру зв'язку та інформатизації інституту.

20. **Польщиків Костянтин Олександрович** – докторант Військового інституту телекомунікацій та інформатизації Національного технічного університету України „Київський політехнічний інститут”.
21. **Радзівілов Григорій Данилович** – кандидат технічних наук, начальник кафедри Військового інституту телекомунікацій та інформатизації Національного технічного університету України „Київський політехнічний інститут”.
22. **Ролік Олександр Іванович** – кандидат технічних наук, доцент кафедри АУТС Національного технічного університету України „Київський політехнічний інститут”.
23. **Романюк Валерій Антонович** – доктор технічних наук, професор, заступник начальника Військового інституту телекомунікацій та інформатизації Національного технічного університету України „Київський політехнічний інститут”.
24. **Слюсар Вадим Іванович** – доктор технічних наук, професор, головний науковий співробітник Центрального науково-дослідного інституту озброєння та військової техніки Збройних Сил України.
25. **Слюсар Ігор Іванович** – кандидат технічних наук, доцент, начальник кафедри Військового інституту телекомунікацій та інформатизації Національного технічного університету України „Київський політехнічний інститут”.
26. **Стрюк Олексій Юрійович** – кандидат технічних наук, доцент, докторант Військового інституту телекомунікацій та інформатизації Національного технічного університету України „Київський політехнічний інститут”.
27. **Теленик Сергій Федорович** – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедрою АУТС Національного технічного університету України „Київський політехнічний інститут”.
28. **Швець Анатолій Андрійович** – заступник начальника НЦЗІ Військового інституту телекомунікацій та інформатизації Національного технічного університету України „Київський політехнічний інститут”.

## ОСНОВНІ НАПРЯМИ ПІДВИЩЕННЯ ПОТЕНЦІЙНИХ МОЖЛИВОСТЕЙ СИСТЕМ ЗВ'ЯЗКУ З ЦИФРОВИМИ АНТЕННИМИ РЕШІТКАМИ

*В статті представлені результати аналізу перспектив розвитку систем зв'язку з цифровим діаграмоутворенням. Визначені напрями підвищення їх потенційних можливостей за рахунок використання нових розробок в області схемотехніки цифрових антенних решіток і вдосконалених методів цифрової обробки сигналів. Запропоновані рекомендації щодо фрактальних структур в антенних системах.*

*В статье представлены результаты анализа перспектив развития систем связи с цифровым диаграммообразованием. Определены направления повышения их потенциальных возможностей за счет использования новых разработок в области схемотехники цифровых антенных решеток и усовершенствованных методов цифровой обработки сигналов. Предложены рекомендации по применению фрактальных структур в антенных системах.*

*In the article the results of the analysis of development perspectives of communication systems with digital beamforming are presented. Directions of improvement of their potential possibilities at the expense of usage of new designs in the field of circuitry of digital antenna arrays and advanced methods of digital signal processing are defined. Recommendations on application of structures on the basis of fractals in antenna systems are offered.*

**Ключові слова:** цифрове діаграмоутворення, цифрова антенна решітка, фрактальні структури.

### 1. Постановка задачі та її зв'язок із важливими науковими і практичними завданнями

В умовах існуючої геополітичної обстановки все більше значення приділяється веденню інформаційної боротьби та удосконаленню засобів телекомунікацій. Для забезпечення відповідності систем зв'язку сучасним тенденціям розвитку необхідно використовувати новітні технології, які спрямовані на підвищення показників стійкості, мобільності, пропускної спроможності та інших. Однією з них є технологія цифрового діаграмоутворення (ЦДУ), яка впроваджується у розвинутих країнах світу як для військової сфери, так й для загального призначення [1]. Як наслідок, досить актуальною є задача удосконалення та розробки нових систем зв'язку подвійного призначення на базі ЦДУ.

### 2. Аналіз останніх досліджень та публікацій

Останнім часом з'явилося багато проектів систем зв'язку подвійного призначення з ЦДУ на базі цифрових антенних решіток (ЦАР). Використання зазначеної технології значно розширює функціональні можливості систем зв'язку в цілому [2]. Як відомо [3], основною відмінністю схемотехніки ЦАР від традиційних фазованих антенних решіток (ФАР) є наявність у кожному приймальному (передавальному) каналі аналого-цифрових (цифро-аналогових) перетворювачів (АЦП, ЦАП). При цьому розрядність і робочий діапазон частот сучасної номенклатури АЦП, ЦАП забезпечують обробку сигналів на проміжній частоті з набагато більшою потенційною точністю у порівнянні з ФАР. Крім того, існуючі технічні рішення дають можливість виконувати процедури багатокоординатної обробки інформації у реальному масштабі часу. Все це свідчить про перспективність технології ЦДУ на основі ЦАР.

Разом з тим, слід зазначити, що більшість зазначених розробок орієнтовано на реалізацію антенних систем з невеликим числом каналів. Це пов'язано з необхідністю узгодження можливостей апаратної частини системи зв'язку та вимог, що висуваються до цифрового сегмента стосовно темпів оцифровки сигналів і обсягів оброблюваної інформації. Через зазначене виникає необхідність вибору рішень, що дозволять більш ефективно застосовувати ідеологію ЦАР.

Метою статті є обґрунтування рекомендацій щодо підвищення потенційних можливостей систем зв'язку з ЦДУ за рахунок використання нових розробок в області схемотехніки ЦАР і удосконалених методів цифрової обробки сигналів.

### 3. Виклад основного матеріалу дослідження

Одним з основних напрямів удосконалення технології ЦДУ є розробка так званих гібридних ЦАР. Особливість таких антенних систем полягає у використанні ЦАР разом з рефлектором і аналоговими діаграмоутворюючими схемами (ДОС). Наприклад, такий підхід реалізований у системі супутникового зв'язку Inmarsat-4 (рис. 1) [4]. У ній при прийомі сигналів спочатку використовуються ДОС (матриці на 8 входів і 8 виходів), а остаточна багатопроменева діаграма спрямованості (ДС) синтезується у цифровому формувачі на основі дискретного перетворення Фур'є (ДПФ). При цьому, число модулів просторового ДПФ дорівнює числу ДОС, а сигнали на входи процедури ДПФ подаються з однойменних виходів аналогових ДОС, наприклад, з усіх перших виходів аналогових ДОС – на один модуль ДПФ, з усіх других – на інший й т.ін. Використання у першому шарі діаграмоутворення аналогових матриць дозволяє спростити апаратну реалізацію гібридної ЦАР, замінивши один модуль ДПФ розмірністю 120 і більше точок (сигнальних входів) кількома модулями ДПФ меншої розмірності. Для схеми на рис. 1 120-точкова процедура ДПФ замінена 8-ма 15-точковими процедурами, що є більш простим рішенням. Таким чином, при гібридній реалізації ЦАР кількість малорозмірних ШПФ визначається числом виходів аналогової ДОС.

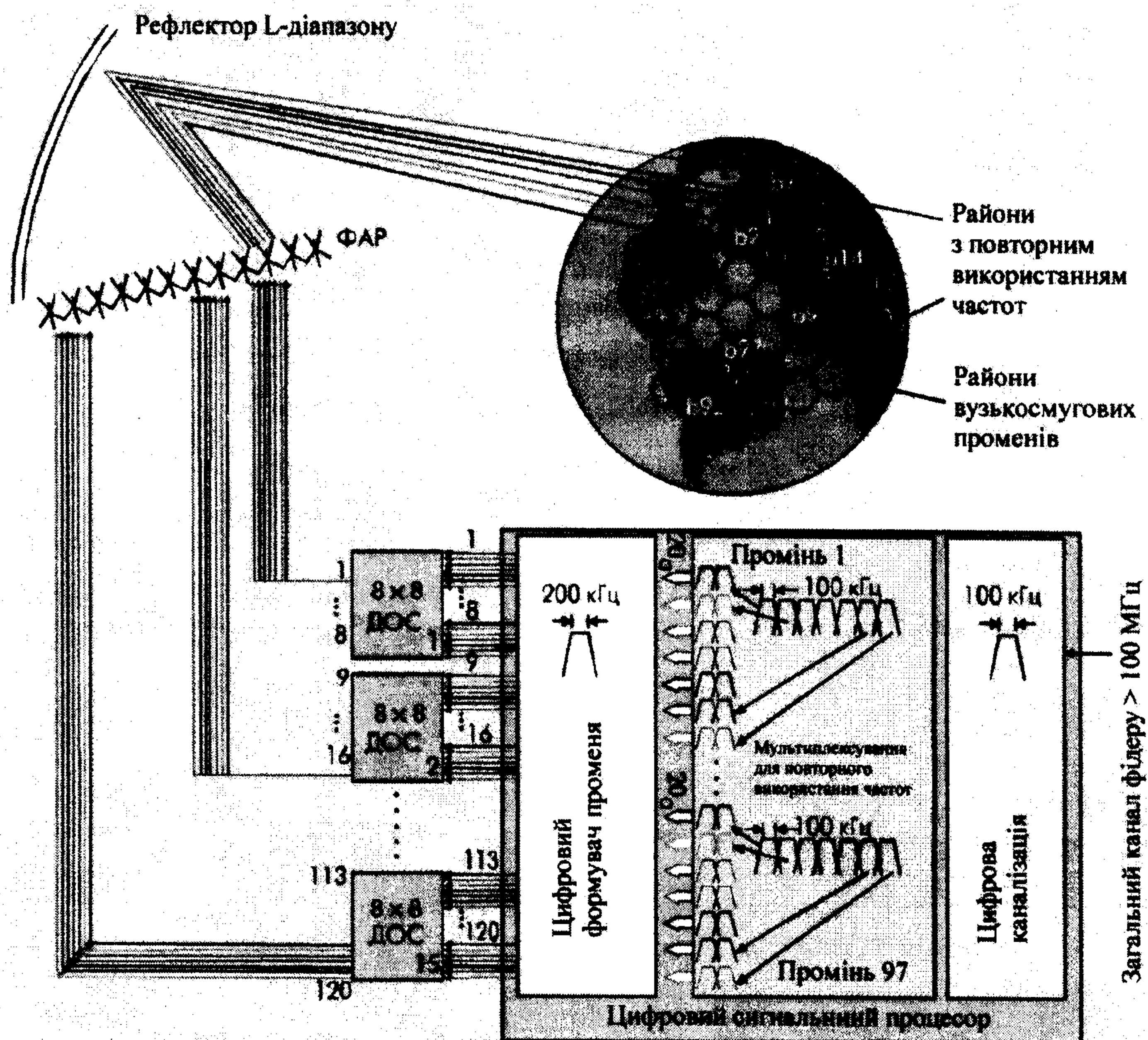


Рис 1. Гібридна ЦАР системи Inmarsat-4

Слід зазначити, що спільне використання в антенній системі рефлектора та розміщеної фокально ЦАР (Focal Array Fed Reflector, FAFR) може привести до появи фазоамплітудних деформацій поля на розкритті рефлектора. Для усунення зазначеного ефекту доцільно проводити цифрову корекцію хвильового фронту. Суть її зводиться до врахування еквівалентності процесу трансформації електромагнітного поля в дзеркальній антені та

математичної операції перетворення Фур'є. Саме такий варіант рішення розглянутої задачі запропонований в одному з проектів фірми Alcatel-Space [5]. При цьому, у режимі прийому сигналів відбиті від рефлектора електромагнітні хвилі піддаються просторовій дискретизації, надходячи на входи антенних елементів (АЕ) розташованої фокально ЦАР. Оскільки частина АЕ винесена за межі фокуса дзеркальної антени, у точках їхнього розташування амплітудно-фазовий розподіл поля буде відрізнятися від картини, що відповідає нормально падаючій хвилі. При цьому, набіг фаз у елементах решітки від каналу до каналу буде змінюватися нелінійно. Щоб внести корективи в амплітудно-фазовий розподіл відгуків ЦАР, у [5] запропоновано штучно відновлювати вид амплітудно-фазового фронту кожної з хвиль перед їх падінням на рефлектор. Для цього після операції аналого-цифрового перетворення сигналів по виходах приймальних каналів фокальної ЦАР виконується просторове зворотне ШПФ. Згідно [5], у потенціалі повинен бути отриманий масив відліків напруг, що відповідає плоскому хвильовому фронту. Однак, оскільки умови порушення наведених струмів в АЕ фокальної решітки неідентичні, результат буде істотно відрізнятися від ідеального. Тому за допомогою зворотного ШПФ хвильовий фронт удається відновити лише частково, й для усунення амплітудно-фазових перекручувань варто застосувати спеціальну процедуру цифрової корекції. Основна її ідея полягає в амплітудно-фазовому зважуванні цифрових відгуків приймальних каналів, що забезпечує мінімальне середньоквадратичне відхилення масиву їхніх значень від плоского хвильового розподілу. Після такого штучного вирівнювання хвильового фронту далі виконується пряме просторове ШПФ, що формує набір неспотворених парціальних променів ДС приймальної антени. При цьому, міжканальний набіг фаз буде аналогічним їхньому розподілу у ЦАР, позбавленій рефлектора.

Наступним напрямом підвищення потенційних можливостей систем зв'язку з ЦДУ на базі ЦАР є використання принципу поляризаційного розподілу сигналів. Згідно [6], найпростішим прикладом АЕ ЦАР може служити система з несиметричних вібраторів, орієнтованих, наприклад, під кутом  $\pm 45^\circ$  відносно вертикальної осі (рис. 2). У цьому випадку випромінювані незалежно кожним монополю сигналів мають ортогональну поляризацію з досить високою взаємною розв'язкою по крос-поляризаційній компоненті. Зазначений підхід дозволяє одночасно передавати сигнали з однаковими несучими, модульованими різним чином. Як наслідок, використання сигналів з подвійною поляризацією потенційно забезпечує подвоєння пропускної здатності у порівнянні з випадком одиночного монополя (в ідеальних умовах прямої видимості за умови ідентичної орієнтації приймальних і передавальних антен).



Рис. 2. Антена для роботи з ортогонально-поляризованими сигналами

В інтересах підвищення пропускної здатності також доцільно орієнтуватися на результати досліджень спільного використання сигналів подвійної поляризації та методу неортогональної частотної дискретної модуляції (Non-Orthogonal Frequency Division Multiplexing, N-OFDM) [7]. На відміну від OFDM вона дозволяє робити маневр номіналами несущих підканалів багаточастотних сигналів (рис. 3), розміщуючи їх нееквідистантно за частотою, і у сполученні з процедурами компенсації завад забезпечує більш ефективне використання відведеного частотного діапазону та дозволяє працювати в умовах доплерівського зсуву несучих частот при зв'язку з мобільними абонентами. Істотно також, що така модуляція дозволяє забезпечити скритність передачі інформаційних повідомлень,



знизити рівень побічних випромінювань. При цьому, схема модуляції N-OFDM може використовуватися в обох поляризаційних складових, причому номінали несучих підканалів обираються для кожної з поляризацій незбіжними по частоті з відповідними кросовими компонентами (рис. 4).

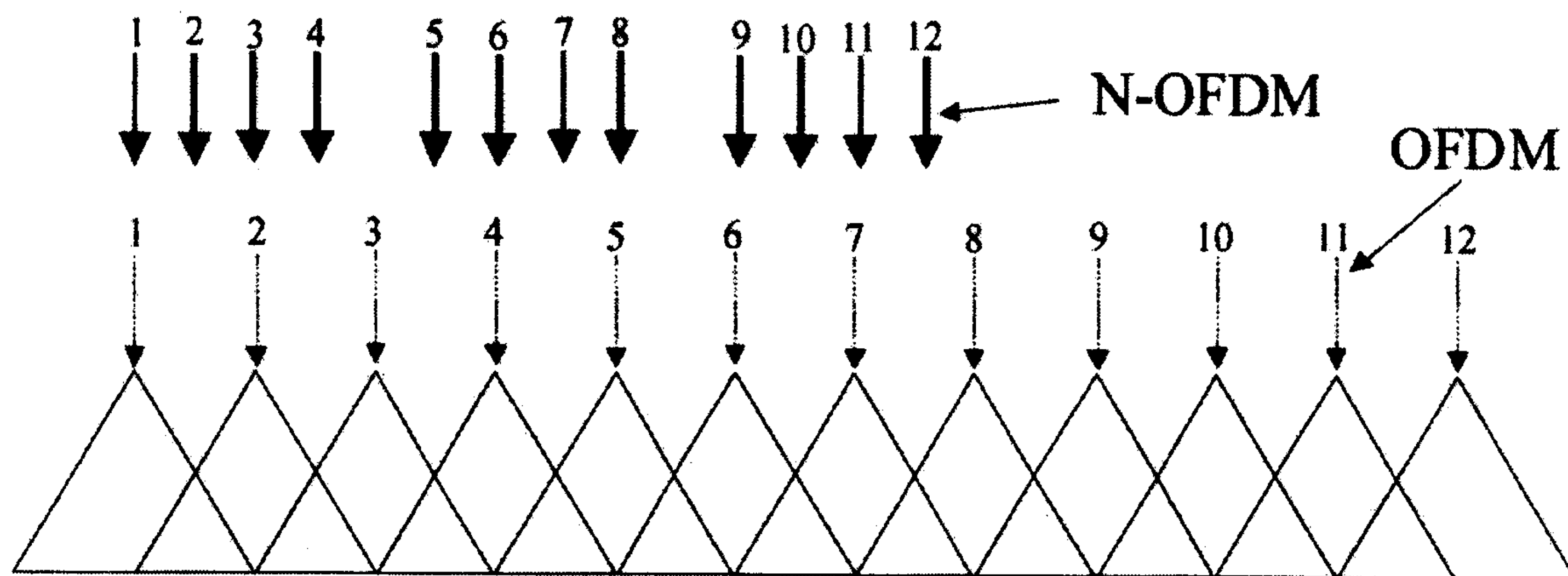


Рис. 3. Компонування N-OFDM (OFDM) сигналу

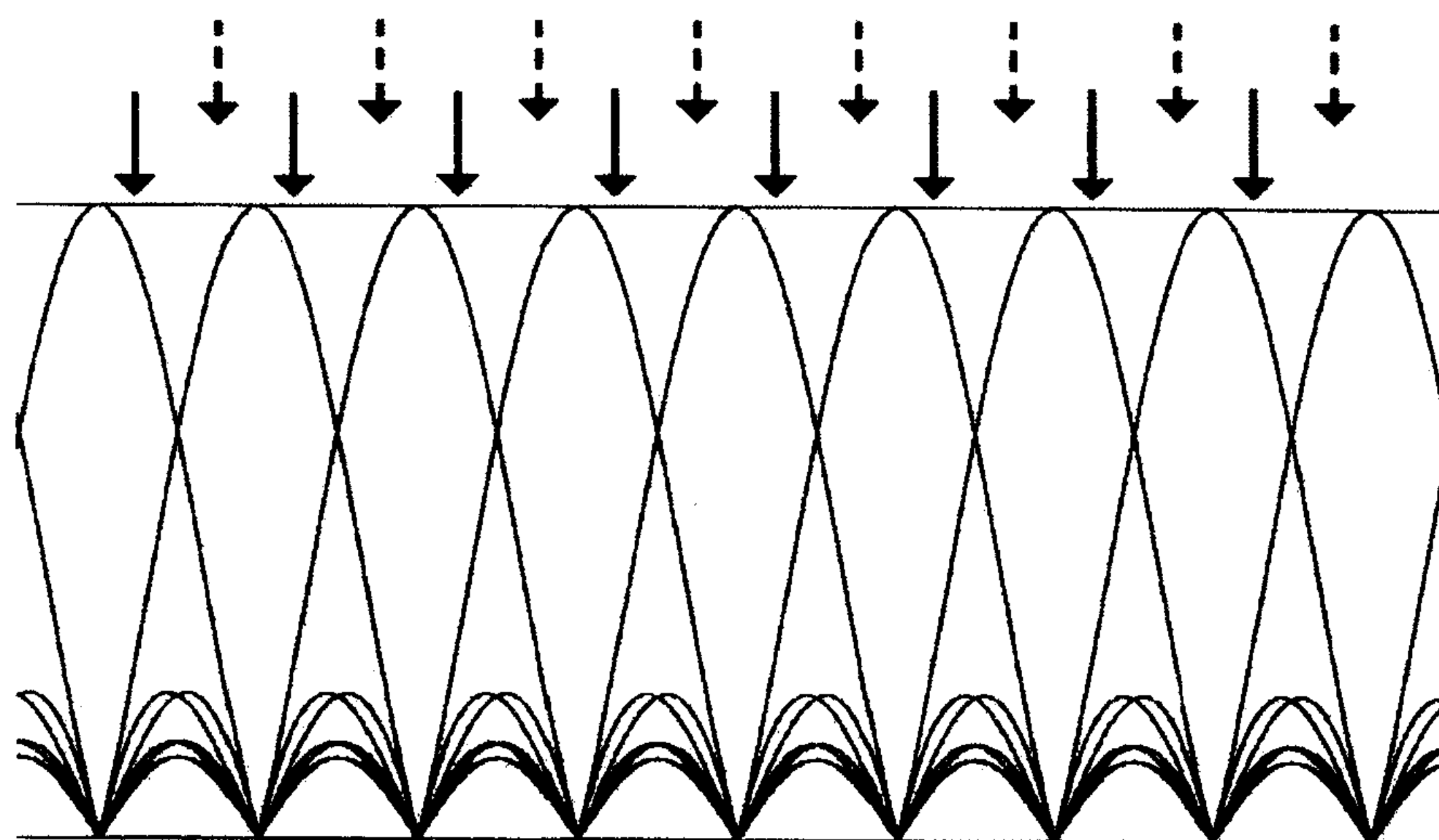


Рис. 4. Принцип неортогонального розміщення частот сигналів у різних поляризаціях

У рамках цифрової обробки можливо здійснити зниження обчислювальних витрат на етапі демодуляції за рахунок проріджування інформаційного потоку. З цією метою необхідно використовувати процедуру додаткового стробування відліків АЦП. Згідно [8], для спрощення обчислень період дискретизації АЦП варто приймати рівним непарному числу чвертей періоду центральної для сигнального спектра частоти, а тривалість стробів – кратній 4. Такий підхід, у випадку радіоімпульсів, дозволяє попутно здійснювати фазове детектування сигналів та їхню частотну фільтрацію, що забезпечує, крім рішення традиційних для спектральної селекції задач, підвищення взаємної ідентичності амплітудно-частотних характеристик приймальних каналів ЦАР у заданій смузі прийому.

При розгляді схемотехніки ЦАР варто звернути увагу на використання так званих фрактальних антенних структур [9]. Даний напрямок в антенній техніці є порівняно новим і принципово відрізняється від відомих рішень. Прообрази сучасних фрактальних технологій з'явилися ще в середині 60-х років минулого сторіччя, коли були створені логоперіодичні та спіральні антени. Утворені із самоподібних фрагментів, ці антени, з позицій сьогодення, також можна узагальнити на клас фрактальних, хоча в строгому математичному сенсі вони є лише фракталами першого роду.

В даний час теорія фрактальних антен знаходиться на етапі становлення. В основному дослідники експериментальним шляхом, методом проб і помилок, намагаються застосувати

відомі з геометрії та алгебри фрактали до антенних конструкцій.

У результаті численних експериментів з'ясовано, що подібного типу АЕ дозволяють одержати практично той же коефіцієнт підсилення, що й звичайні, при менших габаритних розмірах (рис. 5). Ефект мініатюризації антен більше всього істотно проявляється тільки для кількох перших ітерацій фракталів (звичайно – 5, 6), асимптотично наближаючись до деякої межі.

Інший ефект, одержуваний унаслідок компактності фрактальних АЕ в антенних решітках, полягає у можливості більш щільного розташування АЕ в інтересах розширення сектора просторового сканування. Наприклад, у габаритах 5-елементної еквідистантної решітки Дольфа-Чебишева з напівхвильовим міжосьовим інтервалом розміщення квадратних випромінювачів можливо розташувати 7 елементів Мінковського (рис. 6).

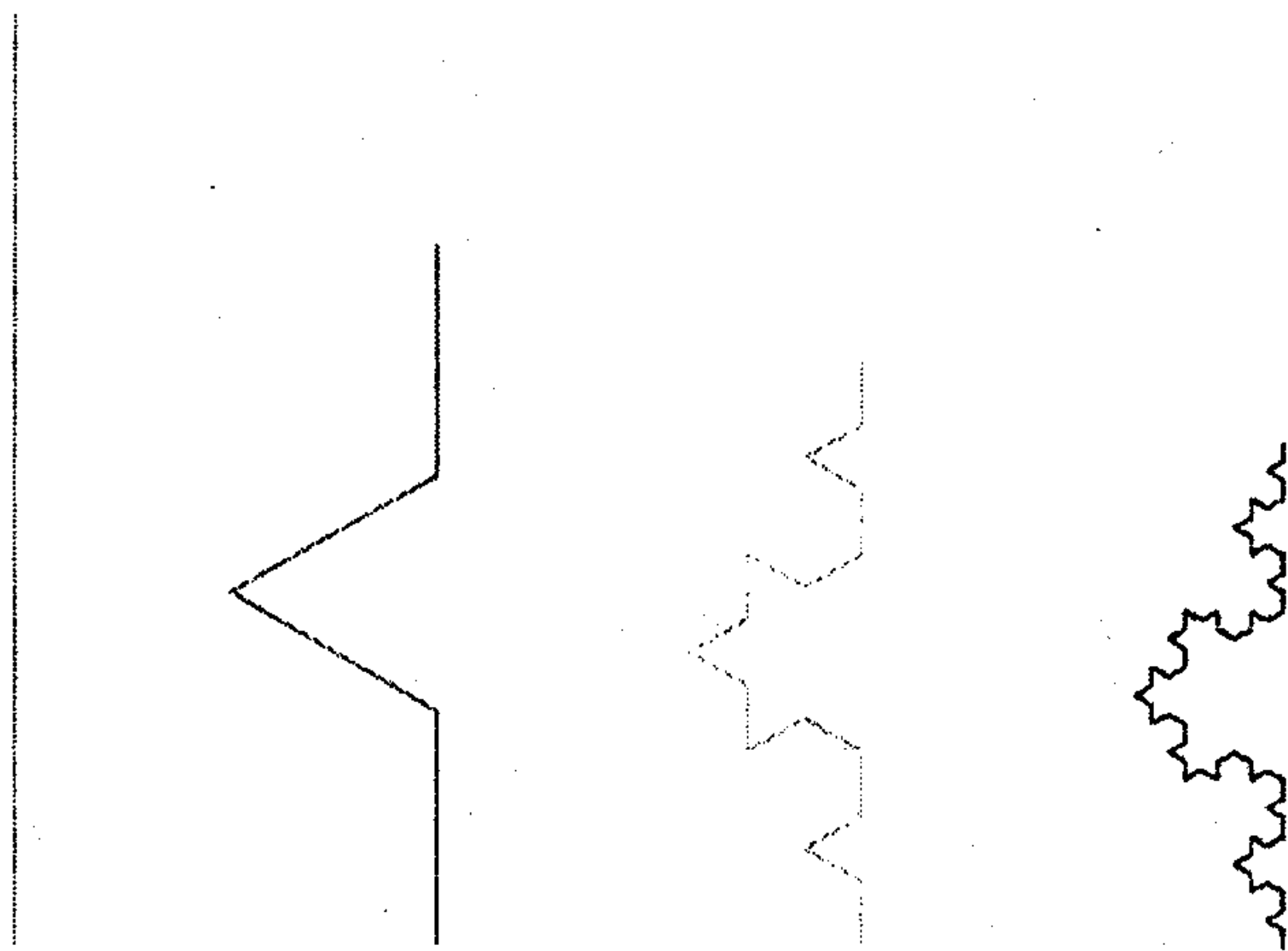


Рис. 5. Відносні висоти кількох ітерацій фракталу Коха у порівнянні з плечем звичайного напівхвильового диполя

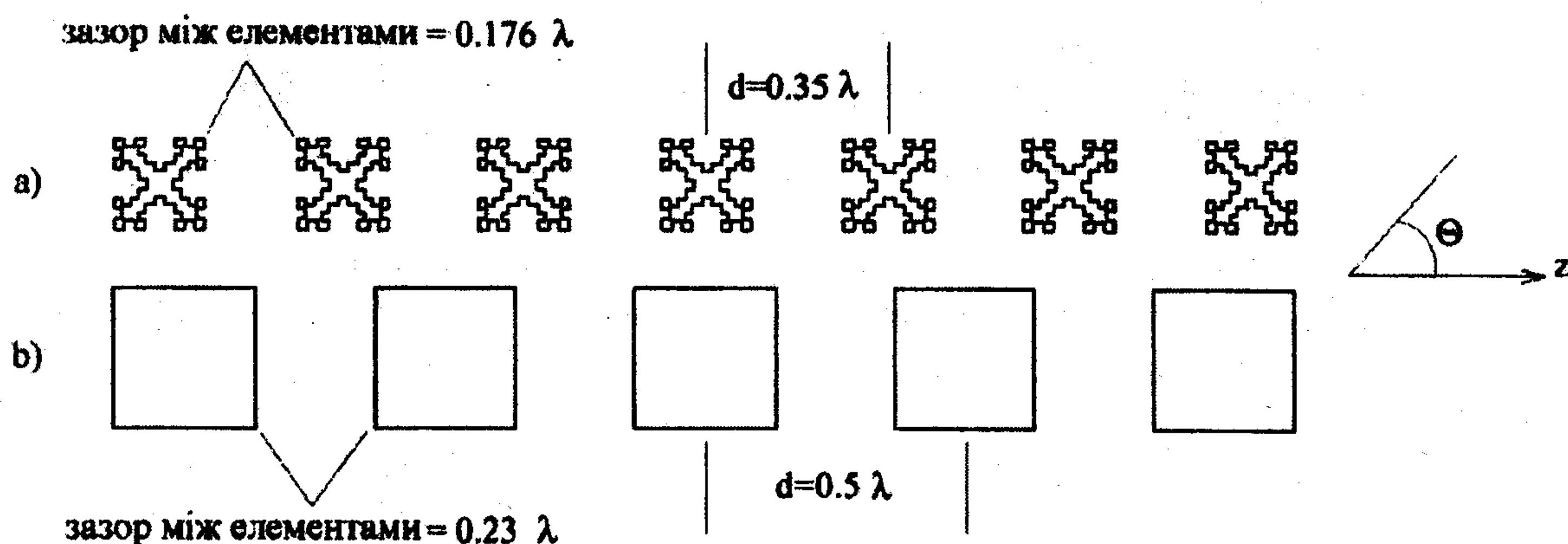


Рис. 6. Ефект більш щільного розташування антенних елементів в інтересах розширення сектора сканування: (а) - 5-елементна еквідистантна решітка Дольфа-Чебишева з напівхвильовим міжосьовим інтервалом, (б) - розміщення 7 елементів Мінковського

В останньому випадку, мініатюризація антенних елементів на фрактальній основі дозволяє істотно знизити їхній взаємний вплив за рахунок збільшення міжелементного зазору (рис. 7).

Варто також звернути увагу на те, що самоподібність геометрії фрактальних антен призведе до розширення границь частотного діапазону. Наприклад, ширина смуги частот на рівні 3 дБ у звичайного диполя складає 2,4 % від несучої, для кривої Коха в 5-й ітерації цей параметр зростає до 3,1 %, використання 2-вимірному деревоподібного фракталу 5-ї ітерації

дозволяє розширити смугу прийому до 4,2 %, а варіант 3-вимірного дерева – до 12,7 %. Найбільш яскраво вираженими властивостями широкодіапазонності характеризуються антенні системи на основі кривої В. Серпинського [10].

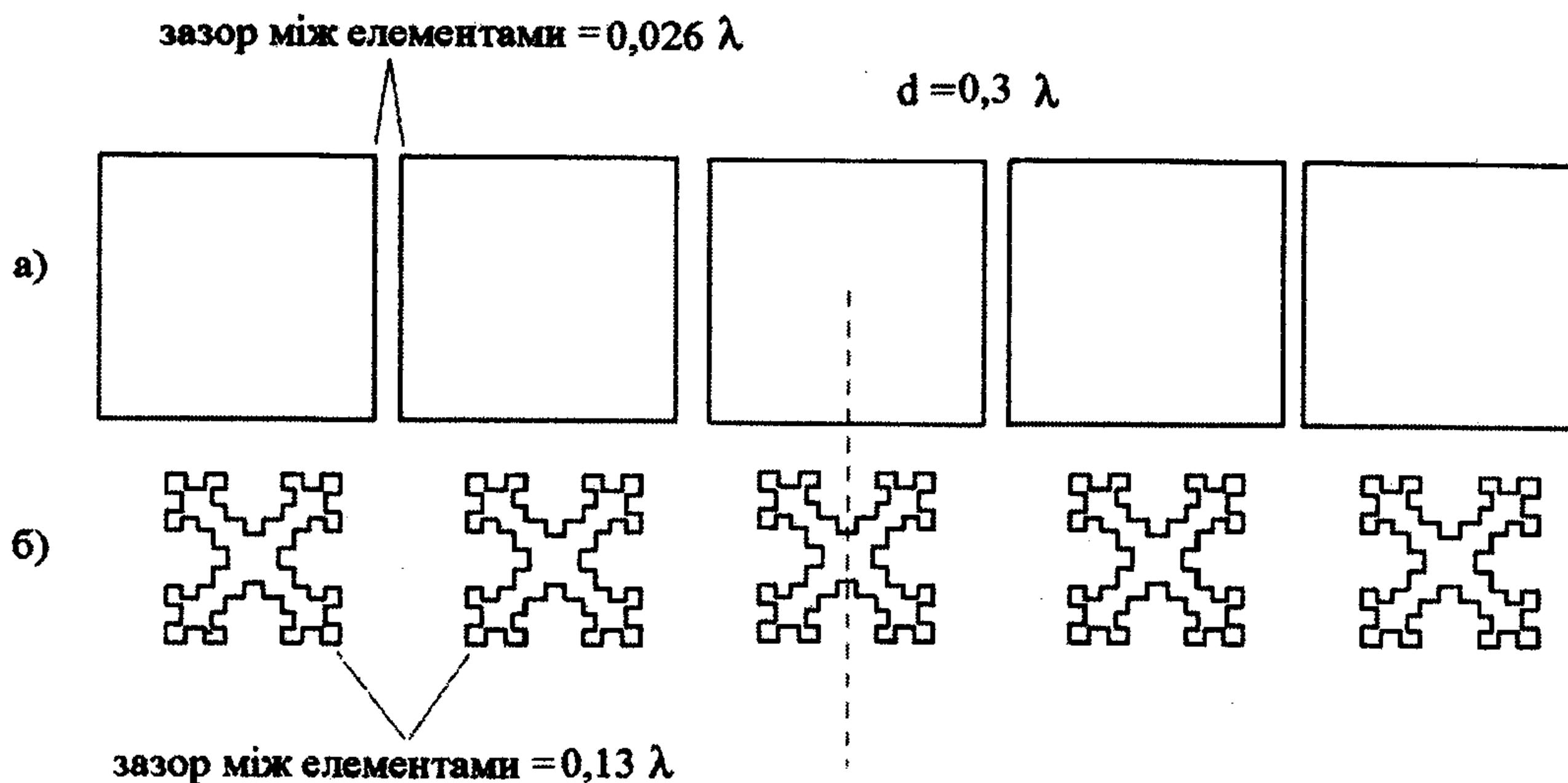


Рис. 7. Лінійна решітка Дольфа-Чебишева на основі: (а) - квадратних випромінювачів, (б) - елементів Мінковського

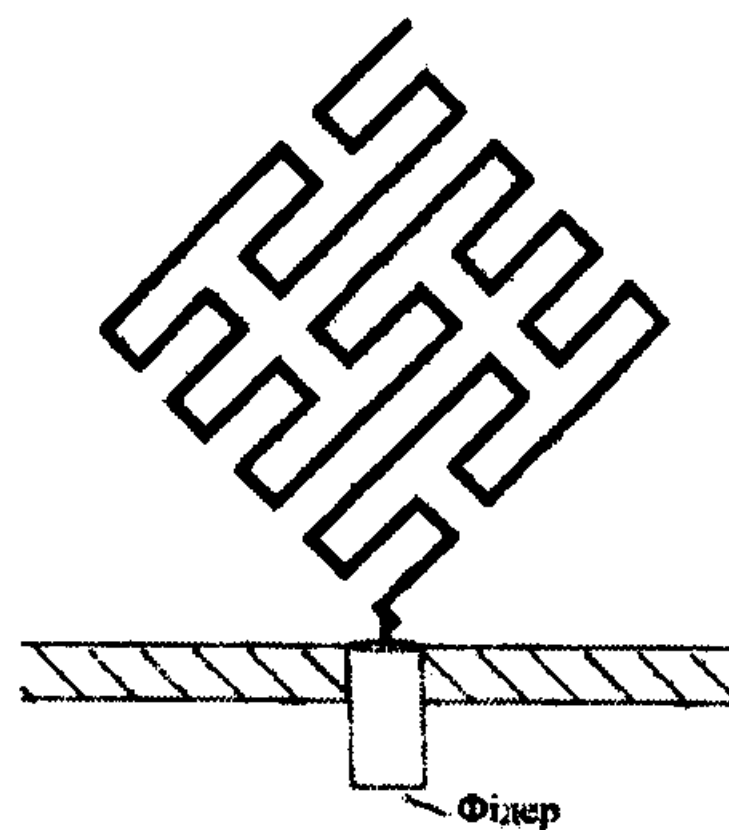


Рис. 8. Монополь Пеано

У випадку спільного використання фрактальних структур і процедур обробки ортогонально-поляризованих сигналів варто орієнтуватися на типи антен з діагональною центральною симетрією. Наприклад, рівень придушення крос-поляризаційної завади у конструкції антени на основі 2-ої ітерації Пеано (рис. 8), розташованої у квадраті  $70 \times 70$  мм, перевищує 60 дБ в обох площинах поляризації.

#### 4. Висновки та перспективи подальших досліджень

Таким чином, в якості основних підходів щодо підвищення потенційних можливостей систем зв'язку з ЦДУ на базі ЦАР варто виділити:

використання у багатоканальних антенних системах схемотехніки гібридних (у тому числі й фокальних) ЦАР, а також АЕ на основі фрактальних структур;

застосування сигналів подвійної поляризації, методів неортогональної частотної дискретної модуляції, а також різних варіантів їхніх комбінацій для підвищення пропускної здатності;

використання процедури додаткового стробування відліків АЦП з метою зниження обчислювальних затрат у приймальних сегментах системи зв'язку з ЦДУ.

У свою чергу, проведений аналіз властивостей фрактальних антен дозволяє зробити наступні висновки.

1. Для зменшення лінійних розмірів ЦАР максимальний ефект виявляється лише при використанні 5 або 6 перших ітерацій фракталу.

2. Впровадження фракталів дозволяє розширити ширину смуги робочих частот.
3. Виграш від мініатюризації дипольних структур істотно залежить від типу фрактала. Маючим найбільшу компактність 3-вимірним АЕ у вигляді фрактальних дерев притаманні значно менший вхідний опір у порівнянні з 2-вимірними аналогами. При орієнтації на 3-вимірні фрактальні антени деревоподібного типу необхідно знаходити розумний компроміс між досяжною компактністю антени та зниженням величини її вхідного опору.
4. Внаслідок компактності фрактальних АЕ, в ЦАР створюється можливість більш щільного їх розміщення в інтересах розширення сектора сканування.
5. У випадку можливості збереження лінійних розмірів ЦАР проведення мініатюризації дозволяє істотно знизити взаємний вплив АЕ за рахунок збільшення інтервалу між елементами.

На даний час технологія ЦДУ залишається предметом активних досліджень. Використання геометрії просторово-заповнюючих кривих підштовхнуло дослідників до застосування в антенних конструкціях аналогічних за властивостями об'єктів звичайної геометрії. В результаті подібних розробок багатьом фрактальним рішенням вже протиставляються серпантинні та зигзагоподібні АЕ, що перевершують їх за низкою параметрів. Іншим напрямом пошуку є використання для синтезу АЕ ЦАР так званих генетичних алгоритмів оптимізації [11] тощо. Зазначене окреслює нові горизонти для удосконалення засобів зв'язку в рамках технології ЦДУ.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Слюсар В.И. Военная связь стран НАТО: проблемы современных технологий // *Электроника: Наука, Технология, Бизнес.* – 2008. – № 4. – С. 66 – 71.
2. Вишневатий В.М., Ляхов А.И., Портной С.Л., Шахнович И.В. Широкополосные беспроводные сети передачи информации / М.: Техносфера. – 2005. – С. 529 – 542.
3. Слюсар І.І. Концепція перспективної системи тропосферного зв'язку з цифровим діаграмоутворенням // *Зб. наукових праць № 3.* – К.: ВІТІ НТУУ „КПІ”, 2003. – С. 133 – 137.
4. Слюсар В.И. Цифровые антенные решетки в системах спутниковой связи (продолжение) // *Первая миля. Last mile (Приложение к журналу „Электроника: наука, технология, бизнес”)*. – 2008. – № 5. – С. 16 – 20.
5. Caille G. Brief overview of adaptive digital beam forming antenna work at Alcatel Space // – 4th COST 284 Management Committee Meeting, 16–18 September, – Berlin, 2003.
6. Зинченко А.А. Пространственно-поляризационное кодирование сигналов в радиорелейной системе связи // *Зб. наукових праць „Проблеми створення, випробування, застосування та експлуатації складних інформаційних систем”*. – Житомир: ЖВІРЕ. – 2007. – Вип. 11. – С. 179 – 183.
7. Слюсар В.И., Слюсар И.И. Совместное оценивание нескольких параметров сигналов в системах связи с цифровым диаграммообразованием // *Сб. „Материалы 7-го юбилейного международного молодежного форума „Радиоэлектроника и молодежь в XXI веке” (22 – 24 апреля 2003)*. – Харьков: ХНУРЕ. – 2003. – С. 128.
8. Слюсар В.И., Волошко С.В. Метод демодуляции N-OFDM сигналов с ортогональной поляризацией при дополнительном стробировании отсчетов АЦП // *Четверта наук. конф. Харківського університету Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, 16 – 17 квітня 2008 р.: Тези допов.* – Х.: ХУПС. – 2008. – С. 153.
9. Слюсар В.И. Фрактальные антенны. Принципиально новый тип „ломаных” антенн // *Электроника: наука, технология, бизнес.* – 2007. – № 5. – С. 78 – 83.
10. Слюсар В.И. Фрактальные антенны. Принципиально новый тип „ломаных” антенн. Ч. 2. // *Электроника: наука, технология, бизнес.* – 2007. – № 6. – С. 82 – 89.
11. Слюсар В.И. Синтез антенн на основе генетических алгоритмов // *Первая миля. Last mile (Приложение к журналу „Электроника: наука, технология, бизнес”)*. – 2008. – № 6. – С. 16-23; 2009. – № 1. – С. 22 – 25.