

УДК.621.396

І.В. Тітов, С.А. Макаров

*Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків*

## **ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ РАДІОЧАСТОТНОГО РЕСУРСУ ЗА РАХУНОК ЗАСТОСУВАННЯ ЦИФРОВИХ АНТЕННИХ РЕШІТОК**

*Стрімке зростання темпів розвитку інформаційно-телекомунікаційних систем, які тією чи іншою мірою використовують радіочастотний спектр, істотно збільшує проблему ефективного використання одного з найважливіших природних ресурсів – радіочастотного. Завдання підвищення ефективності використання радіочастотного ресурсу вирішується різними методами, які можна розділити на адміністративні, економічні й організаційно-технічні. До організаційно-технічних відносяться всілякі технічні рішення, серед яких провідну роль грає технологія цифрового діаграмоутворення (ЦДУ), про яку і йдеться в статті.*

**Ключові слова:** радіочастотний ресурс, електромагнітна сумісність (ЕМС), цифрові антенні решітки (ЦАР), технологія цифрового діаграмоутворення.

### **Вступ**

**Постановка проблеми.** Невблаганне й стрімке зростання кількості радіосистем у різних областях людської діяльності загострює проблему обмеженості радіочастотного ресурсу, а значить, вимагає негайного пошуку шляхів підвищення ефективності його використання й забезпечення ЕМС радіоелектронних засобів.

Всі можливі методи підвищення ефективності використання радіочастотного ресурсу можна розділити на адміністративні, економічні й організаційно-технічні. Останні включають (у тому числі) і нові технічні рішення для побудови систем зв'язку й телекомунікацій. Чільну позицію серед таких займає технологія ЦДУ, що сьогодні вже перейшла з розряду екзотичних (і навіть фантастичних) у розряд загальноновизнаних лідерів в області побудови систем радіозв'язку, радіонавігації, радіолокації й т.п.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** У статті [1] визначені шляхи підвищення ефективності використання радіочастотного спектра, питання оптимізації спектральної ефективності в багатоканальних системах стільникового зв'язку розглянуті в [2]. У навчальному посібнику [3] наводяться оцінки

ефективності використання радіочастотного ресурсу в мережах і системах радіозв'язку й віщання, а також проводиться аналіз методів і технічних засобів забезпечення ЕМС при впливі різних перешкод у системах зв'язку. Однак практично відсутні публікації по застосуванню цифрових антенних решіток для рішення проблеми підвищення ефективності використання радіочастотного ресурсу.

**Метою статті** є аналіз можливості підвищення ефективності використання радіочастотного ресурсу за рахунок застосування цифрових антенних решіток.

### **Виклад основного матеріалу**

Відповідно до прийнятої серед фахівців класифікації, цифрові антенні решітки – це антенна система, що представляє собою сукупність аналого-цифрових каналів із загальним фазовим центром, у якій формування діаграми спрямованості здійснюються в цифровому виді. Цифрові антенні решітки відрізняються від традиційних фазованих наявністю цифро-аналогових (аналого-цифрових) перетворювачів у кожному передавальному (приймальному) каналі з формуванням необхідних діаграм спрямованості в цифровому вигляді за допомогою спецоб-

числовача. При цьому процес діаграмоутворення зводиться до зваженого підсумовування цифрових відліків напруг сигналів [4].

Приймально-передавальні канали ЦАР можуть бути реалізовані по технології програмно-реконфігуруємих модулів (Software Radio), при якій процесор цифрової обробки сигналів, реалізує в програмному вигляді схеми модуляції-демодуляції, протоколи обробки сигналів, що гнучко перебудовуються у режимі приймання та передавання даних, інші функції.

Використання ЦАР дозволяє ефективно вирішувати завдання придушення сигналів, що заважають, при багатопробеному поширенні радіохвиль, істотно знизити глибину завмирань, підвищити інтенсивність корисних сигналів за рахунок орієнтації максимумів діаграми спрямованості антени в напрямку абонентів (у тому числі і тих, що рухаються).

Максимальне використання відведеної смуги частот стає можливим за рахунок роботи безлічі абонентів на одній і тій самій несучій при просторовому рознесенні споживачів інформації.

Зараз існує безліч проектів, заснованих на застосуванні технології ЦДУ в системах і комплексах різного призначення. Так, в [5] для створення перспективних засобів телекодового зв'язку пропонується використання технології цифрового формування променя в малоелементних антенних решітках з поляризаційним розподілом сигналів. На фізичному рівні в такій системі пропонується використовувати багаточастотні OFDM-сигнали з QAM-модуляцією та їх неортогональні за частотою пакети. В [6] обґрунтовується необхідність створення універсальної платформи ширококутового доступу для Збройних Сил України на основі сучасних технологій ширококутового доступу, цифрової обробки сигналів на основі їх надрелеєвського розділення (ЦДУ, MIMO, Soft Radio, FDMA, SDMA, TDMA й їхніх комбінацій).

Згідно [7], головною перспективою розвитку тропосферних мереж зв'язку на сьогоднішній день є використання MIMO-технології й просторово-часового кодування сигналів, що базується на додатковому стробуванні відліків аналого-цифрових перетворювачів (АЦП), формуванні вторинних просторових каналів приймальної ЦАР за допомогою швидкого перетворення Фур'є, а так само передачі сигналів з N-OFDM (неортогональною частотною дискретною модуляцією), принцип якої пояснюють рис. 1 та 2.

При створенні перспективних рухомих комплексів радіозв'язку спеціального призначення (як показано у [8]) доцільно спиратися на технологію реконфігуруємих радіомодулів радіозасобів, що дозволить використати цифрові методи модуляції, переваги ЦДУ, а так само одержати комплекс радіозв'язку будь-якого призначення.

Важливе значення має впровадження ЦАР у систему супутникової навігації GPS (США), що одержала поширення в усьому світі, а її приймальні індикатори стали продуктами масового споживання.

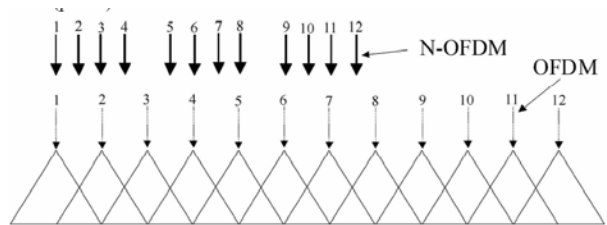


Рис. 1. Компонування N-OFDM (OFDM) сигналу

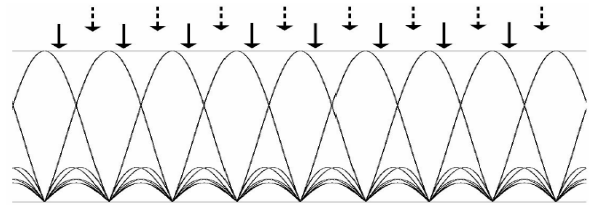


Рис. 2. Принцип неортогонального розміщення частот сигналів у різних поляризаціях

Цифрове формування променів у ЦАР (що є ключовою особливістю її функціонування) дає можливість ефективної реалізації динамічної адаптації зони покриття за рахунок оперативного перенацілювання "цифрових" променів. Віяло променів, сформованих, наприклад, за допомогою алгоритмів швидкого перетворення Фур'є, по суті, є сукупністю просторово-частотних фільтрів, що виконують одночасну селекцію сигналів, що приймаються в широкому просторовому секторі [4]. Цифрове формування в програмно-реконфігуруємих каналах високоідентичних частотних фільтрів дозволяє істотно поліпшити якість приймання в умовах багатопробеного поширення сигналів, поліпшити завадозахищеність, а накопичення відліків напруг у процесі просторово-часової обробки сприяє нарощуванню динамічного діапазону.

Відома проблема підвищення пропускної здатності каналів зв'язку на сьогоднішній день у більшості випадків зводиться до розширення їхньої спектральної смуги пропускання. Однак такий підхід викликає проблеми ЕМС і дефіциту частотного ресурсу. При використанні технології ЦДУ рішенням такої проблеми є [9] частотне ущільнення каналів зв'язку на основі надрелеєвського розділення сигналів.

Одним з перспективних напрямків розвитку радіорелейних систем є використання для підвищення їхньої пропускної здатності ортогональної частотної дискретної модуляції. Подальшим розвитком даного підходу став метод неортогональної частотної дискретної модуляції [10], що дозволяє ущільнити спектральну смугу, займану сигналом, адаптивно відбудовуватися від вузькосмугових перешкод й ефективно працювати в умовах доплерівського зсуву несучих частот. Причому розвиток цього методу може здійснюватися стосовно як до однієї, так і до двох поляризацій.

Реалізація максимальних можливостей ЦАР можлива за умови ідентичності амплітудно-фазових і частотних характеристик їх прийомних і передавальних каналів, а так само їх квадратурних підканалів. У процесі функціонування систем із ЦАР виникають різного роду перекручування, які приводять до пору-

шення ідентичності каналів, що викликає необхідність проведення корегування напруг їхніх первинних каналів [11]. Проведення коригувальних процедур можливо як при використанні внутрішніх, так і зовнішніх джерел контрольних сигналів (при одночасному або по черговому їхньому використанні в одному або декількох просторових секторах).

Відносно схематичних рішень необхідно відзначити один з основних напрямків наступної реалізації технології ЦДУ – розробка гібридних ЦАР. При цьому разом із ЦАР використовуються рефлектори й аналогові діаграмоутворюючі схеми. Такий підхід вже реалізований у системі супутникового зв'язку Inmarsat-4.

Системи й засоби зв'язку, що використовують ЦАР мають такі особливості, як універсальність конструкції; можливість створення структури ЦАР необхідної конфігурації на основі розроблених типових модулів; висока ступінь когерентності системи; висока питома вага цифрової обробки; універсальність програмного забезпечення; можливість швидкої зміни режимів роботи й параметрів оброблюваних сигналів; високі надійність і ремонтпридатність системи; висока технологічність виробництва системи.

### Висновки

Використання ЦАР у системах радіозв'язку дозволяє істотно підвищити ефективність використання радіочастотного спектра через незаперечні переваги технології цифрового діаграмоутворення: висока заводо захищеність, збільшення миттєвого динамічного діапазону приймального тракту, можливість миттєвого формування віяла просторових променів у заданому секторі, можливість адаптації діаграми спрямованості антени по напрямку й формі з обліком сигнально-заводової обстановки, можливість реалізації високоефективних алгоритмів просторово-часової обробки сигналів, висока пропускна здатність.

### Список літератури

1. Крупнов А.Е. Пути повышения эффективности использования радиочастотного спектра / А.Е. Крупнов, А.И. Скородумов // *Электросвязь*. – 2007. – № 7. – С. 7-14.

2. Пономарев Л.И. Оптимизация спектральной эффективности в многоканальных системах сотовой связи / Л.И. Пономарев, А.И. Скородумов // *Радиотехника и электроника*. – 2009. – Т. 54, № 1. – С. 81-97.

3. Управление радиочастотным спектром и электромагнитная совместимость радиосистем / Под ред. М.А. Быховского. – М.: Эко-Трендз, 2006. – 376 с.

4. Слюсар В.И. Цифровое диаграммообразование – базовая технология перспективных систем связи / В.И. Слюсар // *Радиоаматор*. – 1999. – Вып. 8. – С. 58-59.

5. Слюсар В.И. Телекодировый зв'язок на основі технології цифрових антенних решіток / В.И. Слюсар, С.В. Волошко // III наук.-пр. конф. "Пріоритетні напрямки розвитку телекомунікаційних систем спеціального призначення". – К.: ВІПІ НТУУ "КПІ", 2007. – 234 с.

6. Універсальна платформа широкопasmового доступу / В.И. Слюсар, Т.М. Наритник, І.І. Слюсар, Ю.В. Уткін, В.О. Шашков // III наук.-пр. конф. "Пріоритетні напрямки розвитку телекомунікаційних систем спеціального призначення". – К.: ВІПІ НТУУ "КПІ", 2007. – С. 194-195.

7. Слюсар В.И. Тропосферные сети связи на основе мульти-ММО систем / В.И. Слюсар, Н.А. Масесов // В сб. *Мат. 12-го Межд. мол. форума "Радиоэлектроника и молодежь в XXI веке" (1-3 апреля 2008 г.)*. – Х.: ХНУРЭ. – 2008. – 162 с.

8. Слюсар В.И. Направления совершенствования высокочастотных трактов подвижных комплексов радиосвязи специального назначения / В.И. Слюсар, А.В. Федин // II Міжнародний наук.-техн. симпозиум "Нові технології в телекомунікаціях"-(ДУКТ-КАРПАТИ '2009, с. Вишків). Зб. тез. – К.: Державний університет інформаційно-комунікаційних технологій. – 20-24 січня 2009. – С. 37-38.

9. Слюсар В.И. Частотное уплотнение каналов связи на основе сверхрелеевого разрешения сигналов / В.И. Слюсар, В.Г. Смоляр // *Известия вузов. Сер. Радиоэлектроника*. – 2003. – Том 46, № 7. – С. 22-27.

10. Слюсар В.И. Метод N-OFDM с ортогонально поляризованными сигналами / В.И. Слюсар, А.А. Зинченко // Сб. *мат-лов 2-го Межд. радиоэлектронного форума "Прикладная радиоэлектроника. Состояние и перспективы развития"*. Т. 4. Межд. конф. "Телекоммуникационные технологии и сети (МКТТС'2005)". – Х.: ХНУРЭ, 2005. – С. 232-234.

11. Слюсар В.И. Спосіб корекції характеристик приймальних каналів цифрової антенної решітки / В.И. Слюсар, І.В. Титов, О.М. Солощев // Зб. наук. пр. ВІПІ НТУУ КПІ. – К., 2003. – Вып. 3. – С. 124-132.

Надійшла до редколегії 19.10.2011

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.В. Баранник, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

### ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РАДИОЧАСТОТНОГО РЕСУРСА ЗА СЧЕТ ПРИМЕНЕНИЯ ЦИФРОВЫХ АНТЕННЫХ РЕШЕТОК

И.В. Титов, С.А. Макаров

Стремительный рост темпов развития информационно-телекоммуникационных систем, в той или иной мере использующих радиочастотный спектр, существенно усугубляет проблему эффективного использования одного из важнейших природных ресурсов – радиочастотного. Задача повышения эффективности использования радиочастотного ресурса решается различными методами, которые можно разделить на административные, экономические и организационно-технические. К организационно-техническим относятся всевозможные технические решения, среди которых ведущую роль играет технология цифрового диаграммообразования (ЦДО), о которой и идет речь в статье.

**Ключевые слова:** радиочастотный ресурс, электромагнитная совместимость (ЭМС), цифровая антенная решетка (ЦАР), технология цифрового диаграммообразования.

### IMPROVING THE EFFICIENCY OF USE OF RADIO FREQUENCY RESOURCES THROUGH USE OF DIGITAL ANTENNA ARRAYS

I.V. Titov, S.A. Makarov

Rapid growth rates of development of information and telecommunications systems, to some extent using the radio spectrum, adds considerably to the problem of effective use of one of the most important natural resource – radio frequency. The task of raising the effectiveness of radio frequency resource is solved by different methods, which can be divided into administrative, economic, organizational and technical. For organizational and technical are all kinds of technical solutions, among which the leading role played by technology of digital beam forming (DBF), which was and referred to in Article.

**Keywords:** radio frequency resource, the electromagnetic compatibility (EMC), the digital antenna array (DAA), the technology of digital beam forming.