

## АНАЛІЗ СУЧАСНОГО РІВНЯ РОЗРОБКИ СТАТИСТИЧНИХ МЕТОДІВ ОБМІНУ ДАНИМИ НА ОСНОВІ ШУМОПОДІБНИХ СИГНАЛІВ

© КОЗЛЕНКО М. І., МЕЛЬНИЧУК С. І.

Івано-Франківський інститут менеджменту та економіки  
“Галицька академія”

*Розглянуто найпоширеніші методи формування та обробки ширококутових сигналів статистичними способами, запропоновано новий підхід в основу якого покладено випадкові процеси.*

*Widely practiced basics methods of generating and processing of spread spectrum signals were analyzed, a new statistical method was proposed.*

Створення простих та надійних систем обміну даними є однією з найбільш актуальних задач при побудові автоматизованих комплексів у розподілених системах контролю витрати енергоносіїв.

У даний час, як правило, такого роду задачі, вирішуються шляхом побудови традиційних каналів обміну даними, в яких використовується сигнали-носії з малою базою, зокрема, гармонійні сигнали безпосередньо промодульовані в той чи інший спосіб. Проте, використання сигналів з великою базою, зокрема методів розширення спектру (Spread Spectrum), може стати основою забезпечення надійності функціонування та високої стабільності характеристик систем передачі інформації в експлуатаційних умовах [1].

Найбільш поширені ширококутові системи обміну даними, у відповідності до форми сигналу – носія системи можуть бути такими, що використовують гармонійну форму модульованого коливання та такими, що використовують несинусоїдну форму.

У більшості випадків згадані системи реалізуються на основі таких методів розширення спектру, як метод прямої послідовності (DSSS) та метод стрибкоподібної зміни модульованої частоти (FHSS) [2, 3]. Системи DSSS ґрунтуються на використанні бінарного розширюючого сигналу з подальшою модуляцією (переважно фазовою) гармонійної модульованої частоти. Розширення спектру, фактично, є наслідком штучного збільшення швидкості передавання інформації, за рахунок розширюючого сигналу. Розширення спектру в системах FHSS базується на зміні значення промодульованої (переважно частотно) гармонійної модульованої частоти в широких межах. Обидва наведені методи використовують в якості носія гармонійне коливання. Існують також декілька інших методів розширення

спектру в основі яких лежить використання гармонійного носія, зокрема використання багаточастотних сигналів тощо.

Крім згаданого підходу, існують способи формування ширококутових сигналів з розширеним спектром шляхом використання негармонійних форм сигналів-носіїв, різного роду імпульсних сигналів (“імпульсне радіо”, системи UWB). В цьому випадку, в основу розширення спектру покладено безпосередньо фізичні властивості часової форми негармонійних сигналів-носіїв, а відповідно, і їх спектральний склад [4].

У відповідності до властивостей розширюючого сигналу, системи умовно можуть бути поділені на системи, де розширюючий сигнал є бінарним, або сигналом із незначною кількістю станів (трійковим, квазітрійковим, 8-ми рівневим, і т. д.) та системи де розширюючий сигнал є неперервним або дискретним з великою кількістю станів. Причому, такий дискретний сигнал фактично є неперервним, а дискретність є наслідком застосування цифрових (дискретних) методів формування, обробки та зберігання.

Таким чином, вищезгадані системи DSSS та FHSS базуються на використанні бінарного (DSSS) та дискретного з незначною кількістю станів (FHSS), а системи з несинусоїдними формами сигналів-носіїв, переважно використовують неперервний розширюючий сигнал. В цьому випадку розширюючий “код”, фактично представлений формою ширококутового сигналу – носія. Крім використання імпульсних негармонійних сигналів є можливість в якості розширюючого сигналу використовувати шумоподібний або шумовий сигнал, у вигляді аналогового або дискретного з достатньо великою кількістю станів, псевдовипадкового або випадкового процесу [5]. Зокрема, відомі системи обміну даними, в яких неперервний розширюючий сигнал формується в коливальних системах з нелінійним дисипативним та реактивним зворотнім зв'язком за методологією динамічного хаосу [6].

У відповідності до факту детермінованості або випадковості розширюючого сигналу ширококутові системи обміну даними можуть бути поділені на дві групи: системи з детермінованими та випадковими розширюючими сигналами.

Найбільшого поширення набули системи обміну даними з використанням сигналів з розширеним спектром у яких приймання інформації відбувається шляхом визначення кореляції між прийнятим сигналом та взірцем розширюючого сигналу, що зберігається у приймальному пристрої (Stored Reference). Такий підхід обумовлює повну детермінованість розширюючого сигналу. При чому, розширюючий сигнал для методу DSSS – це псевдовипадкова послідовність, закон зміни значення модульованої частоти для методу FHSS, форми сигналів імпульсних послідовностей для “імпульсного радіо”, параметри нелінійних

зворотних зв'язків у системах, що базуються на явищах динамічного хаосу тощо. Слід зауважити, що не зважаючи на детермінованість, такий сигнал має імовірнісні характеристики близькі до повністю випадкових процесів.

Крім згаданих способів є можливість використовувати повністю випадковий процес в якості розширюючого сигналу. В такому випадку, взірць розширюючого сигналу або передається окремо, паралельним каналом (Transmitted Reference), і в подальшому використовується для порівняння з прийнятим інформаційним сигналом, або взірць форми сигналу, як такий відсутній, а передавання інформації відбувається шляхом формування випадкового процесу-носія таким способом, щоб значення заданого параметру або характеристики носія поставлено визначеним чином у відповідність до символів інформаційного повідомлення (або сигналу низькочастотного представлення інформаційного повідомлення). Приймання, в цьому випадку, відбувається шляхом аналізу (переважно статистичного), цього параметру або характеристики прийнятого сигналу [7]. Такими параметрами можуть бути як певні миттєві значення сигналу, так і інтегральні характеристики, розраховані на кінцевих проміжках часу, зокрема імовірнісні характеристики.

Одним з перспективних методів реалізації згаданих систем є використання в якості носія ширококутвого шумоподібного повністю випадкового сигналу та імовірнісні та статистичні методи формування та обробки сигналів.

Згідно вищенаведеної класифікації систем даний метод можна віднести до таких, що використовують несинусоїдну форму сигналу-носія, неперервний та повністю випадковий розширюючий "код".

Суть методу полягає в формуванні сигналу так, що певна імовірнісна характеристика ширококутвого, шумоподібного, неперервного, повністю випадкового процесу ставиться у відповідність до символів сигналу низькочастотного представлення дискретного повідомлення або до значень неперервного інформаційного повідомлення. Приймання відбувається шляхом статистичного оцінювання обраної імовірнісної характеристики за кінцевими проміжками часу. В якості такої характеристики може виступати середньоквадратичне відхилення (ефективне амплітудне значення), дисперсія (потужність), імовірнісні моменти різних порядків, автокореляційна функція, ентропія розподілу ймовірностей станів [8, 9] та інші, або комбінація з таких характеристик, будь-які функції або функціонали від характеристик або їхніх комбінацій тощо.

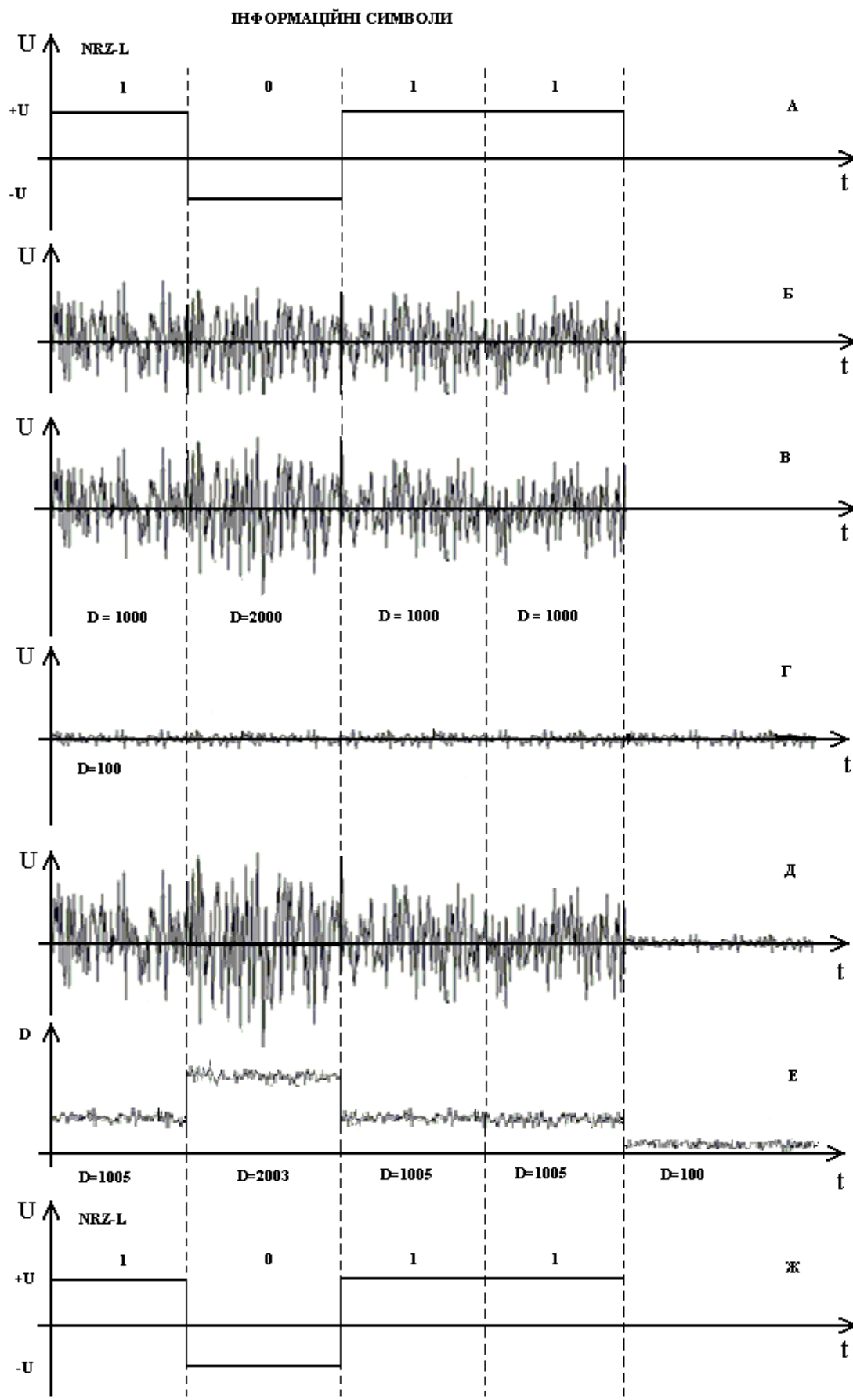


Рис. 1. Формування та обробка сигналів статистичним способом

Проміжки часу на яких обчислюються оцінка обираються меншими або рівними символному інтервалу низькочастотного представлення сигналу дискретного інформаційного повідомлення, або такими, щоб отримати частоту слідування значень характеристики (параметра) принаймні у два рази більшу ніж максимальна частота, що має практичну цінність у спектрі сигналу інформаційного повідомлення, в разі передачі неперервного повідомлення.

На рис.1 подано основні етапи формування та обробки сигналів для передавання та приймання дискретної інформації згідно згаданого методу на прикладі використання дисперсії: а) низькочастотне представлення сигналу інформаційного повідомлення, що передається в форматі, для прикладу, NRZ-L, б) повністю випадковий процес – носій, в) промодульований носій, дисперсія (для прикладу) якого поставлена у відповідність до сигналу низькочастотного представлення, г) шум каналу, д) прийнятий сигнал (для зручності, показано для випадку затухання в каналі 0 дБ), е) статистична оцінка дисперсії, ж) відновлене на основі даної оцінки низькочастотне представлення інформаційного повідомлення на виході приймача.

Недоліком такого підходу є дещо менша ефективність, у порівнянні з методами, в основу яких покладено приймання шляхом оцінки взаємкореляції прийнятого сигналу та заздалегідь відомого (такого, що зберігається) взірця. Це обумовлено тим, що частина інформації, яка міститься у прийнятому сигналі втрачається та не використовується при демодуляції. Зокрема, не обробляється інформація про взаємне часове розміщення прийнятих та ідентифікованих станів (значень) сигналу. Це приводить до зменшення співвідношення сигнал/шум на виході демодулятора (для приймачів неперервних повідомлень) або до збільшення імовірності бітової помилки при фіксованому співвідношенні сигнал/шум на вході демодулятора (для приймачів дискретних повідомлень). При використанні різних імовірнісних характеристик отримуються різні значення ефективності.

Одними з найкращих за ефективністю сигналів, що пропонується використовувати в якості носія для даного методу, є широкопідсмугові шумоподібні сигнали з розподілом ймовірностей станів близьким до нормального та спектральними характеристиками близькими до білого шуму. Ефективність використання таких сигналів полягає в можливості забезпечення збільшення кількості інформації, що передається, при зменшенні потужності сигналу, у порівнянні з іншими типами сигналів.

Суттєвою перевагою такого підходу є рівномірність та повнота використання частотного ресурсу.

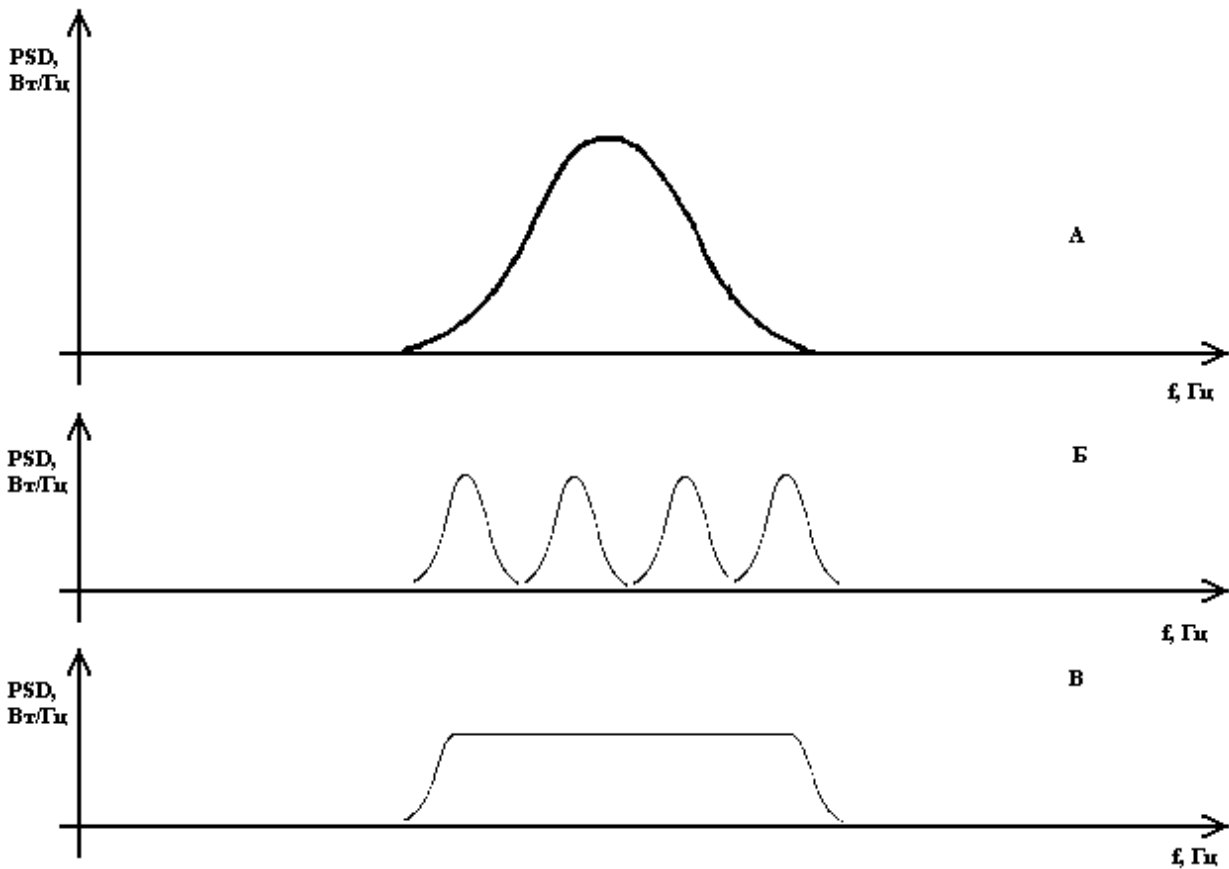


Рис. 2. Спектральна густина потужності (умовно зображена):  
 а) сигналу DSSS, б) багаточастотного сигналу, в) широкосмугового сигналу-носія, що використовується у системі із статистичним формуванням та обробкою.

На рис. 2 спрощено, без врахування особливостей деталей реалізації, представлені спектри сигналів, що характерні для а) систем DSSS, б) багато частотних систем та в) для вищезгаданих ефективних широкосмугових сигналів-носіїв, які використовуються у системі із статистичним формуванням та обробкою, для випадку коли загальна ширина спектру та повна потужність сигналів однакова. Спектральна характеристика фазоманіпульованого DSSS сигналу, рис. 2а характеризується значною нерівномірністю в частотній області, та зосередженістю великої частки потужності поблизу значення модульованої чи маніпульованої частоти. Спектральна характеристика частотноманіпульованого багато частотного сигналу, рис. 2б) також має значну нерівномірність в частотній області, та зосередженість основної частини потужності поблизу значення поточних модульованих частот.

Приблизно така ж характеристика властива і для частотноманіпульованого FHSS сигналу, крім того, характерна нерівномірність використання спектрального ресурсу в часовій області, оскільки у певний момент часу уся потужність сигналу зосереджена поблизу однієї з кількох модульованих частот. Найбільша повнота використання частотного ресурсу, як у частотній, так і у часовій областях характерна для статистичного методу на основі шумоподібних сигналів з розподілом ймовірностей станів близьким до нормального та спектральними характеристиками близькими до білого шуму, рис. 2в., що дозволяє не зменшуючи частотної ефективності підвищити енергетичну ефективність передавання інформації.

Також, суттєвою перевагою згаданого методу є простота апаратної реалізації, а отже і висока надійність, пристроїв систем обміну даними.

### Література

1. Варакин Л.Е. Системы связи с шумоподобными сигналами. – М.: Радио и связь, 1985. - 384 с.
2. Скляр Бернад. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение. Изд. 2-е, испр.: Пер с англ. - М.: Издательский дом «Вильямс», 2003. – 1004 с.: ил. - Парал. Тит. Англ.
3. Прокис Дж. Цифровая связь. Пер.с англ. / Под ред. Д. Д. Кловского. - М: Радио и связь, 2000. – 598 с.
4. С. Бунин. Назад к Герцу. Радио № 7, 1990, М.: «Патриот».
5. А. Г. Зюко, Ю. Ф. Коробов. Теория передачи сигналов. Учебник для ВУЗов. М., «Связь», 1972. 282 с. с илл.
6. Бельский Ю. Л. , Дмитриев А. С. Передача информации с помощью детерминированного хаоса. Радиотехника и электроника, т. 38, № 7, 1993. - 1310 с.
7. de Rosa L. A. and Rogoff M., sec. I (Communications) of *Applications of Statistical Methods to Secrecy Communications Systems*. Proposal 946, Fed. Telecommun. Lab., Nutley, N. J., August, 28, 1950.
8. Заявка на патент № а200508893. Спосіб передавання та приймання інформації на основі широкосмугових сигналів, що формуються процесами зі змінною ентропією розподілу ймовірностей станів / Мельничук С. І., Козленко М. І.
9. Козленко М. І., Мельничук С. І. Формування та обробка широкосмугових сигналів на основі випадкових процесів зі змінною ентропією розподілу ймовірностей станів // Наукові вісті інституту менеджменту та економіки Галицька академія. - 2006. - № 1, С. 28-31