

Державний університет телекомунікацій

ЗАТВЕРДЖУЮ
Декан факультету ТК

Н.В.Коршун

“ ” _____ 2015 року

**Методичні рекомендації до практичної роботи
студентів денної форми навчання**

за напрямом підготовки:

6.050901 - Радіотехніка

освітньо-кваліфікаційного рівня **бакалавр**

з дисципліни **ПРИЙМАННЯ ТА ОБРОБЛЕННЯ СИГНАЛІВ**

Рекомендовано

кафедрою Радіотехнологій

протокол № _____

від „__” _____ 2015 року

Завідуючий кафедрою

_____ Сайко В.Г.

Узгоджено з кафедрою

Радіоелектронних систем

Завідуючий кафедрою

_____ Смирнов В.С.

Узгоджено

Начальник навчально-методичного відділу

_____ А.В. Бондар

“ ” _____ 2015 року

Використані скорочення:

TDMA - множинний доступ з тимчасовим розподілом

FDMA - множинний доступ із частотним розподілом

CDMA - множинний доступ з кодовим розподілом

БЧМ - багаточастотна модуляція

МСКП - мінімальна середньквдратична похибка

ПМД - перешкода множинного доступу

ПРС - пряме розширення спектру

Тема 3. Основи теорії широкопсмугової передачі. Системи модуляції та сигнально-кодові конструкції.

Практичне заняття 2. Задачі прийому та синтезу широкопсмугових сигналів.

Широкопсмугова передача є сучасною бездротовою технологією, що повсюдно застосовується як у радіонавігаційних, радіолокаційних системах, так й у телекомунікаційних системах і мережах. Поняття широкопсмуговості прив'язане до швидкості передачі й смугі, займаної повідомленням. Найбільш універсальним визначенням широкопсмугового сигналу (інші назви – складний, шумоподібний) дане в [1]: детермінований сигнал, для якого добуток тривалості на смугу сигналу (частотно-тимчасове визначення) задовольняє рівності $WT \gg 1$. Система, що використовує сигнали з розширеним (розподіленим) спектром, є широкопсмуговою. На рис. 1 представлено два прямокутних імпульси однакової тривалості T і несучої частоти f_0 : сигнал без внутрішньої модуляції (а) і сигнал з лінійною модуляцією з девіацією $W_d = 20/T$ (б). Нижні криві відповідають енергетичним спектрам цих сигналів. Для рисунка (а) смуга $W \approx 1/T$, а виходить, енергія сигналу, у частотній області сконцентрована на інтервалі, приблизно зворотному тривалості імпульсу, таким чином тривалість і смуга жорстко зв'язані, частотно-тимчасове добуток фіксований й, отже, розширення спектра може бути досягнуте тільки в обмін на вкорочення імпульсу. У свою чергу смуга, займана імпульсом (б), близька до значення девіації ($W \approx W_d$) і значно більше, ніж величина, зворотна тривалості. У результаті незалежно від тривалості сигналу смуга легко регулюється зміною лише девіації. У світі уведеного визначення перший сигнал є простим, а другий - широкопсмуговим.

Теорія систем з розширеним спектром у значній мірі базується на понятті *автокореляційної функції* (АКФ) сигналу, що є скалярним добутком двох копій того самого сигналу, зрушених за часом відносно один одного

на τ секунд:
$$R(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} s(t)s(t - \tau)dt .$$

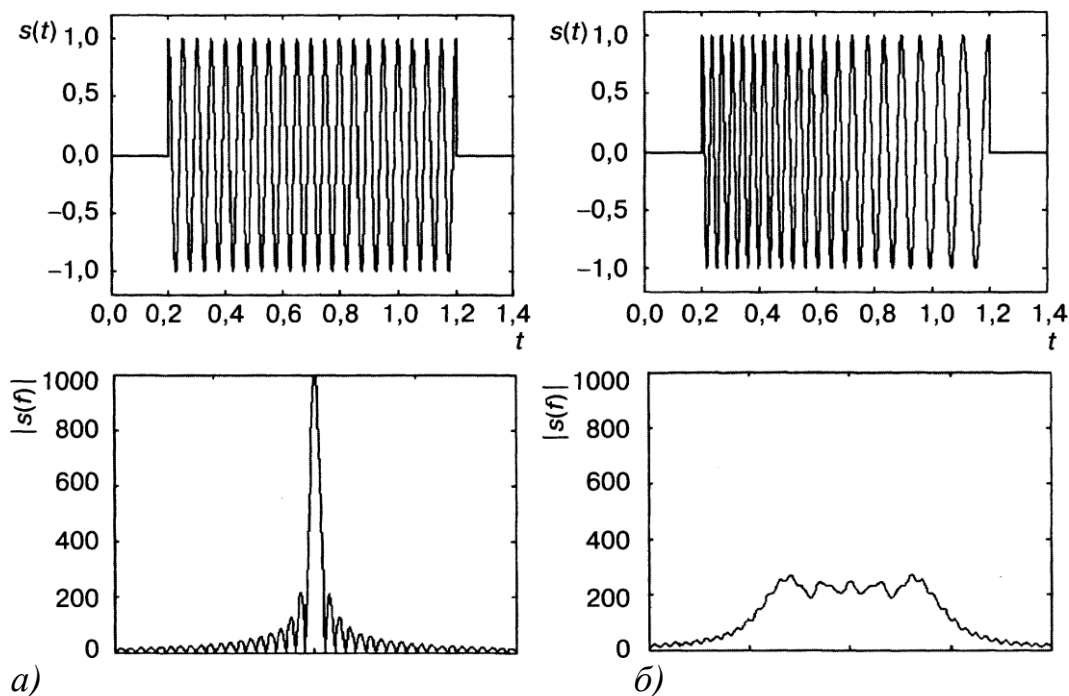


Рис. 1. Немодульований (а) і частотно-модульований (б) прямокутні імпульси і їхні спектри

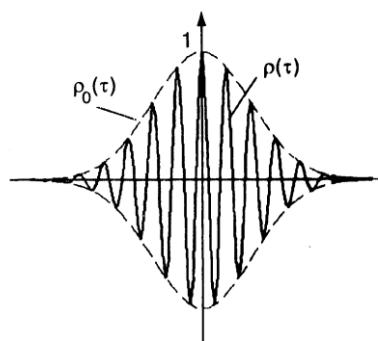


Рис.2. АКФ радіосигналу

Запізнювання сигналу за часом τ — неенергетичний параметр ($E(\tau) = E$), і множення E^{-1} приводить до нормованого АКФ, що є попросту коефіцієнтом кореляції зрушених у часі копій сигналу

$$\rho(\tau) = \frac{1}{E} \int_{-\infty}^{\infty} s(t)s(t-\tau)dt.$$

Прямокутний імпульс $s(t)$ тривалості T має трикутну АКФ тривалості $2T$ з максимумом у нульовій точці (пунктирна лінія). Реакція на нього погодженого фільтра являє собою копію подібної АКФ із запізненням, рівним тривалості сигналу T , так що максимальна напруга на виході фільтра спостерігається в момент закінчення вхідного сигналу (рис. 3б, суцільна лінія). Для радіоімпульсу із прямокутної що обгинає $s(t)$ АКФ виявляється трикутним радіоімпульсом (рис. 3в, пунктирна лінія), а сигнал на виході погодженого фільтра — запізненої на T копією останнього (рис. 3в, суцільна лінія). Максимум відгуку фільтра, погодженого із сигналом, завжди доводиться на момент закінчення сигналу, оскільки цей фільтр повинен обробити весь сигнал цілком. Для радіосигналу моменти максимумів що обгинає й високочастотного заповнення на виході погодженого фільтра завжди збігаються, оскільки будь-яка АКФ має максимум на початку координат (див. рис. 2.).

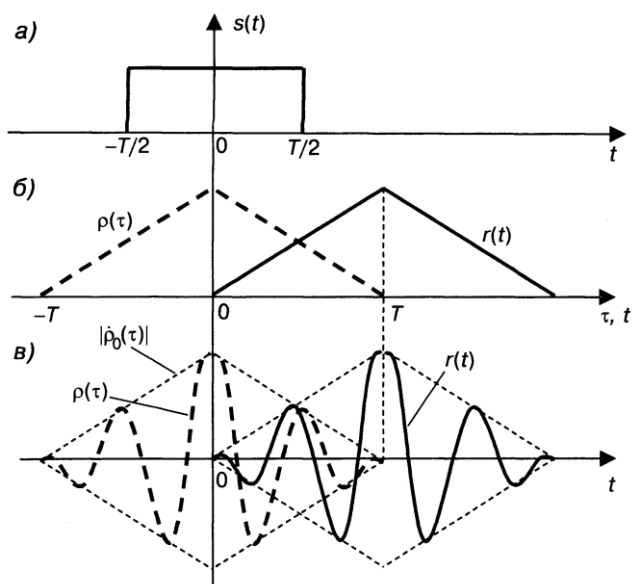


Рис.3.

Завдання по Темі 3 для рішення в пакетах MATCAD й MATLAB

1.1. При квадратурної ФМ (КФМ, ФМ-4) два біти (4 повідомлення) передаються чотирма сигналами з початковими фазами: $0, \pi, \pm \pi/2$. Чи є даний варіант оптимальним для передачі двох бітів? Якщо ні, укажіть найкращий спосіб й оцініть його асимптотичний виграш у порівнянні із ФМ-4.

1.2. Повідомлення ($M = 8$) передаються з використанням ФМ-8, тобто ідентичними радіоімпульсами з 8-ю різними еквідистантними початковими фазами. Чи є цей варіант передачі 8 повідомлень по гауссовському каналі найкращим при відсутності обмежень на ширину смуги? Якщо ні, то які енергетичні втрати ФМ-8 у порівнянні з оптимальною множиною M сигналів?

1.3. На зворотному каналі стільникової системи радіозв'язку стандарту IS-95 здійснюється ортогональне кодування шестибітових блоків. Швидкість передачі становить 28,8 кбіт/с. Оцініть значення смуги, займаної кодованими сигналами (без обліку наступного розширення спектра довгим скремблюючим кодом).

1.4. Система цифрового зв'язку займає смугу $W = 1,2288$ МГц. Яке максимальне число M ортогональних сигналів може бути використане для передачі даних зі швидкістю 38,4 кбіт/с?

1.5. У системі зв'язку дані передаються по гауссовському каналі зі швидкістю 10 кбіт/с. Проектувальник системи планує одержати енергетичний виграш в 6 дБ у порівнянні з передачею без кодування. Чи досяжна ця ціль за допомогою ортогонального кодування при доступній смузі в 320 кГц?

1.6. Системі відведена смуга 10,24 МГц при необхідній швидкості передачі в 100 кбіт/с. Знайдіть потенційно досяжний асимптотичний виграш від кодування.

1.7. По гауссовському каналі необхідно передавати дані зі швидкістю 100 кбіт/с на несучій в 2 ГГц. Чи можна розраховувати на енергетичний вигравш $G = 10$ дБ при використанні ортогональних сигналів?

1.8. Сигнал з лінійною частотною модуляцією задається співвідношенням

$$s(t) = \begin{cases} A \cos\left(2\pi f_0 t + \frac{\pi W(t-T)^2}{T} + \varphi\right), & |t-T| \leq T/2, \\ 0, & |t-T| > T/2, \end{cases}$$

де A — амплітуда; f_0 — несуча частота; W_d — девіація; T — тривалість; τ — час запізнювання й φ — початкова фаза сигналу. Класифікуйте ці шість параметрів на енергетичні й неенергетичні (для будь-якого радіосигналу $f_0 T \gg 1$, $W \ll f_0$).

1.9. Необхідно виміряти неенергетичний параметр сигналу λ . Коефіцієнт кореляції $\rho(\lambda)$ сигналних копій залежно від λ для трьох випадків представлений на рис. 4. У якому з них точність оцінки λ буде найвищою:

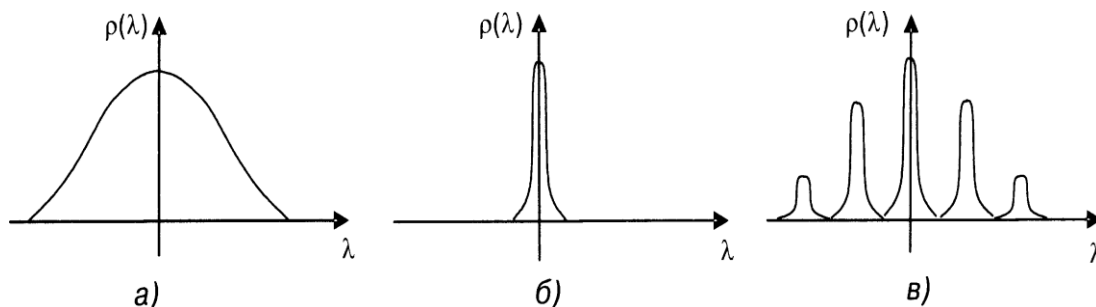


Рис. 4. Залежність коефіцієнта кореляції від вимірюваного параметра

1.10. Вимірюється початкова фаза φ сигналу з лінійною частотною модуляцією із завдання 8. Зміна яких з параметрів A , f_0 , W , τ , T и в якому напрямку вплине на точність оцінки фази? Що відбудеться зі середньквдратичним відхиленням оцінки фази, якщо всі значення A , f_0 , W , збільшити в $\sqrt{2}$ раз, а τ , T зменшити у два рази?

1.11. Зобразите автокореляційні функції сигналів, представлених на рис. 5

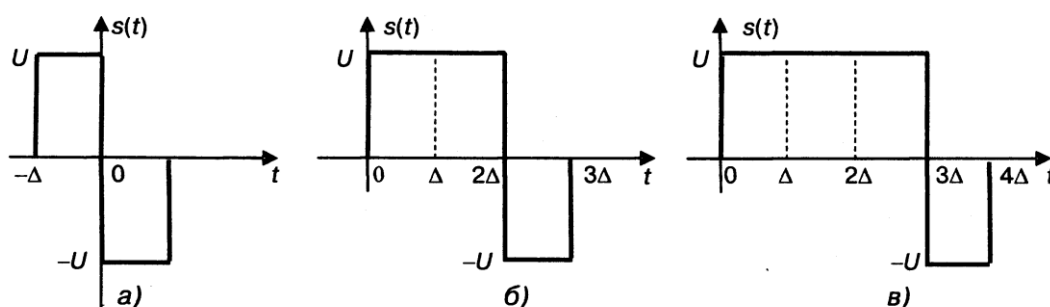


Рис. 5. Три варіанти сигналу.

1.12. У деякій радіолокаційній станції (РЛС) використовується простий імпульсний сигнал. Проектувальник планує зменшити пікову потужність у сто разів без погіршення відносини сигнал-шум й у той же час зменшити в десять разів середньквдратичне відхилення виміру запізнювання. Яким повинне бути частотно-тимчасовий добуток сигналу в удосконаленій системі?

1.13. У деякої РЛС відстань виміряється за допомогою імпульсу з лінійною частотною модуляцією (див. завдання 8) із частотно-тимчасовим добутком $WT = 10^3$. У результаті поломки модулятора РЛС стала випромінювати немодульовані імпульси тієї ж пікової потужності й тривалості. Що відбудеться зі середньквдратичним відхиленням вимірюваної дальності?

1.14. У деякій системі необхідно зменшити в десять разів середньквдратичне відхилення виміру частоти. Потужність сигналу може бути збільшена тільки в 25/16 рази (1,94 дБ). Як повинна змінитися тривалість сигналу?

1.15. У ході модернізації деякої системи, що працювала спочатку із простим сигналом, випромінювана потужність була зменшена на 6 дБ. Одночасно була збільшена в чотири рази тривалість сигналу, а простий сигнал замінений широкосмуговим із частотно-тимчасовим добутком $WT = 100$. Що відбулося зі середньквдратичним відхиленнями оцінок запізнювання й частоти в порівнянні з первісними значеннями?

1.16. Напишіть програму, що демонструє експериментально енергетичний вигаш від ортогональної передачі в порівнянні з некодованою для шестибітових повідомлень. Кроки, що рекомендують:

а) Сформууйте й виведіть на дисплей шестибітовий сигнал, переданий БФМ, у якому на кожен біт доводиться відліків (рекомендується покласти $= 64$, тобто 384 відліку на 6 бітов);

б) Сформууйте $1000 \times 6N_s$ матрицю гауссовського шуму зі середньквдратичним відхиленням, рівним четвертій частині амплітуди біта;

в) Сформууйте й відобразите на дисплеї $1000 \times 6N_s$ матрицю спостережень, додавши сигнальний вектор до рядків матриці шуму;

г) Демодулюйте спостереження, знайдіть імовірність помилки на повідомлення й виведіть її значення на дисплей;

д) Повторіть пункти (б)-(г) для нового сигналу;

е) Зрівняйте й прокоментуйте експериментально отримані ймовірності помилок для двох досліджених методів передачі.

ж) Виконайте програму для діапазону відносин сигнал-шум, змінюючи рівень шуму й зрівняйте отримані результати з теоретичними.

1.17. Напишіть програму, що демонструє експериментально обмін між енергетичним вигашем і спектральною ефективністю ортогональної передачі. Кроки, що рекомендують:

а) Зафіксуйте число бітов $m = 8$;

б) Сформууйте всі можливі восьмибітові БФМ сигнали й представте їхнім вектором, у якому кожен біт займає 160 відліків;

в) Розрахуйте спектри потужності всіх таких сигналів й усереднений за повідомленнями спектр потужності при некодованій передачі;

г) Розрахуйте спектри потужності всіх отриманих ортогональних сигналів й їхній усереднений спектр потужності;

е) Виведіть на дисплей розраховані усереднені спектри, оцініть смуги сигналів для обох випадків і порівняйте їхнє відношення з теоретично передбаченим.

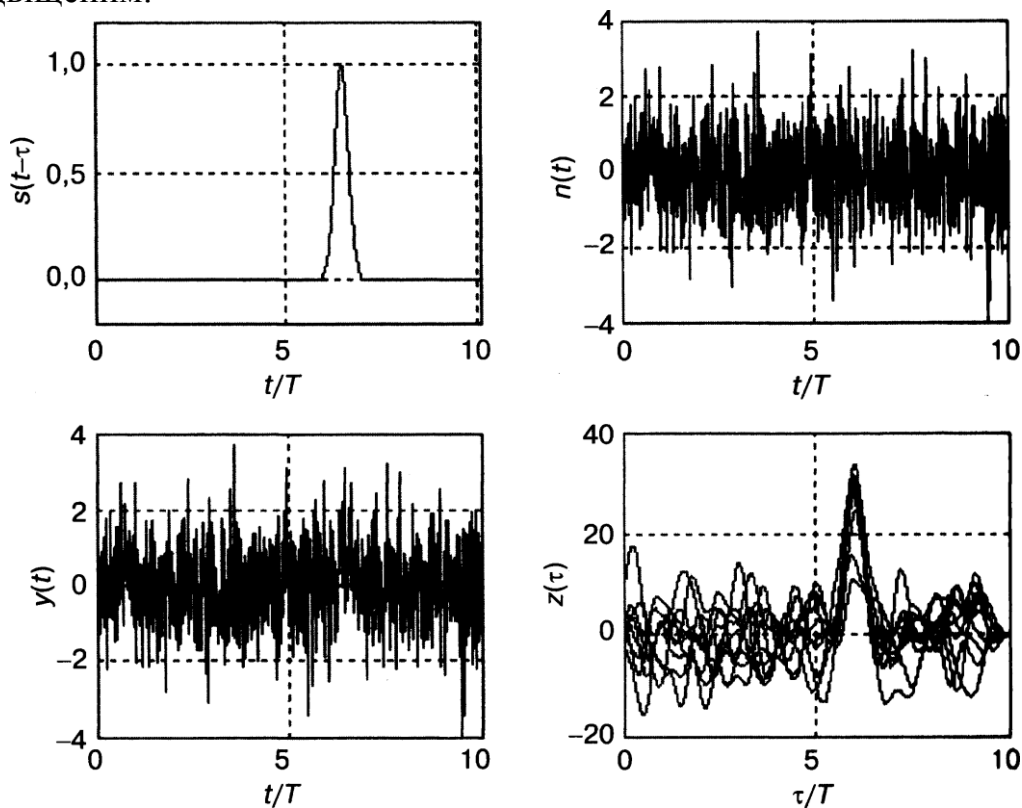


Рис. 6. Моделювання вимірювання амплітуди

Тема 6. Регіональні мережі широкосмугового бездротового доступу сімейства стандартів IEEE 802.16.

Практичне заняття 5. *Математичні методи оцінювання частотно-часового ресурсу, пропускної здатності широкосмугових систем. Моделювання радіосот.*

При проектуванні будь-якої багатокористувальницької системи принциповим моментом є забезпечення *множинного доступу*, тобто можливості надання каналу зв'язку для одночасної роботи багатьох абонентів з мінімальним взаємним впливом. Широкосмугові системи є більше гнучким й ефективним засобом у реалізації множинного доступу, а стільникові мережі зв'язку дають досить благодатний ґрунт для найбільше прояву переваг CDMA. Переваги CDMA у порівнянні із класичними FDMA й TDMA (завадостійкість, низька ймовірність виявлення, здійснюють RAKE- алгоритму ін.) автоматично впливають із широкосмуговості природи CDMA сигнатур. У той же час синхронізація сигнатур критично важлива в забезпеченні їх ортогональності й розподілі абонентів на прийомній стороні. Синхронний варіант CDMA (S-CDMA). досить легко реалізується в системах з єдиним передавачем (подібно базової станції в стільниковій мережі), що одночасно посиляє потоки даних, з яких кожний адресований певному користувачеві (наприклад, мобільної станції). Завдяки цьому S-CDMA використовується як платформа рівня лінії «униз» у стільникових мережах з CDMA поколінь 2G (cdmaOne) і 3G (WCDMA, cdma2000). Паралельно ключовий принцип S-CDMA використовується в каналах «униз» й «нагору» стандартів 3G для так названої мультикодової передачі [1].

Приклад. Для організації множинного доступу в смузі 5МГц, типової для 3G систем, використовується FDMA.

Максимальне число користувачів K при ортогональному множинному доступі

$$K = \begin{cases} \frac{2W_t}{R}, & M = 2 \text{ (при бінарній фазовій модуляції)}, \\ \frac{W_t \log_2 M}{R}, & M > 2. \end{cases}$$

W_t - виділена смуга частот, R - швидкість передачі даних біт/з

Максимальне число користувачів на одному стільнику в системах з FDMA або TDMA у припущенні асинхронної роботи, характерної для каналу нагору $K_c = W_t / 7R$ (смуга фізичного каналу стандарту cdmaOne $W_t = 1,25$ МГц). Тоді при передачі кодової мови (бінарна фазова модуляція) зі швидкістю 19,2 кбіт/с потенційно можна обслужити $K_c = W_t / 7R = 37$ користувачів на стільнику. У той же час альтернатива асинхронного варіанта CDMA значно більше ефективна при тому самому

частотно-тимчасовому ресурсі $\left(K_c \leq \frac{32WT}{45} + \frac{2}{3} \right), W_t = W, T_t = T$, дозволяючи наблизити абонентську ємність стільники к. $K_c = 32W/45R + 2/3 \approx 185$

У всіх реальних багатокористувальницьких системах фізичні канали (піднесучі частоти в FDMA, часові слоти в TDMA або сигнатури в CDMA) не закріплюються за споживачами раз і назавжди. Замість цього мережа сама управляє сукупністю каналів трафіку й виділяє користувачеві один з них тільки тоді, коли від нього надійде заявка на з'єднання. Зрозуміло, при цьому доводиться резервувати частина системного ресурсу для організації запитального каналу. У системах з FDMA або TDMA число фізичних каналів жорстко фіксовано й час від часу може відбутися відмова в обслуговуванні, тобто ігнорування мережею користувальницького запиту через зайнятість всіх каналів трафіку. Імовірність блокування, рівна 2 %, часто покладається припустимою, і, виходячи з її розраховується необхідне число каналів. Час від часу профіль розподілу абонентів у зоні покриття мережі може змінюватися настільки серйозно, що в деяких стільниках відмови в обслуговуванні стають неприпустимо частими. У подібних обставинах оператор нерідко змушений іти на реконфігурацію мережі й, як наслідок, частотне перепланування, що зачіпає всі стільники.

Інші сценарії характерні для мереж CDMA. По-перше, якщо число вже активних абонентів дорівнює умовно-номінальному, що знову надійшла заявку можна задовольнити, присвоївши вхідному користувачеві сигнатуру, відмінну від уже зайнятих. Це приведе до якогось (звичайно невеликому) зменшенню відносини сигнал - (шум+перешкода), і, отже, якості обслуговування всіх активних користувачів. Таким чином, замість прямої відмови відбувається «м'яке блокування». По-друге, якщо із часом трафік у деякому районі драматично зростає, оператор може ввести в дію додаткову базову станцію в «гарячій зоні» без нестатку в частотному переплануванні або інших радикальних кроках, що зачіпає всі осередки мережі.

Завдання по Темі 6 для рішення в пакетах MATCAD й MATLAB

2.1. Цифрова система передачі даних з FDMA повинна обслуговувати не менш 100 користувачів. Оцініть мінімальну загальну смугу, займану системою, якщо необхідна швидкість передачі даних становить 20 кбіт/с на один абонента, а спосіб модуляції - БФМ. Як зміниться значення смуги, якщо БФМ замінити на ФМ-4? Відповідайте на ті ж питання, якщо замість FDMA використовується TDMA.

2.2. FDMA система із ФМ-4 призначена для обміну цифровою інформацією між літальними апаратами й працює в діапазоні 3 ГГц. Максимальна швидкість об'єкта — 1800 км/ч, стабільність опорного генератора — $2 \cdot 10^{-7}$, захисний інтервал, обумовлений неідеальною вибірковістю фільтра, — 1 кГц. Визначить максимальне число

користувачів, що може обслужити система при смузі 2,32 МГц і швидкості передачі даних користувачем - 20 кбіт/с.

2.3. Цифрова багато користувальницька система з TDMA повинна обслуговувати не менш 100 абонентів. У системі використовується модуляція ФМ-8. Визначте мінімальну смугу, займану системою, якщо необхідна швидкість передачі на один користувача становить 20 кбіт/с.

2.4. Індивідуальному частотному субканалу з бінарної ФМ лінії «нагору» цифровий TDMA стільникової системи відведена смуга в 200 кгц. Часовий інтервал між послідовними пакетами даних довільного користувача повинен становити не більше 5 мс, швидкість передачі даних споживачем - близько 20 кбіт/с, максимальний радіус стільники - 30 км. Визначте максимальне число TDMA каналів, що містяться в одному частотному субканалі.

2.5. У синхронної CDMA- системі повинне бути організоване 128 фізичних каналів. Передача даних здійснюється за допомогою ФМ-8 при швидкості на один користувача 20 кбіт/с. Оцініть мінімально необхідну смугу, займану системою.

2.6. Синхронна CDMA- система має 50 фізичних каналів з модуляцією ФМ-16. Швидкість передачі на один користувача 20 кбіт/с. Загальна смуга, займана системою, дорівнює 500 кгц. Яка величина вирашу від обробки в системі? Чи вільна система від перешкод множинного доступу? Що відбудеться при зменшенні смуги в 4 рази?

2.7. У межах одного осередку стільникової CDMA-мережі перебувають два абоненти на відстанях 500 м й 5 км від базової станції. Мобільний абонент, що перебуває на більшій відстані, випромінює сигнал потужністю 100 мвт. Визначите потужність, випромінювану більше близьким користувачем, у припущенні ефективної роботи петлі контролю потужності й експоненти загасання $e = 4$.

2.8. У каналі «нагору» стільникового телефону стандарту cdmaOne використовується асинхронний варіант CDMA. Передача даних здійснюється за допомогою ортогональних сигналів, що кодують шестибітові блоки, зі швидкістю 28,8 кбіт/с. Смуга сигналу може бути прийнята рівної 1,25 МГц. Яким буде число користувачів на стільнику, якщо мінімально необхідне відношення сигнал - (шум+перешкода) становить 7 дБ, фактор мовної активності дорівнює 3/8, зовнішня ПМД додає до внутрішнього 50 %, а тепловий шум дуже малий. Що зміниться, якщо відношення сигнал-шум тільки для теплового шуму становить 9 дБ?

2.9. Напишіть програму для ілюстрації принципу FDMA. Зразкові осцилограми дані на рис.7

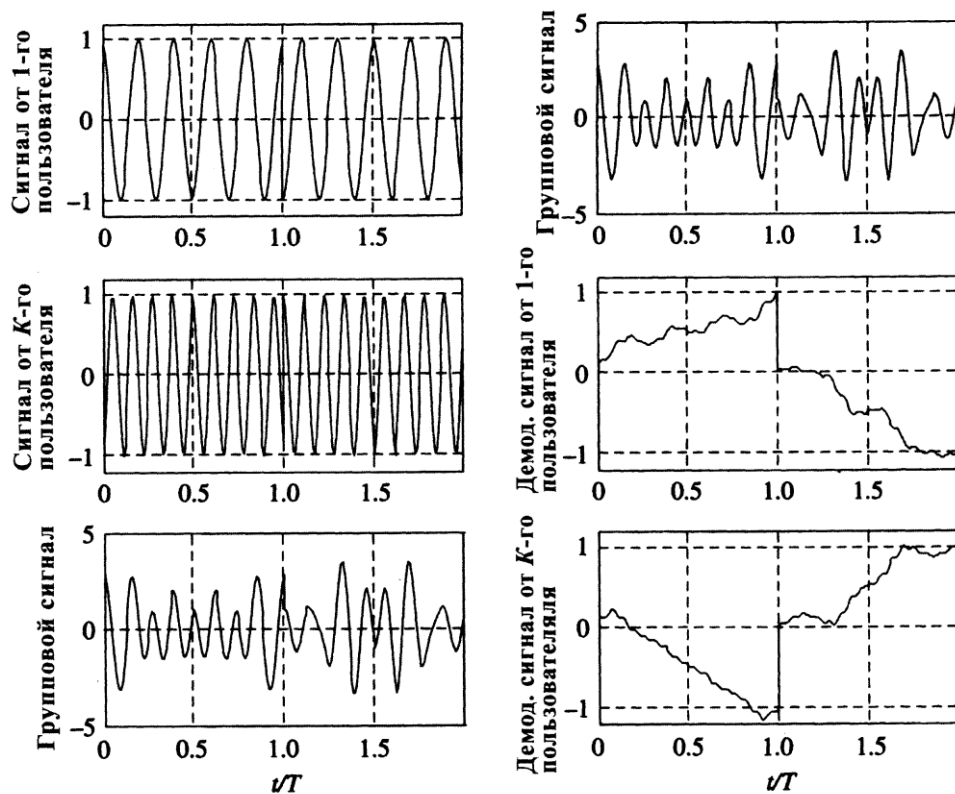


Рис.7. Моделювання принципів FDMA

- а) Сформуйте матрицю K піднесучих (рекомендується взяти K у межах 2-10). Виберіть частоти так, щоб 100 точок містили в точності ціле число періодів, для кожної наступної частоти на одиницю більше, ніж для попередньої. Для першої піднесучої можна взяти 4-6 періодів;
- б) Візьміть 2-3 випадкових біта інформації для кожної піднесучої й виконаєте БФМ всіх що піднесуть. Визуалізуйте модульовані сигнали для яких-небудь двох користувачів;
- в) Підсумуйте всі модульовані сигнали, щоб одержати груповий сигнал і виведіть його на дисплей;
- г) Здійсніть демодуляцію кожного переданого біта для кожного користувача, помноживши груповий сигнал на відповідну що піднесе й проінтегрував результат за тривалість біта. Відобразіть на дисплеї вибірково виходи демодуляторів обраних користувачів. Сформуйте рішення про прийняті біти для всіх користувачів і зрівняйте їх з переданими бітами.
- д) Виконайте програму для різного числа користувачів і прокоментуйте результати.

2.10. Використайте програму попереднього завдання для демонстрації ефекту міжканальних перешкод, що супроводжують частотний дрейф у схемі FDMA. Уведіть частотне зрушення $+0,25$ для першої що піднесе й зафіксуйте однакові бітові серії для всіх користувачів. Зменшуючи амплітуду першої що піднесе, відзначте її значення, при якому з'являються помилкові рішення про біти першого користувача. Виконайте

програму при різних значеннях частотного дрейфу й прокоментуйте результати.

Тема 7. Перспективні стандарти бездротового доступу. **Практичне заняття 7. Багаточастотна модуляція та OFDM**

В останні роки в телекомунікаційній практиці широко застосовується метод передачі, називаний *багаточастотною модуляцією* (БЧМ). У самому загальному змісті БЧМ означає не що інше, як розподіл символів того самого потоку даних джерела між безліччю паралельно переданих що *піднесуть*. БЧМ є способом розширення спектра за допомогою його безпосереднього формування в частотній області.

Версія БЧМ, коли частотний рознос суміжних що піднесуть $F = W' = 1/T_p$ гарантує ортогональність сигналів субканалів, тобто повне усунення взаємних перешкод між БЧМ субканалами одержала найменування *ортогонального частотного мультиплексування OFDM (orthogonal frequency division multiplexing)*.

Завдання по Темі 7 для рішення в пакетах MATCAD й MATLAB

3.1. Синхронна CDMA система обслуговує 128 користувачів, маючи коефіцієнт розширення $N = 96$. Сигнатури є стовпцями матриці Адамара розміру 128, у якій викреслені 32 рядки. Знайдіть опорні вектори МСКО приймачів всіх користувачів у припущенні рівної інтенсивності користувальницьких сигналів.

3.2. Лінія «униз» МЧМ-ПРС-CDMA системи реалізована з використанням трьох що піднесуть. Дані передаються на кожній поднесущей у форматі БФМ зі швидкістю 32 кбіт/с і коефіцієнтом розширення 64. Захисний частотний інтервал становить $0,5/A$, де A - тривалість чипа сигнатури. Як зміниться потенційне число користувачів при заміні МЧМ-ПРС-CDMA на ПРС-CDMA?

3.3. Потрібно передавати дані у форматі КФМ зі швидкістю 2,88 Мбіт/с по каналі зі смугою когерентності $B_c = 50$ кгц. Знайдіть мінімальне число піднесуть при МЧМ передачі. Яка мінімальна довжина ДПФ в OFDM схемі, якщо частка захисних інтервалів у загальному переданому потоці не повинна перевищувати 10 %?

3.4. Синхронна МЧМ-CDMA лінія «униз» у версії OFDM передає дані у форматі КФМ зі швидкістю 40 кбіт/с по каналі з діапазоном розсіювання по затримці $\tau_{ds} = 10$ мкс. Скільки користувачів вона може обслужити, якщо неспотворені сигнатури ортогональні, а загальна відведена системі смуга становить 5 МГц?

3.5. Припустимо, що n_R антен паралельно приймають сигнал, переданий єдиною антеною, причому інтенсивності всіх прийнятих сигналів однакові, як і незалежних гауссовських шумів, що спотворюють сигнали. Наскільки шенноновская пропускна здатність такого каналу

відрізняється від пропускної здатності каналу без рознесення, якщо приймачу відомі різниці довжин шляхів всіх сигналів?

3.6. Припустимо, що передавач здатний передавати дані через n_d незалежних ідентичних гілок рознесення при фіксованій повній потужності випромінювання. Припустимо, що інтенсивності всіх прийнятих сигналів однакові, як і незалежних гауссовських шумів, що **спотворюють** сигнали, і що приймачу (але не передавачу!) відомі різниці довжин шляхів всіх сигналів. Що краще з погляду пропускної здатності Шеннона: передавати той самий або різні потоки даних по n_d гілках?

3.7. Напишіть і виконайте програму, що ілюструє принципи OFDM модуляції - демодуляції (див. рис.8). Кроки, що рекомендують:

- а) Установите число точок (частот) ДПФ M_c ;
- б) Сформууйте й відобразить на екрані випадкову послідовність M_c бітов джерела;
- в) Обчислите ОДПФ бітового вектора;
- г) Додайте циклічний префікс і визуалізуйте отриманий OFDM символ;
- д) Встановить випадковий профіль запізнювань у каналі, тобто цілочислені затримки в діапазоні до 4-6, релеївські амплітуди й рівномірно розподілені на $[-\pi, \pi]$ фази шляхів, вважаючи всі параметри незалежними друг від друга;
- е) Обчислите й відобразите на екрані OFDM символ, перекручений каналом;
- ж) Видалить префікс і кінцеві (зобов'язаній затримці в каналі) відліки й обчислите ПДПФ отриманого вектора;
- з) Розрахуйте передатну функцію каналу й розділіть на неї отримане раніше ДПФ;
- и) Демодулюйте отримані відліки в біти;
- к) Визуалізуйте демодульовану бітову послідовність і зрівняєте з переданої.

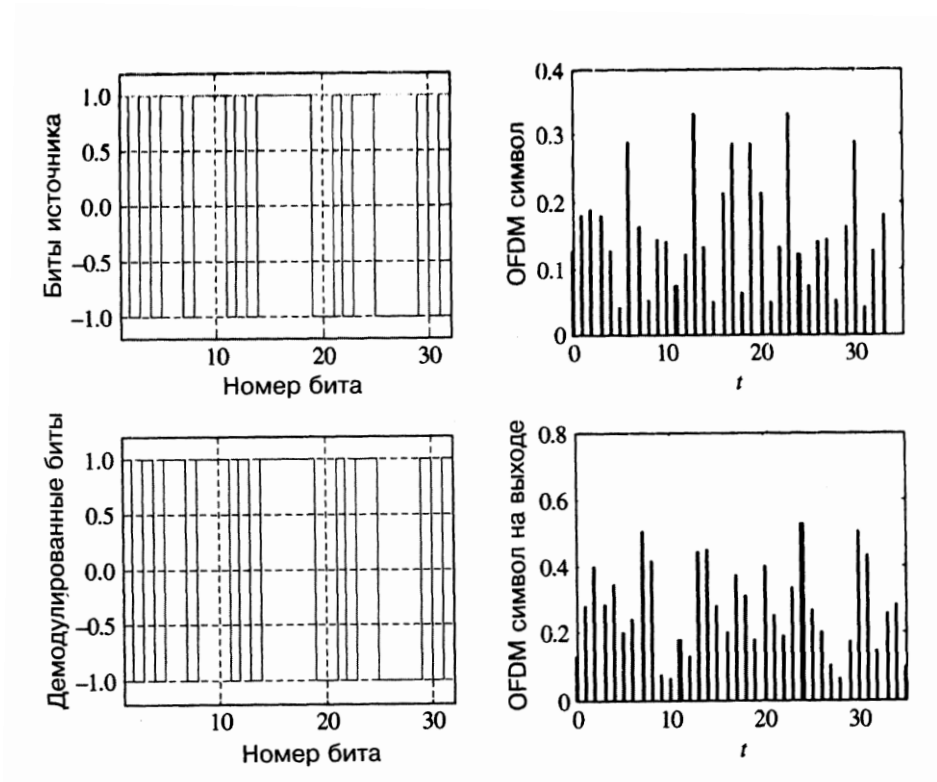


Рис.8. Ілюстрація до моделювання OFDM для $M_c = 32$.

Список літератури

1. Широкополосные системы и кодовое разделение сигналов. Принципы и приложения. В. П. Ипатов. М.: Техносфера, 2007. - 488 с.
2. Широкополосные беспроводные сети передачи информации. В.Вишневский, А.Ляхов, С.Портной, И.Шахнович.М.: Горячая линия, 2005, -596 с.
3. Мультисервисные сети и услуги широкополосного доступ. А.Т., Гургенидзе, В.И. Кореш В.И. Изд. Наука и Техника, Санкт Петербург, 2003,- 400 с.

Складач
Ст. викладач кафедри РТЛ, к.т.н.

Кременецька Я.А.