

УКРАЇНСЬКА ДЕРЖАВНА АКАДЕМІЯ
ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ

Лисечко Володимир Петрович

УДК 621.391

**МЕТОДИ ФОРМУВАННЯ АНСАМБЛІВ СКЛАДНИХ СИГНАЛІВ ІЗ
ПОКРАЩЕНИМИ ВЗАЄМОКОРЕЛЯЦІЙНИМИ ВЛАСТИВОСТЯМИ ДЛЯ
СИСТЕМ РАДІОЗВ'ЯЗКУ З КОДОВИМ РОЗДІЛЕННЯМ КАНАЛІВ**

05.12.02 – Телекомунікаційні системи та мережі

Автореферат дисертації на здобуття наукового
ступеня кандидата технічних наук

Харків – 2007

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана у Харківському університеті Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Міністерство Оборони України.

Науковий керівник:

кандидат технічних наук, доцент

Харченко Віктор Миколайович, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, доцент кафедри автоматизованих систем управління авіацією

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор

Колпаков Федор Федорович, доктор технічних наук, професор, Національний аерокосмічний університет “ХАІ” ім. М.С.Жуковського, м. Харків, професор кафедри прийому, передачі та обробки сигналів;

кандидат технічних наук, старший науковий

співробітник **Хачатуров Валерій Рубенович**, науково-дослідний інститут радіоелектронної техніки, м. Харків, директор науково-дослідного інституту радіоелектронної техніки.

Провідна установа:

Харківський національний університет радіоелектроніки, кафедра «Телекомунікаційні системи», Міністерство освіти і науки України, м. Харків.

Захист відбудеться «_____» _____ 2007 року о _____ годин на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.820.01 Українській державній академії залізничного транспорту, 61050, м. Харків, вул. Фейєрбаха 7.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Української державній академії залізничного транспорту, 61050, м. Харків, вул. Фейєрбаха 7.

Автореферат розісланий «_____» _____ 2007 р.

Вчений секретар

спеціалізованої вченої ради _____

М.В. Книгавко

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Однією з основних проблем, що виникають при функціонуванні систем передачі інформації з кодовим розділенням каналів є виникнення внутрішньосистемних (взаємних) завад. Ці завади обумовлені неортогональністю сигналів при асинхронній роботі. У системах з кодовим розділенням каналів, що працюють в загальній смузі частот, побудова ортогональних в посиленому сенсі ансамблів сигналів принципово неможлива і використовуються квазіортогональні сигнали. В умовах значного динамічного діапазону рівнів квазіортогональних сигналів, що приймаються в даній точці, бічні пелюстки взаємкореляційних функцій (ВКФ) можуть бути співставлені з рівнем основної пелюстки функції автокореляції корисного сигналу, що створює неприйнятно високий рівень внутрішньосистемних (взаємних) завад. Це визначає актуальність розробки методів формування ансамблів сигналів з поліпшеними взаємкореляційними (ВК) властивостями.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дослідження в дисертаційній роботі проводилися у відповідності з наступними нормативними актами.

1. Концепція Національної програми інформатизації, схвалена Законом України «Про Концепцію Національної програми інформатизації» від 4 лютого в 1998р. № 75/98-ВР.

2. Концепція розвитку зв'язку України до 2010 року, затверджена постановою Кабінету Міністрів України «Про Концепцію розвитку зв'язку України до 2010 року» у від 9 грудня 1999 р. №2238.

3. Концепція створення Державної інтегрованої інформаційної системи забезпечення управління рухомими об'єктами (зв'язок, навігація, спостереження), схвалена розпорядженням Кабінету Міністрів України від 17 липня 2003 р. № 410-р.

4. Концепція наукової роботи в Збройних Силах України, затверджена наказом Міністра оборони України №154 у від 07.05.97 р.

Мета і завдання дослідження. Метою дисертаційної роботи є зменшення внутрішньосистемних завад в системах радіозв'язку з кодовим розділенням каналів за рахунок використання складних сигналів з покращеними взаємкореляційними властивостями на основі кодових послідовностей з мінімальною енергетичною взаємодією. Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити **наукове завдання**, що полягає в побудові ансамблів складних сигналів з покращеними взаємкореляційними властивостями на основі кодових послідовностей з мінімальною енергетичною взаємодією, які забезпечують зменшений рівень внутрішньосистемних завад в системах зв'язку з кодовим розділенням каналів. Для вирішення поставленого завдання необхідно розв'язати наступні часткові завдання:

1. Провести аналіз відомих методів формування ансамблів сигналів для асинхронних систем радіозв'язку з кодовим розділенням каналів. Обґрунтувати вибір шляху покращення взаємкореляційних властивостей складних сигналів.

2. Розробити метод формування кодових послідовностей з мінімальною енергетичною взаємодією і виконати дослідження кореляційних і енергетичних властивостей розроблених послідовностей.

3. Розробити методи формування сигналів на основі виділення ділянок спектру кодових послідовностей з мінімальною енергетичною взаємодією, що дозволяють зменшити рівень внутрішньосистемних завад. Дослідити ансамблеві характеристики одержаних сигналів.

4. Розробити програмну реалізацію алгоритмів формування ансамблів кодових послідовностей з мінімальною енергетичною взаємодією і ансамблів складних сигналів з покращеними взаємкореляційними властивостями на їх основі.

5. Розробити практичні рекомендації по вибору параметрів сигналів, одержаних на основі кодових послідовностей з мінімальною енергетичною взаємодією.

Об'єкт дослідження. Процес формування ансамблів складних сигналів для асинхронних систем радіозв'язку з кодовим розділенням каналів.

Предмет дослідження. Ансамблі складних сигналів, що забезпечують зменшення внутрішньосистемних завад в асинхронних системах радіозв'язку з кодовим розділенням каналів.

Методи дослідження. Дослідження властивостей складних сигналів проведено з використанням методів теорії ймовірностей і статистичної теорії зв'язку. Розробка методу формування послідовностей з мінімальною енергетичною взаємодією і методів формування сигналів з покращеними взаємкореляційними властивостями на їх основі проводилися з використанням методів теорії ймовірностей і теорії множин. Оцінка ефективності одержаних сигналів проведена з використанням методів статистичної теорії зв'язку, теорії ймовірностей і математичної статистики.

Наукова новизна положень, розроблених особисто здобувачем. У ході рішення поставлених завдань були отримані наступні результати.

1. Вперше отримано аналітичний вираз, на основі якого розроблено метод формування ансамблів кодових послідовностей з урахуванням їх енергетичних властивостей, що дозволяє формувати великі ансамблі складних сигналів для систем радіозв'язку з кодовим розділенням каналів і знизити енергетичну взаємодію послідовностей в ансамблі.

2. Одержав подальший розвиток метод формування ансамблів складних сигналів, що відрізняється від відомих виділенням в однаковій смузі частот однакових ділянок спектру різних кодових послідовностей коротких відеоімпульсів з мінімальною енергетичною взаємодією, що дозволяє понизити рівень внутрішньосистемних завад.

3. Одержав подальший розвиток метод формування ансамблів складних сигналів з покращеними взаємкореляційними властивостями, що відрізняється від відомих виділенням ділянок спектру кодових послідовностей з мінімальною енергетичною взаємодією в різних областях частотного спектру з подальшим перенесенням в задану область частот, що дозволяє збільшити об'єм ансамблю.

Практичне значення отриманих результатів досліджень полягає в наступному.

1. Розроблено алгоритм формування ансамблів кодових послідовностей з мінімальною енергетичною взаємодією, що дозволяє зменшити рівень максимальних викидів бічних пелюсток функції взаємної кореляції в 10-15 разів в порівнянні з відомими ансамблями послідовностей, які використовуються у системах зв'язку з кодовим розділенням каналів.

2. Розроблено алгоритми формування ансамблів складних сигналів на основі кодових послідовностей з мінімальною енергетичною взаємодією що дозволяють, в

порівнянні з відомими алгоритмами формування, понизити на 5-15% рівень внутрішньосистемних завад при збільшенні в $10\text{-}10^5$ разів об'єму ансамблю в умовах заданих обмежень.

3. Розроблено програмну реалізацію алгоритмів формування ансамблів кодових послідовностей з мінімальною енергетичною взаємодією і ансамблів складних сигналів з покращеними взаємкореляційними властивостями на їх основі.

4. Розроблено практичні рекомендації по вибору параметрів складних сигналів, одержаних на основі кодових послідовностей з мінімальною енергетичною взаємодією, які дозволяють забезпечити заданий рівень внутрішньосистемних завад.

Отримані результати використані в науково-дослідних роботах «Інтеграція-А» (Харківський національний університет радіоелектроніки, акт реалізації від 21.09.2005), на виробництві при розробці апаратури передачі даних у НТ СКБ «Полісвіт» (акт реалізації від 05.10.2005) та ЦККБ «Протон» (акт реалізації від 02.10.2006)

Особистий вклад здобувача. Основні результати дисертаційної роботи викладені в 7 наукових статтях, опублікованих у наукових виданнях, що входять до переліку ВАК України. У наукових статтях, що опубліковані у співавторстві, здобувачу належить: у роботі [1] автором запропоновано метод боротьби з внутрішньосистемними радіозавадами і алгоритм формування послідовностей з мінімальною енергетичною взаємодією; у роботі [5] автором виконано аналіз взаємкореляційних і енергетичних властивостей складних сигналів з покращеними взаємкореляційними властивостями, сформованих на основі кодових послідовностей коротких відеоімпульсів з мінімальною енергетичною взаємодією, на основі якого розроблені практичні рекомендації по вибору параметрів таких сигналів; у роботі [6] автором розроблено метод визначення параметрів сигналів з покращеними взаємкореляційними властивостями на основі послідовностей з мінімальною енергетичною взаємодією; у роботі [7] автором розглянуто метод формування ансамблів складних сигналів з покращеними взаємкореляційними властивостями шляхом смугової фільтрації послідовностей з мінімальною енергетичною взаємодією, проведені дослідження взаємкореляційних характеристик одержаних сигналів.

Апробація результатів дисертації. Основні результати дисертації доповідалися та були схвалені на наступних науково-технічних конференціях:

- 18 міжнародна науково-практична конференція «Перспективні системи управління на залізничному, промисловому і міському транспорті» (Харків-Алушта, 2005 г.);

- Наукова конференція «Проблеми та перспективи розвитку інформаційних систем і технологій в економіці», Харків, ХНЕУ, 29 листопада 2004 р.;

- Перша науково-технічна конференція Харківського університету Повітряних Сил (Харків, 2005);

- Матеріали IV міжнародної науково-технічної конференції НТУ «ХП» «Проблеми інформатики і моделювання», 2006.

Публікації. Основні результати дисертаційної роботи викладені в 7 наукових статтях, 4 тезах доповідей.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, висновку та додатків. Повний обсяг дисертації складає 141 сторінку, у тому

числі 4 додатка на 24 сторінках, 44 рисунків, 9 таблиць, перелік використаних літературних джерел складається з 126 найменувань на 10 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовується актуальність теми, формулюється мета дисертаційної роботи, вказується наукова новизна, практичне значення та впровадження отриманих результатів.

У **першому розділі** на підставі аналізу літературних джерел, відомих теоретичних положень обговорюються шляхи зменшення рівня внутрішньосистемних завад в системах радіозв'язку із кодовим розділенням каналів.

Проведено аналіз основних характеристик мереж радіозв'язку з кодовим розділенням каналів, а також визначені причини виникнення внутрішньосистемних завад і шляху зменшення їх впливу на роботу радіомереж.

При кореляційному прийомі сигналів, який є оптимальним при дії перешкоди типу «білий шум», рівень внутрішньосистемних завад у момент ухвалення рішення визначається взаємкореляційною функцією j -го сигналу та m -й завади

$$R_{mm}(T) = \int_0^T \dot{U}_j(\tau) U_m(\tau - t) d\tau = \beta_j E_c \rho_{jm}(T), \quad (1)$$

де $\rho_{jm}(T)$ - нормований коефіцієнт взаємної кореляції (ВК), який визначається рівнем бічних пелюсток взаємкореляційної функції (ВКФ);

$$\beta_j = \frac{P_{zj}}{P_c} - \text{перевищення перешкодою сигналу по потужності, де } P_c - \text{потужність}$$

корисного сигналу; P_{zj} – потужність сигналу радіомережі, що заважає.

У загальний випадку, в асинхронно-адресних системах зв'язку з кодовим розділенням каналів

$$\rho_{jm} = \frac{\alpha}{\sqrt{B}}, \quad (2)$$

де $B = \Delta F_c T_c$ - база сигналу; ΔF_c – смуга частот, зайнята сигналом; T_c – тривалість сигналу; α – поправочний коефіцієнт, залежний від виду оцінки і класу сигналу.

Приймаючи рівні внутрішньосистемних завад приблизно однаковими, а число активних абонентів рівним l_a , набудемо середнього значення перевищення завадою сигналу

$$\beta_{cp} = \frac{1}{P_c (l_a - 1)} \sum_{l=1}^{l_a-1} P_{zj}, \quad (3)$$

Тоді відношення енергії сигналу до спектральної щільності потужності сукупності шуму і внутрішньосистемних завад визначається виразом

$$h_{\Sigma}^2 = \frac{1}{\beta_{cp} (l_a - 1) \rho_{jm}} + \frac{1}{E_c / N_0}, \quad (4)$$

де N_0 - спектральна щільність потужності шуму.

Вважаючи, що у момент ухвалення рішення спостерігаються максимальні

викиди бічних пелюсток від кожної ВКФ і враховуючи (1) одержимо

$$h_{\Sigma}^2 = \frac{\sqrt{B}}{\alpha_{\max} \beta_{cp} (l_a - 1)} + \frac{1}{E_c / N_0}, \quad (5)$$

де $\frac{\sqrt{B}}{\alpha_{\max} \beta_{cp} (l_a - 1)}$ - відношення потужностей сигнал/внутрішньосистемної завади.

З виразу (5) витікає, що для систем зв'язку з рівновіддаленими абонентами ($P_c = P_j$ і $\rho_i = \rho_j = 1$) взаємкореляційні властивості відомих класів складних сигналів є прийнятними. Проте, при компактному розташуванні радіоелектронних засобів, коли $\beta_j \gg 1$, ВК властивості сигналів в асинхронно-адресних системах зв'язку з кодовим розділенням каналів необхідно істотно покращувати, оскільки для таких систем добитися ортогональності сигналів в точці практично неможливо. Оскільки існуючі методи не забезпечують зниження максимальних викидів бічних пелюсток ВКФ до необхідного рівня, актуальним є завдання розробки нових методів формування складних сигналів, що забезпечують зменшення рівня внутрішньосистемних завад.

Другий розділ присвячено розробці методу формування кодових послідовностей з мінімальною енергетичною взаємодією, особливістю якого є використання послідовностей коротких відеоімпульсів із псевдовипадкових послідовностей різного типу однакової тривалості, але з різною кількістю елементів; виконано аналіз взаємкореляційних властивостей отриманих послідовностей на основі відомих методів їх оцінки.

Послідовність відеоімпульсів представимо у вигляді

$$u_i(t) = \sum_{k=1}^{n_i} U_{k_i} \text{rect}[t - (k \cdot Q_i - 1) \cdot \tau_u], \quad (6)$$

де $k=1, \dots, n_i$, - кількість імпульсів в i -й послідовності, $i=1, \dots, L$;

U_{k_i} - k -й елемент i -й кодової послідовності, яка приймає значення $[-1, 1]$;

τ_u - тривалість імпульса;

$Q_i = T_i / \tau_u$ - скважність i -й послідовності імпульсів;

T_i - період слідування імпульсів в i -й послідовності;

Функція $\text{rect}[t - (k \cdot Q_i - 1) \cdot \tau_u]$ у виразі (6), має вигляд [1]

$$\text{rect}[t - (k \cdot Q_i - 1) \cdot \tau_u] = \begin{cases} 1 & \text{при } (k \cdot Q_i - 1) \tau_u \leq t \leq k Q_i \tau_u \\ 0 & \text{при } (k \cdot Q_i - 1) \tau_u > t > k Q_i \tau_u \end{cases} \quad (7)$$

Взаємкореляційна функція послідовностей визначається виразом

$$R_{ij}(\tau) = \frac{1}{2\sqrt{E_i E_j}} \int_T u_i(t) u_j(t - \tau) dt, \quad (8)$$

де $u_i(t)$, $u_j(t)$ - i -та і j -та кодові послідовності відеоімпульсів, при цьому $i \neq j$;

E_i і E_j - значення енергій відповідно i -й і j -й послідовностей;

T - інтервал, на якому визначені функції $u_i(t)$ і $u_j(t)$.

Введемо поняття мінімальної подібності двох послідовностей, яка полягає в тому,

що незалежно від часового зсуву можливе співпадання не більше, ніж по одному імпульсу в кожній послідовності. Для виконання цієї умови значення ВКФ i -ї та j -ї послідовностей не повинне перевищувати значення [1]

$$R_{ij}(\tau) \leq \frac{1}{n_i}, \quad (9)$$

де $n_i \leq n_j$ - кількість імпульсів в послідовностях.

У окремому випадку, для послідовностей з однаковою тривалістю, але з різною кількістю елементів ($n_i \neq n_j$), для визначення максимальних викидів бічних пелюстків ВКФ використовуватимемо вираз [1]

$$R_{ij}(\tau) \leq \frac{1}{\sqrt{n_i n_j}}. \quad (10)$$

Кодові послідовності коротких відеоімпульсів, що задовольняють умові мінімальної подібності називатимемо послідовностями з мінімальною енергетичною взаємодією (МЕВ).

Для виконання умов (9), (10) було запропоновано використовувати послідовності відеоімпульсів, які задовольняють наступним вимогам [1]:

- кількість коротких імпульсів (n_i, n_j) в послідовностях $u_j(t)$ повинна бути неоднаковою ($n_i < n_j$);
- тривалість імпульсів в кожній послідовності рівна ($\tau_i = \tau_j$);
- періоди проходження імпульсів (T_i, T_j) в кожній послідовності підібрані таким чином, що $n_i T_i \approx n_j T_j \approx T$, причому скважності кожної послідовності $Q_i > Q_j > 1$, при $n_i < n_j$.

На підставі зазначених обмежень було одержано вираз, згідно якого розраховуються періоди проходження імпульсів в послідовностях, які входять в ансамблі з МЕВ (мінімізованим значенням ВКФ), за заданих умов

$$\lceil T_i \rceil = \frac{T}{n_{\max}} \frac{n_{\max}}{n_i} = T \min \frac{n_{\max}}{n_i}, \quad (11)$$

де $\lceil T_i \rceil$ – значення періоду слідування імпульсів в i -й послідовності $u_i(t)$, округлене вниз до кратного довжині імпульса;

- T – довжина послідовностей ансамбля;

- T_{\min} – період слідування імпульсів в послідовності з максимальною кількістю елементів $n_{\max} u_i(t)$;

- n_i – кількість елементів в послідовності $i=1 \dots L$, ($n_i \neq n_j$, $i \neq j$).

У випадку завдання скважності вираз (11) трансформується у вигляд

$$\lceil T_i \rceil = \frac{Q_{\min} \tau_u n_{\max} (Q_{\min}^{n_{\max}} - n_i)}{n_i (Q_{\min}^{n_{\max}} - n_{\max})} = Q_{\min} \tau_u \frac{n_{\max} Q_{\min}^{-1}}{Q_{\min}^{-1} - n_i}, \quad (12)$$

Метод формування ансамблю послідовностей коротких відеоімпульсів з МЕВ включає виконання таких операцій [1].

1. Визначаються вихідні дані:

- τ_u – тривалість імпульсів послідовностей $u_i(t)$, $i=1, \dots, L$;

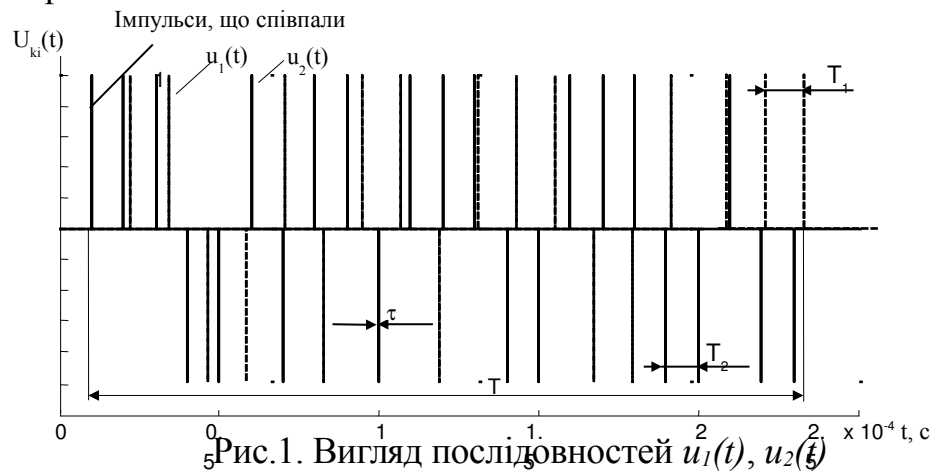
- T – інтервал, на якому визначені функції $u_i(t)$;

- $Q_{\min} = \frac{T}{\tau_u \cdot n_{\max}}$, где Q_{\min} – скважність імпульсів в послідовності з максимальною кількістю елементів n_{\max} ;

- n_i – кількість елементів в послідовності $i=1 \dots L$, ($n_i \neq n_j$, $i \neq j$).

2. Розраховують період слідування імпульсів T_i в i -й послідовності згідно виразу (11) (або 12).
3. Формують L послідовностей $u_i(t)$, де $i=1, \dots, L$.
4. Виконують розрахунок попарних ВКФ для всього ансамблю послідовностей.
5. Виконують перевірку ВКФ сформованих послідовностей ансамблю на виконання умови мінімальної подібності.
6. Якщо умова (10) не виконується, то найменший період слідування T_i для цієї пари послідовностей збільшується на величину тривалості імпульса τ_u , після чого виконуються пункти 3, 4, 5 доти, доки не буде виконано умову (10). При виконанні умови (10), отримані послідовності використовують для формування систем сигналів з МЕВ.

Вид послідовностей $u_1(t)$ і $u_2(t)$, отриманих згідно розробленого методу представлено на рис 2.



З рис. 1 видно, що імпульси різних послідовностей співпадають тільки в одному випадку (перші імпульси у даному випадку).

Визначимо енергію кожної послідовності

$$E_i = n_i \cdot U_i^2 \cdot \tau_u, \quad (13)$$

де n_i – кількість імпульсів в i -й послідовності, τ_u - довжина імпульса, U_i – амплітуди імпульсів i -ї послідовності. Очевидно, що енергії сигналів розрізняються, внаслідок неоднакової кількості імпульсів в кожній послідовності.

На рис. 2 наведено вигляд залежності рівнів максимальних викидів бокових пелюстків взаємкореляційних функцій ансамблю сформованих послідовностей від кількості імпульсів в них для чотирьох послідовностей з $n_1=17$, $n_2=19$, $n_3=21$, $n_4=23$ імпульсами в них. Видно, що ці послідовності задовольняють вимозі (10) та належать до ансамблю з МЕВ.

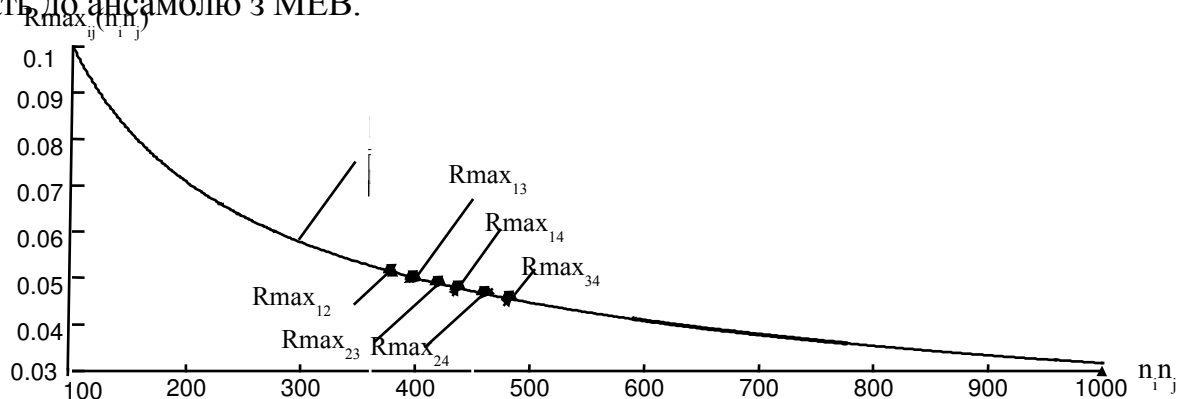


Рис. 2. Залежність рівнів максимальних викидів бічних пелюстків ВКФ від кількості імпульсів в послідовностях з ансамблю з МЕВ.

Однією з найважливіших характеристик сигналів є пік-фактор - відношення максимальної миттєвої потужності до середньої потужності сигналу, коефіцієнт, що характеризує енергетичну ефективність сигналу, у випадку обмежень, які накладаються на максимальну потужність передавача

$$\Pi = \frac{P_{\max}}{P_{cp}}. \quad (14)$$

У ідеальному випадку, пік-фактор безперервного сигналу повинен мати значення близьке до одиниці. З урахуванням прийнятої моделі, сигнал складається з послідовності прямокутних імпульсів.

Оскільки на випромінювання однієї послідовності відводиться час T - тривалість послідовності, а сама послідовність складається з деякого числа імпульсів, то скважність буде

$$Q = \frac{T}{N\tau_u}, \quad (15)$$

де N – кількість імпульсів,

τ_u – тривалість одиночного імпульсу.

Таким чином, середня потужність послідовності буде дорівнювати

$$P_{cp} = \frac{P_u N \tau_u}{T}, \quad (16)$$

максимальна потужність

$$P_{\max} = P_{cp} Q. \quad (17)$$

Із врахуванням виразів (15, 16, 17), значення пік-фактора визначається як

$$\Pi = \frac{P_{cp} Q}{\frac{P_{\max} N \tau_u}{T}} = Q. \quad (18)$$

З аналізу (18) видно, що отримані послідовностей з МЕВ з великою скважністю мають вельми високе значення пік-фактору, значення яких є рівними, що відповідає теоретичним положенням. Хоча енергетичні співвідношення із збільшенням кількості імпульсів в послідовностях (тобто із зменшенням скважності) поліпшуються, значення пік-фактору залишаються достатньо значними, що є незадовільним [2]. Тому, з метою покращення енергетичних характеристик радіомереж з кодовим розділенням каналів при використанні розроблених послідовностей з мінімальною енергетичною взаємодією необхідно або застосовувати передавачі, що працюють в імпульсному режимі, або проводити модифікацію послідовностей, що формуються [3].

Таким чином, було розроблено метод формування ансамблів кодових послідовностей з мінімальною енергетичною взаємодією, що дозволяє формувати послідовності коротких відеоімпульсів з покращеними ВК властивостями. У основі методу лежать вирази (11) або (12), що дозволяють визначити період імпульсів в кожній послідовності ансамблю, що формується. Всі ансамблі з таких послідовностей мають низький рівень внутрішньосистемних завад, який визначається значеннями максимальних

викидів бічних пелюсток ВКФ сигналів, які взаємодіють. Розроблено алгоритм на основі запропонованого методу і виразу, який дозволяє формувати ансамблі кодових послідовностей коротких відеоімпульсів з МЕВ. Аналіз ВК властивостей отриманих послідовностей з МЕВ показав, що вони задовольняють умовам мінімальної подібності, значення максимальних викидів бічних пелюсток ВКФ при цьому зменшуються, (в порівнянні з початковими кодовими послідовностями) в \sqrt{N} раз (10-15 при заданих обмеженнях). Аналіз енергетичних властивостей показав, що розроблені послідовності володіють незадовільними енергетичними властивостями (велике значення пік-фактору), тому для практичного використання в системах зв'язку, традиційно орієнтованих на роботу з обмеженою піковою потужністю, необхідно розробляти методи модифікації одержаних послідовностей з МЕВ. Для застосування розроблених ансамблів послідовностей в існуючих системах передачі необхідно оцінити вплив обмеження спектрів послідовностей з МЕВ на їх характеристики.

Третій розділ присвячено розробці методів формування складних сигналів на основі послідовностей з мінімальною енергетичною взаємодією.

Відомі різні методи формування складних фазоманіпульсованих сигналів з хорошими взаємними кореляційними властивостями, засновані на використанні лінійних і нелінійних рекурентних послідовностей. Дані сигнали мають пік-фактор близький до одиниці навіть після проходження смугових фільтрів тракту передачі. З іншого боку, для таких ансамблів сигналів максимальне значення коефіцієнта взаємної кореляції має порядок

$$\rho_{ij \max} \leq \frac{2 \div 5}{\sqrt{B}}, \quad (19)$$

що не забезпечує захист від внутрішньосистемних завад в умовах значного динамічного діапазону рівнів сигналів, що приймаються, і заважають, унаслідок неортогональності сигналів при їх випадкових часових зсувах щодо один одного.

Пропонується метод формування ансамблів сигналів, який полягає у використанні ділянок спектрів кодових послідовностей коротких відеоімпульсів з МЕВ відфільтрованих в достатньо вузьких однакових смугах частот в одному частотному діапазоні. Даний метод [4] включає виконання кроків:

1. Формують N послідовностей коротких відеоімпульсів з мінімальною енергетичною взаємодією [1].
2. Одержані N послідовностей фільтрують, застосовуючи смугові фільтри із заданими значеннями середньої частоти f_{cpi} і ширина смуги пропускання ΔF .
3. Виконують розрахунок попарних ВКФ для всього ансамблю сигналів.
4. Виконують перевірку ВКФ сформованих послідовностей ансамблю на виконання умови забезпечення заданого рівня максимальних викидів бічних пелюсток.
5. Якщо значення максимальних викидів бічних пелюсток ВКФ сигналів перевищують потрібні те сигнал з аналізованої пари з меншим значенням n - кількістю імпульсів - виключається з ансамблю. Якщо значення бічних пелюсток ВКФ сигналів знаходяться в необхідних межах, то одержані сигнали використовують для формування ансамблю сигналів з покращеними взаємокореляційними властивостями.

Вид ділянки сигналу $s1(t)$, отриманого шляхом обмеження спектру послідовності з ансамблю з мінімальною енергетичною взаємодією з кількістю імпульсів $n=100$ наведено на рис. 3.

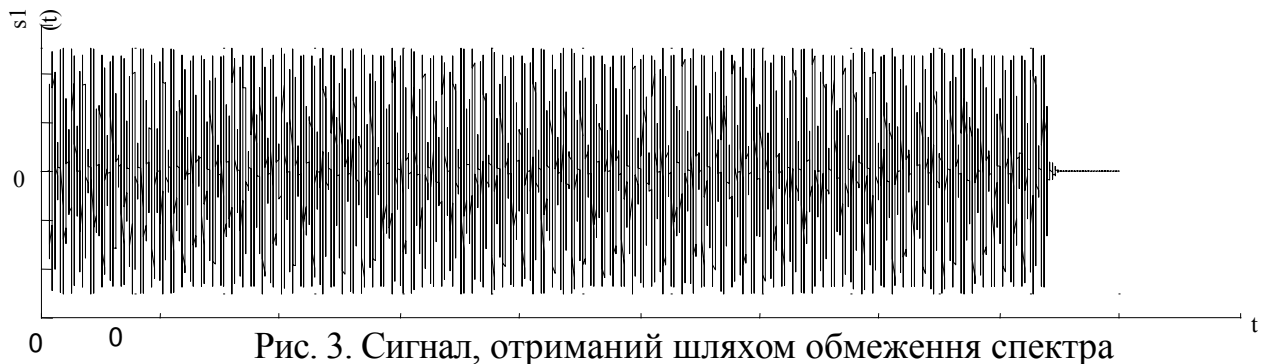


Рис. 3. Сигнал, отриманий шляхом обмеження спектра

З рис. 3 видно, що він має безперервну у часі структуру, на відміну від вихідної послідовності з дискретними імпульсами (рис. 1).

Графік залежності значень математичного очікування максимальних викидів бокових пелюстків ВКФ, залежно від ширини смуги фільтрації сигналу, при значеннях $\alpha = 1,2$ [4] приведені на рис.4.

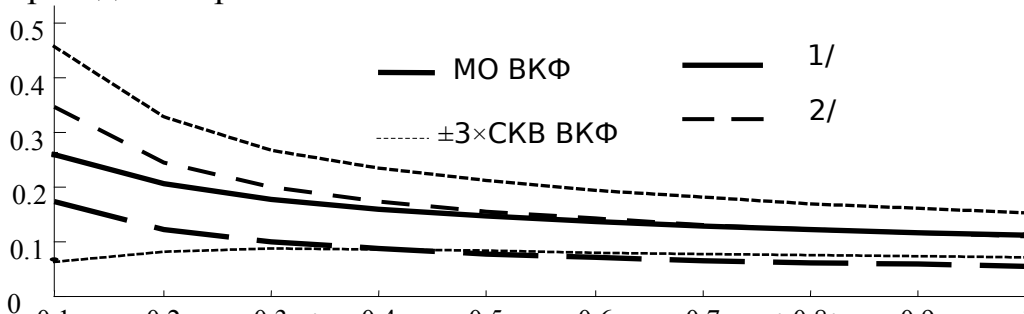


Рис. 4. Математичне очікування максимальних викидів бокових пелюстків ВКФ

З рис. 4 видно, що математичне очікування максимальних викидів бокових пелюстків ВКФ знаходиться в межах, які задовольняють вимозі (19).

Однак, об'єм ансамблю сигналів, отриманих таким методом не перевищує об'єму ансамблю кодових послідовностей з мінімальною енергетичною взаємодією. Тому для отримання ансамблів з більшим об'ємом було виконано ряд експериментів, які підтвердили припущення про те, що при смуговій фільтрації спектрів одних і тих же послідовностей, які належать до ансамблю з мінімальною енергетичною взаємодією, в однаковій смузі частот, але на різних середніх частотах з подальшим перенесенням в одну частотну область, сигнали, одержані таким чином, можуть розрізняються формою настільки, що виконується вимога до їх мінімальної подібності (19). Виникає можливість формування ансамблів сигналів з покращеними ВК властивостями шляхом перенесення ділянок спектрів послідовностей з МЕВ в одну область частот.

Метод формування ансамблів складних сигналів, заснований на застосуванні смугової фільтрації послідовностей з мінімальною енергетичною взаємодією в різних областях частотного діапазону [4] полягає в наступному: сформовані послідовності з МЕВ піддаються смуговій фільтрації з рівними смугами, але на різних середніх частотах. За рахунок цього досягається відмінність форм сигналів, одержаних навіть з однієї і тієї ж послідовності, при цьому виконується умова (19). Метод формування ансамблю сигналів з покращеними взаємодійними властивостями шляхом смугової фільтрації послідовностей коротких відеоімпульсів з мінімальною енергетичною взаємодією і подальшого перенесення одержаних ділянок спектрів в одну

частотну область включає виконання наступних операцій:

1. Формують N послідовностей коротких відеоімпульсів з МЕВ [1].
2. Одержані N послідовностей фільтрують, використовуючи смугові фільтри із заданими значеннями середньої частоти f_{cpi} і ширина смуги пропускання Δf_{npi} в різних частотних діапазонах.
3. Виконують розрахунок попарних ВКФ для всього ансамблю сигналів.
4. Виконують перевірку ВКФ всього ансамблю сигналів на виконання умови забезпечення заданого рівня максимальних викидів бічних пелюсток і рівня пік-фактора.
5. Якщо значення максимальних викидів бічних пелюсток ВКФ сигналів перевищують потрібні, то сигнал з аналізованої пари з меншим значенням n - кількістю імпульсів - виключається з ансамблю. Якщо значення бічних пелюсток ВКФ сигналів не перевищують необхідних значень, то одержані сигнали приймаються для формування ансамблю сигналів з МЕВ.

Залежність значення математичного очікування максимальних викидів бічних пелюсток ВКФ, залежно від ширини спектрів сигналів має вигляд, аналогічний рис. 4, але перевищує наведені значення на 25-35%. Деяке погіршення ВК властивостей отриманих наведеним методом сигналів обумовлено тим, що в ансамбль входять сигнали, отримані з одних і тих самих кодових послідовностей, що належать до ансамблю з МЕВ.

Метод формування ансамблів сигналів на основі виділення ділянок спектрів послідовностей з МЕВ дає можливість формувати ансамблі сигналів з необхідними рівнями максимальних викидів бічних пелюсток ВКФ і необхідними значеннями пік-факторів сигналів ансамблю. Об'єм ансамблю сигналів, одержаних шляхом виділення ділянок спектрів послідовностей з МЕВ не перевищує кількості формуючих кодових послідовностей.

Сигнали, що входять в ансамблі, одержані шляхом виділення ділянок спектрів кодових послідовностей коротких відеоімпульсів з МЕВ в різних областях частотного спектру з подальшим їх перенесенням в одну область частот мають взаємкореляційні властивості, які можна порівняти із властивостями сигналів, одержаних по запропонованому методу, і їх пік-фактор не перевищує заданого значення. При цьому об'єм ансамблю можна збільшити в число разів, рівне кількості використовуваних смуг обмеження спектрів кодових послідовностей з мінімальною енергетичною взаємодією.

У четвертому розділі розроблено спосіб вибору параметрів сигналів на основі кодових послідовностей з мінімальною енергетичною взаємодією, виконано порівняльну оцінку ВК властивостей сигналів, побудованих на основі послідовностей з МЕВ, виконано порівняльну оцінку об'єму ансамблів нелінійних послідовностей, розроблених послідовностей та сигналів на їх основі.

Для практичної реалізації алгоритму формування ансамблів складних сигналів, утворених на основі смугової фільтрації спектрів кодових послідовностей коротких відеоімпульсів з МЕВ [1], необхідно розробити спосіб оптимального вибору наступних параметрів сигналів: ширина смуги фільтрації названих послідовностей, мінімальних значень пік-фактору, при заданих значеннях максимальних викидів бічних пелюсток ВКФ сигналів, а також визначення кількості імпульсів в послідовностях з МЕВ.

Вибору параметрів сигналів відповідає алгоритм із наступною послідовністю дій:

1. Визначають ширину смуги пропускання смугових фільтрів при заданих значеннях максимальних викидів бічних пелюсток ВКФ в залежності ось кількості елементів у взаємодіючих послідовностях.

2. Визначають оптимальні значення пік-фактора і кількість елементів в послідовностях при розрахованій ширині смуги фільтрації.

3. Підбирають ширину смуги фільтрації послідовностей, з урахуванням їх підбору по кількості елементів при необхідних значеннях пік-фактора і максимальних викидів бічних пелюсток ВКФ.

4. Параметри сигналів, визначені при розрахунках, приймаються для формування ансамблів сигналів з покращеними взаємними кореляційними властивостями.

На рис. 5 та 6 представлені результати розрахунків, що дозволяють залежно від характеру вирішуваної задачі обґрунтовано вибрати параметри сигналів, що забезпечують необхідні ВК властивості та енергетичні характеристики.

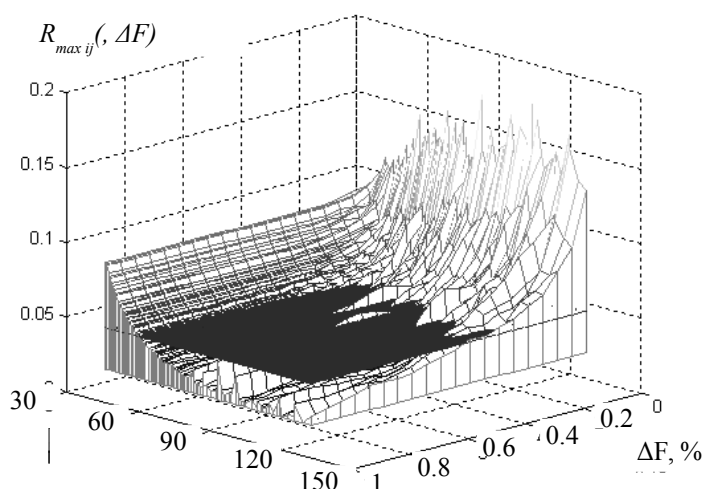


Рис. 5. Визначення оптимальної смуги обмеження спектрів послідовностей з МЕВ

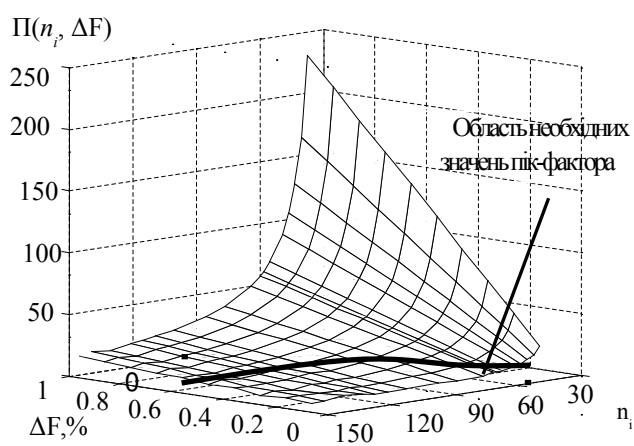


Рис. 6. Залежність пік-фактора сигналів від кількості імпульсів в послідовностях з МЕВ та смуги обмеження спектрів

Взаємкореляційні властивості розроблених послідовностей з МЕВ і сигналів на їх основі порівнювалися при однакових швидкостях передачі з взаємкореляційними властивостями відомими сигналів: нелінійних послідовностей, М-послідовностей, багатofазних сигналів. Результати аналізу представлені в табл. 1.

Таблиця 1

Значення максимальних викидів бічних пелюсток ВКФ для різних сигналів

N (кількість символів в послідовностях)	Значення максимальних викидів бічних пелюсток ВКФ $R_{ij \max}$					
	Нелінійні послідовності	М-послідовності	Багатofазні сигнали	Послідовності з мінімальною енергетичною взаємодією	Сигнали, на основі смугової фільтрації послідовностей з МЕВ	Сигнали, на основі смугової фільтрації послідовностей з МЕВ в різних смугах частот

		$(1,9\div 6)/\sqrt{N}$	Rmax	$1/\sqrt{n_i n_j}$	$1\div 3/\sqrt{B}$	$2\div 4/\sqrt{B}$
16	0.1250	0.4906	0.088	0.0667	0.1131	0.1204
32	0.0938	0.3413÷	0.059	0.0323	0.0831	0.0902
64	0.0781	0.2375÷	0.041	0.0156	0.0642	0.0727
256	0.0625	0.1187÷	0.021	0.0039	0.0364	0.0492

З табл. 1 видно, що розроблені послідовності коротких відеоімпульсів з МЕВ мають кращі взаємкореляційні властивості при рівному об'ємі ансамблю - рівень максимальних викидів бічних пелюсток функцій взаємної кореляції послідовностей коротких відеоімпульсів з МЕВ в менше ніж у відомих сигналів. Рівень максимальних викидів бічних пелюсток функцій взаємної кореляції сигналів, одержаних на основі послідовностей коротких відеоімпульсів з МЕВ на 5-15% менше аналогічних показників інших сигналів, окрім багатофазних сигналів.

Відомо, що середнє значення об'єму великої системи сигналів L_{cp} , при якому об'єм значно більше бази сигналу, визначається як

$$L_{cp} \geq C(\alpha) \frac{n^{\alpha-1}}{[\ln(an)]^{3/2}} \quad (20)$$

де $C(\alpha) = 3\pi^{1/2} a^{-\alpha} 2^{-2} \alpha^{3/2}$; n – кількість імпульсів в послідовностях; $a \approx 1,6$.

Приймаючи значення тривалості сигналу рівним $T_c = 0.000875$ с, а тривалість імпульсів $\tau_u = 10$ нс, і використовуючи результати, одержані в [1-7], будемо вважати, що смуга фільтрації рівна 0,1% від ширини основної пелюстки спектру послідовності з МЕВ. При цьому, здійснюється смугова фільтрація в різних смугах частот з подальшим перенесенням одержаних сигналів в загальну область частот. Очевидно, що таких смуг фільтрації можна реалізувати до 1000. Позначимо коефіцієнт використання частотного спектру буквою k , значення якого дорівнює числу смуг фільтрації. Визначимо, що кількість послідовностей коротких відеоімпульсів, яку можна одержати з однієї кодової послідовності N , наприклад з ансамблю нелінійних послідовностей, дорівнює 50. Такі послідовності задовольняють вимозі (19) і відносяться до ансамблю послідовностей з МЕВ. Використовуючи всі послідовності ансамблю для формування сигналів, можна набути значення об'єму

$$L = N_{nn} N \cdot k = N_{nn} N \frac{\Delta F}{\Delta f} \quad (21)$$

де ΔF - ширина основної пелюстки спектру послідовності з МЕВ;

Δf - ширина смуги фільтрації послідовностей.

Приймаючи кількість імпульсів в послідовностях $n=40\dots 9000$, $\alpha=3$ $k=1000$, $N=50$ були визначені значення об'єму ансамблів сигналів, одержаних шляхом смугової фільтрації кодових послідовностей з МЕВ і середнім значенням об'єму великої системи сигналів. При цьому враховувалося, що сигнали на основі послідовностей з МЕВ мають неоднакову кількість імпульсів в кодових послідовностях [1]. Тому, дослідження залежності об'єму ансамблю таких сигналів виконувалося при зміні середнього квадратичного значення кількості імпульсів в послідовностях [7]. У табл. 2 наведено результати розрахунків об'єму сигналів на основі послідовностей з МЕВ в порівнянні з нелінійними послідовностями, а на рис. 7 представлений вид таких залежностей.

Таблиця 2

Об'єм ансамблю нелінійних послідовностей і сигналів на основі смугової фільтрації послідовностей з МЕВ на їх основі

n	40	100	256	1032	2088	9000;
$L_{нл}$	3.8×10^3	8×10^3	1.3×10^8	1.5×10^8	5.4×10^8	8×10^9 ;
$L_{МЕВ}$	1.9×10^9	4.0×10^9	7.5×10^{12}	6.5×10^{13}	2.7×10^{14}	4.0×10^{15}

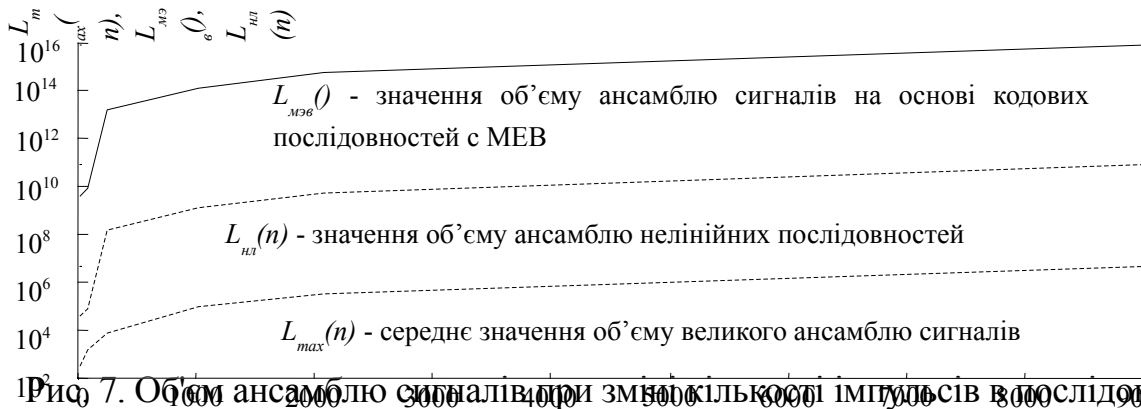


Рис. 7. Об'єм ансамблю сигналів при зміні кількості імпульсів в послідовностях

З табл. 2 і рис. 7 видно, що об'єм ансамблю сигналів на основі послідовностей з МЕВ задовольняє вимозі до великого ансамблю (20) і значною мірою перевищує значення об'єму ансамблю нелінійних послідовностей за інших рівних умов.

Крім того, враховуючи, що твірними послідовностями для отримання таких сигналів є нелінійні послідовності з достатньо великими об'ємами ансамблів, можна стверджувати, що об'єм ансамблю сигналів, одержаних на основі послідовностей з МЕВ, перевищуватиме об'єм ансамблю нелінійних послідовностей в Nk раз. Те ж можна віднести і до формування ансамблів сигналів на основі послідовностей з мінімальною енергетичною взаємодією, використовуючи як твірні кодові послідовності інших типів, наприклад: М-послідовності, послідовності Голда, Френка та ін.

Проведений аналіз показує, що ансамблі сигналів, одержаних шляхом смугової фільтрації послідовностей з МЕВ мають об'єм, який за інших рівних умов відрізняється від початкових послідовностей, тобто пропорційний кількості смуг фільтрації і прийнятій кількості послідовностей з МЕВ. Це означає, що зменшення тривалості імпульсів в послідовностях з МЕВ (розширення ширини спектру основної пелюстки) приведе до можливості збільшення кількості смуг фільтрації і, відповідно до збільшення об'єму ансамблю сигналів при однакових взаємокореляційних і інших характеристиках сигналів. Проведені дослідження ансамблевих властивостей сигналів з покращеними кореляційними властивостями, одержаних шляхом смугової фільтрації кодових послідовностей з МЕВ показали, що вони мають значно більший об'єм ансамблю, ніж існуючі складні сигнали, вживані в системах радіозв'язку з кодовим розділенням каналів. Це дозволяє будувати системи радіозв'язку з кодовим розділенням каналів з низьким рівнем внутрішньосистемних завад.

У додатках представлено результати моделювання й програмна реалізація алгоритмів формування кодових послідовностей з мінімальною енергетичною взаємодією та сигналів на їх основі, які реалізовані в системі математичного моделювання MATLAB 6.5.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі вирішене наукове завдання, яке полягає в розробці

методів формування ансамблів складних сигналів з покращеними взаємокореляційними властивостями. В ході дисертаційних досліджень були отримані наступні результати:

1. Аналіз особливостей функціонування існуючих радіосистем з кодовим розділенням каналів показав, що одними з основних завад в таких системах є внутрішньосистемні завади. На фізичному рівні це обумовлено застосуванням складних сигналів з незадовільними взаємокореляційними властивостями, що взаємодіють в одному частотному діапазоні. Вимоги по завадостійкості до радіомереж з кодовим розділенням каналів обумовлюють необхідність застосування нових сигнальних конструкцій з покращеними кореляційними і ансамблевими властивостями.

2. Проведені дослідження показали, що в радіомережах з кодовим розділенням каналів доцільно використовувати сигнали на основі послідовностей з мінімальною енергетичною взаємодією.

3. Вперше одержано аналітичний вираз, що дозволяє визначити період проходження імпульсів в кодових послідовностях, яке використовується для формування ансамблів кодових послідовностей з МЕВ.

4. Вперше запропоновано метод формування ансамблів кодових послідовностей, який дозволяє мінімізувати енергетичну взаємодію послідовностей в ансамблі.

5. Одержав подальший розвиток метод формування ансамблів складних сигналів, що відрізняється від відомих виділенням в однаковій смузі частот однакових ділянок спектру різних кодових послідовностей коротких відеоімпульсів з мінімальною енергетичною взаємодією, що дозволяє понизити рівень внутрішньосистемних завад.

6. Одержав подальший розвиток метод формування ансамблів складних сигналів з покращеними взаємокореляційними властивостями, що відрізняється від відомих виділенням ділянок спектру кодових послідовностей з МЕВ в різних областях частотного спектру з подальшим перенесенням в задану область частот, що дозволяє збільшити об'єм ансамблю.

7. Розроблено алгоритм, що дозволяє зменшити в рівень максимальних викидів бічних пелюсток функції взаємної кореляції кодових послідовностей з МЕВ в порівнянні з початковими псевдовипадковими послідовностями з N кількістю символів в \sqrt{N} разів.

8. Розроблено алгоритми формування ансамблів складних сигналів на основі кодових послідовностей з мінімальною енергетичною взаємодією що дозволяють, в порівнянні з відомими алгоритмами формування, понизити на 5-15% рівень внутрішньосистемних завад при збільшенні в $10-10^5$ разів об'єму ансамблю сигналів.

9. Розроблено програмну реалізацію алгоритмів формування ансамблів кодових послідовностей з МЕВ і ансамблів складних сигналів з покращеними взаємокореляційними властивостями на їх основі.

10. Розроблено практичні рекомендації по вибору параметрів складних сигналів, одержаних на основі кодових послідовностей з мінімальною енергетичною взаємодією для забезпечення заданого рівня внутрішньосистемних завад.

Отримані результати використані в науково-дослідних роботах. Одержані акти реалізації результатів досліджень при проведенні науково-дослідних робіт і на виробництві.

Результати, одержані в роботі, носять самостійне значення і можуть бути

використані як для модернізації існуючих систем радіозв'язку з кодовим розділенням каналів, так і при створенні перспективних спеціалізованих радіомереж з кодовим розділенням каналів.

ПУБЛІКАЦІ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. *Лысечко В.П., Харченко В.Н.* Метод борьбы с внутрисистемными радиопомехами // Системи обробки інформації. – Х.: ХВУ. –2004. – Вип. 2. – С.232-237.
2. *Лысечко В.П.* Метод определения параметров сложных сигналов // Системи обробки інформації. – Х.: ХВУ. –2004. – Вип. 7. – С.131-136.
3. *Лысечко В.П.* Метод формирования ансамблей сложных сигналов, основанный на полосовой фильтрации последовательностей с минимальным энергетическим взаимодействием // Інформаційно – керуючі системи на залізничному транспорті. – Х.: УДАЗТ. – 2005. – Вип. 6 (56). – С.25-28.
4. *Лысечко В.П.* Метод формирования ансамблей сложных сигналов на основе последовательностей с минимальным энергетическим взаимодействием // Системи озброєння і військова техніка. – Х.: ХУПС. – 2005. - Вип.. № 1 (1) – С.65-68.
5. *Северинов А.В., Лысечко В.П., Жученко А.С, Семеренко Ю.О.* Анализ взаимокорреляционных и энергетических свойств сложных сигналов // Інформаційно – керуючі системи на залізничному транспорті. – Х.: УДАЗТ. – 2006. – Вип. 3 (59). – С.58-61.
6. *Харченко В.Н., Яковлев М.Ю., Лысечко В.П.* Анализ свойств сложных сигналов // Системи обробки інформації. – Х.: ХВУ. –2004. – Вип. 9(37). – С.190-195.
7. *Северинов А.В., Лысечко В.П., Жученко А.С.* Анализ ансамблевых свойств сложных сигналов // Системи обробки інформації. – Х.: ХУПС ім.. І. Кожедуба. – 2006. – Вип. 5 (54). – С.105-108.
8. *Лысечко В.П.* Метод синтеза ансамблей сложных сигналов с улучшенными взаимокорреляционными свойствами // Управління розвитком. Проблеми та перспективи розвитку інформаційних систем і технологій в економіці. Збірник наукових статей. – Х.: ХНЕУ. – 2004. – Вип. №2 (спецвипуск).– С. 17-18.
9. *Лысечко В.П.* Метод построения больших ансамблей сложных сигналов с улучшенными взаимокорреляционными свойствами для систем радиосвязи с кодовым разделением каналов // Матеріали 18 міжнародної науково-практичної конференції „Перспективні системи управління на залізничному, промисловому й міському транспорті”. – Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2005.– №5 – С. 95.
10. *Лысечко В.П., Жученко О.С., Семеренко Ю.О.* Ансамблевые свойства сложных сигналов на основе последовательностей с минимальным энергетическим взаимодействием // Матеріали II наукової конференції Харківського університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, 15-16 лютого 2006 року. – Програма конференції та тези доповідей. – Х.: ХУ ПС. – 2006. – С. 85.
11. *Лысечко В.П., Харченко В.Н.* Метод выбора параметров сигналов с улучшенными взаимокорреляционными свойствами // Проблеми інформатики і моделювання. Матеріали IV міжнародної науково-технічної конференції Х.

НТУ «ХП»: Програма конференції та тези доповідей. – Х.: НТУ «ХП». – 2006. – С. 40.

АНОТАЦІЯ

Лисечко В.П. Методи формування ансамблів складних сигналів із покращеними взаємкореляційними властивостями для систем радіозв'язку з кодовим розділенням каналів. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.12.02 – Телекомунікаційні системи та мережі. – Українська державна академія залізничного транспорту, Харків, 2007.

Дисертаційна робота присвячена розробці методів формування ансамблів складних сигналів з покращеними взаємкореляційними властивостями, які застосовуються в системах радіозв'язку з кодовим розділенням каналів з метою зменшення внутрішньосистемних завад. Ансамблі складних сигналів з покращеними взаємкореляційними властивостями формуються на основі розроблених ансамблів кодових послідовностей з мінімальною енергетичною взаємодією. Мінімальна енергетична взаємодія досягається шляхом відповідного розташування імпульсів в кодових послідовностях на часовій осі..

Ключові слова: внутрішньосистемна завада, кодові послідовності, складні сигнали, максимальні викиди бічних пелюстків функції взаємної кореляції, пік-фактор, скважність, об'єм ансамбля.

АННОТАЦИЯ

Лысечко В.П. Методы формирования ансамблей сложных сигналов с улучшенными взаимокорреляционными свойствами для систем радиосвязи с кодовым разделением каналов. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.12.02 – Телекоммуникационные системы и сети. – Украинская государственная академия железнодорожного транспорта, Харьков, 2007.

Диссертационная работа посвящена уменьшению внутрисистемных помех в системах радиосвязи с кодовым разделением каналов за счет использования сложных сигналов с улучшенными взаимокорреляционными свойствами на основе кодовых последовательностей с минимальным энергетическим взаимодействием.

Одной из основных проблем, возникающих при функционировании систем передачи информации с кодовым разделением каналов является возникновение внутрисистемных (взаимных) помех. Эти помехи обусловлены неортогональностью сигналов при асинхронной работе. В системах с кодовым разделением каналов, работающих в общей полосе частот, построение ортогональных в усиленном смысле ансамблей сигналов принципиально невозможно и используются квазиортогональные сигналы. В условиях значительного динамического диапазона уровней принимаемых в данной точке квазиортогональных сигналов, боковые лепестки взаимокорреляционных функций (ВКФ) могут быть соизмеримы с уровнем основного лепестка функции

автокорреляции полезного сигнала, что создает неприемлемо высокий уровень внутрисистемных (взаимных) помех. Это определяет актуальность разработки методов формирования ансамблей сигналов с улучшенными взаимокорреляционными свойствами.

Условие минимального энергетического взаимодействия (МЭВ) видеопоследовательностей коротких импульсов определяется значением максимальных выбросов боковых лепестков апериодической функции взаимной корреляции. При этом будем использовать последовательности видеоимпульсов, которые удовлетворяют следующим требованиям: количество коротких импульсов в последовательностях является неодинаковым, но близким по значению, длительности импульсов в каждой последовательности равны, периоды следования импульсов в каждой последовательности подобраны таким образом, что скважности каждой последовательности значительно больше 1.

Была получена формула, согласно которой рассчитываются периоды следования импульсов. Период следования импульсов определяется максимальным количеством импульсов в кодовых последовательностях, их длительностью и скважностью.

Разработан алгоритм, реализующий формирование кодовых последовательностей с МЭВ. Минимальное энергетическое взаимодействие может быть обеспечено для любой формы кодовых последовательностей при соответствующем выборе их периода. При этом от выбора кодовых последовательностей взаимокорреляционные свойства не зависят. В то же время, автокорреляционные свойства сигналов определяются автокорреляционными свойствами кодовых последовательностей.

Для исследования ВК свойств разработанных последовательностей была разработана методика, основанная на анализе статистических характеристик уровней максимальных выбросов боковых лепестков взаимокорреляционных функций взаимодействующих сигналов.

С целью улучшения энергетических характеристик радиосетей с кодовым разделением каналов при использовании разработанных последовательностей с МЭВ необходимо либо применять передатчики, работающие в импульсном режиме, либо производить модификацию формируемых последовательностей. Современные средства радиосвязи традиционно ориентированы на использование передатчиков с ограниченной пиковой мощностью. Поэтому было принято решение о разработке методов модификации полученных псевдослучайных последовательностей с МЭВ.

Модификацию псевдослучайных последовательностей с минимальным энергетическим взаимодействием можно производить, применяя частотное ограничение спектров последовательностей путем их полосовой фильтрации.

Методы формирования ансамблей сигналов, сформированных на основе использования участков спектров псевдослучайных последовательностей коротких видеоимпульсов с минимальным энергетическим взаимодействием основаны на выделении достаточно узких одинаковых полос спектров последовательностей в одном частотном диапазоне или в различных областях частотного спектра с последующим переносом в общую область частот.

Применение сложных сигналов с улучшенными взаимокорреляционными свойствами, полученных на основе полосовой фильтрации спектров кодовых последовательностей коротких видеоимпульсов с минимальным энергетическим

взаимодействием в системах радиосвязи множественного доступа дает возможность значительно снизить уровень внутрисистемных помех. Это достигается за счет уменьшения значений боковых лепестков взаимокорреляционных функций полученных сигналов.

Ключевые слова: внутрисистемная помеха, кодовые последовательности, сложные сигналы, максимальные выбросы боковых лепестков функции взаимной корреляции, пик-фактор, скважность, объем ансамбля.

ABSTRACT

Lysechko V.P. Methods of forming ensembles of aggregate signals with the improved mutual correlation properties for radio communication systems with a code channel division. - the Manuscript.

The thesis for candidate degree of the technical science competition by specialty 05.12.02 – Telecommunication systems and networks. – the Ukrainian state academy of a railway transportation, Kharkov, 2007.

Dissertatin work is devoted to development of methods of formation of ensembles of aggregate signals with improved mutual correlation properties which are applied in systems of a radio communication with code division of channels with the purpose of reduction of intrasystem handicapes. Ensembles of aggregate signals with improved mutual correlation properties are formed on the basis of the developed ensembles of code sequences with the minimal power interaction. The minimal power interaction is reached by a corresponding arrangement of pulses in code sequences on a timebase.

Key words: an intrasystem handicap, code sequences, an aggregate signals, the maximal emissions of lateral petals of function of mutual correlation, the peak - factor, porosity, volume of ensemble.

Підписано до друку 15.03.2007 р.
Формат 60x84 1/16 Папір друк. офсетний
Друк. ризограф Умов. друк. арк. 0,9
Тираж 100 прим. Ціна договірна.

61166, м. Харків, просп. Леніна, 36, оф. 420
Тел. (057)717-60-02, 717-58-26
