

**Міністерство освіти і науки України
Національний технічний університет
«Дніпровська політехніка»**

**Інститут електроенергетики
Факультет інформаційних технологій
Кафедра безпеки інформації та телекомунікацій**

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
кваліфікаційної роботи ступеню бакалавра**

студента Радінович Іван Олегович

академічної групи Ткіт-15-1

спеціальності 6.050903 Телекомунікації

спеціалізації¹ _____

за освітньо-професійною програмою _____

на тему Організація системи зв'язку з використанням вейвлет-функцій

Шеннона

Керівники	Прізвище, ініціали	Оцінка за шкалою		Підпис
		рейтинговою	інституційною	
кваліфікаційної роботи	к.т.н., доц. Герасіна О.В.			
розділів:				
спеціальний	к.т.н., доц. Герасіна О.В.			
економічний	к.е.н., доц. Романюк Н.М.			
Рецензент				
Нормоконтролер	к.ф.-м.н., проф. Гусєв О.Ю.			

Дніпро
2019

ЗАТВЕРДЖЕНО:
завідувач кафедри
безпеки інформації та телекомунікацій
_____ д.т.н., проф. Корнієнко В.І.

« _____ » _____ 20__ року

ЗАВДАННЯ
на кваліфікаційну роботу
ступеня бакалавра

студенту _____ *Радінович Іван Олегович* _____ академічної групи *TKim-15-1*
(прізвище ім'я по-батькові) (шифр)

спеціальності _____ *6.050903 Телекомунікації* _____
(код і назва спеціальності)

на тему _____ *Організація системи зв'язку з використанням вейвлет-функцій* _____
Шеннона

затверджену наказом ректора НТУ «Дніпровська політехніка» від _____ № _____

Розділ	Зміст	Термін виконання
Розділ 1	Аналіз підходів до застосування шумоподібних сигналів в системах зв'язку, а також основних структурних схем широкосмугових систем зв'язку.	03.09.2018 – 31.12.2018
Розділ 2	Розробка підходу до організації завадостійкого зв'язку з використанням вейвлет-функцій Шеннона та оцінка його ефективності шляхом моделювання в середовищі Matlab.	01.01.2019 – 30.04.2019
Розділ 3	Розрахунок трудомісткості та капітальних витрат на організацію системи зв'язку з використанням вейвлет-функцій Шеннона.	01.05.2019 – 09.06.2019

Завдання видано _____
(підпис керівника)

Герасіна О.В.
(прізвище, ініціали)

Дата видачі: _____

Дата подання до екзаменаційної комісії: _____

Прийнято до виконання _____
(підпис студента)

Радінович І.О.
(прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 70 с., 33 рис., 3 табл., 4 додатки, 25 джерел.

Об'єкт розробки – широкосмугові системи зв'язку.

Предмет розробки – система зв'язку з використанням вейвлет-функцій Шеннона.

Мета кваліфікаційної роботи – підвищення завадостійкості системи зв'язку шляхом формування в ній вейвлет модульованих сигналів з підвищеною завадозахищеністю та розширеним спектром.

Наукова новизна результатів полягає у модулюванні кожного біта псевдовипадкової послідовності Голда вейвлет-функцією Шеннона зі змінними значеннями параметрів смуги частот і центральної частоти, які не повторюються для всіх елементів протягом всієї послідовності Голда.

У першому розділі проаналізовано підходи до застосування шумоподібних сигналів в системах зв'язку та основні структурні схеми широкосмугових систем зв'язку.

У спеціальній частині роботи запропоновано підхід до організації завадостійкого зв'язку з використанням вейвлет-функцій Шеннона і шляхом моделювання в програмному середовищі Matlab оцінено його ефективність. За наслідками досліджень зроблено висновки щодо рішення поставленої задачі.

У економічному розділі виконані розрахунки трудомісткості та капітальних витрат на організацію системи зв'язку з використанням вейвлет-функцій Шеннона.

ВЕЙВЛЕТ, ШИРОКОСМУГОВИЙ СИГНАЛ, ЗВОРОТНИЙ ЗВ'ЯЗОК, МОДУЛЯЦІЯ, АДАПТИВНИЙ, ЗАВАДОСТІЙКІСТЬ, ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

РЕФЕРАТ

Пояснительная записка 70 с., 33 рис., 3 табл., 4 приложения, 25 источников.

Объект разработки – широкополосные системы связи.

Предмет разработки – система связи с использованием вейвлет-функций Шеннона.

Цель квалификационной работы – повышение помехоустойчивости системы связи путем формирования в ней вейвлет модулированных сигналов с повышенной помехозащищенностью и расширенным спектром.

Научная новизна заключается в модулировании каждого бита псевдослучайной последовательности Голда вейвлет-функцией Шеннона с переменными значениями параметров полосы частот и центральной частоты, которые не повторяются для всех элементов на протяжении всей последовательности Голда.

В первой главе проанализированы подходы к применению шумоподобных сигналов в системах связи и основные структурные схемы широкополосных систем связи.

В специальной части работы предложен подход к организации помехоустойчивого связи с использованием вейвлет-функций Шеннона и путем моделирования в программной среде Matlab оценена его эффективность. По результатам исследований сделаны выводы относительно решения поставленной задачи.

В экономическом разделе выполнены расчеты трудоемкости и капитальных затрат на организацию системы связи с использованием вейвлет-функций Шеннона.

ВЕЙВЛЕТ, ШИРОКОПОЛОСНЫЙ СИГНАЛ, ОБРАТНАЯ СВЯЗЬ, МОДУЛЯЦИЯ, АДАПТИВНЫЙ, ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТЬ, ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

ABSTRACT

Explanatory note: p. 70, fig. 33, tab. 3, 4 additions, 25 sources.

Development object is the broadband communication systems.

Subject of development is the communication system using Shannon wavelet functions.

The purpose of qualifying work is to improve the noise immunity of the communication system by forming in it a wavelet of modulated signals with increased noise immunity and spread spectrum.

The scientific novelty of the results consists in modulating each bit of the Gold pseudo-random sequence with the Shannon wavelet function with variable values of the frequency band and center frequency parameters that are not repeated for all elements throughout the entire Gold sequence.

The first chapter analyzes the approaches to the use of noise-like signals in communication systems and the basic structural diagrams of broadband communication systems.

In the special part of the work, an approach to the organization of noise-resistant communication using the Shannon wavelet functions is proposed and its efficiency is estimated by means of modeling in the Matlab software environment. According to the results of research, conclusions are made regarding the solution of the problem.

In the economic section, calculations of labor intensity and capital costs of organizing a communication system using the Shannon wavelet functions are performed.

WAVELET, BROADBAND SIGNAL, FEEDBACK, MODULATION, ADAPTIVE, NOISE STABILITY, IMITATION MODELING

СПИСОК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

- ААСЗ – Асинхронна адресна система зв'язку;
АКФ – Автокореляційна функція;
АМ – Амплітудна модуляція;
ЕМС – Електромагнітна сумісність;
ПВП – Псевдовипадкова послідовність;
ССРЗ – Стільникова система рухомого зв'язку;
ЧМ – Частотна модуляція;
ШІМ – Широтно-імпульсна модуляція;
ШПС – Шумоподібний сигнал;
ШСЗ – Широкопasmугова система зв'язку;
ФАПЧ – Фазове автопідстроювання частоти;
ФМ – Фазова маніпуляція;
ФМ-2 – Двійкова фазова маніпуляція.

ЗМІСТ

	с.
ВСТУП.....	9
1 СТАН ПИТАННЯ. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ.....	11
1.1. Застосування шумоподібних сигналів в системах зв'язку.....	11
1.1.1 Визначення шумоподібних сигналів і широкосмугових систем зв'язку	11
1.1.2 Завадозахищеність та завадостійкість широкосмугових систем зв'язку	12
1.1.3 Скритність системи зв'язку	15
1.1.4 Кодове розділення абонентів	17
1.1.5 Боротьба з багатолучевістю	20
1.1.6 Вимірювання координат рухомих об'єктів.....	23
1.1.7 Електромагнітна сумісність	24
1.1.8 Основні структурні схеми широкосмугових систем зв'язку	26
1.2 Існуючі способи формування та обробки складних сигналів в завадозахищених радіосистемах	34
1.3 Висновок. Постановка задачі.....	38
2 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА.....	40
2.1 Алгоритми формування вейвлет модульованих широкосмугових сигналів	40
2.2 Організація завадостійкого зв'язку з використанням вейвлет-функцій Шеннона	44
2.3 Порівняльний аналіз ймовірності похибки в каналі зв'язку під час використання вейвлет модульованих сигналів.....	51
2.4 Висновок	56
3 ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗДІЛ.....	58
3.1 Визначення трудомісткості організації системи зв'язку з використанням вейвлет-функцій Шеннона	58
3.2 Розрахунок капітальних витрат на організацію системи	

	8
зв'язку з використанням вейвлет-функцій Шеннона.....	59
3.3 Висновок	61
ВИСНОВКИ.....	62
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	64
ДОДАТОК А. Відомість матеріалів кваліфікаційної роботи	67
ДОДАТОК Б. Перелік документів на оптичному носії.....	68
ДОДАТОК В. Відгук керівника економічного розділу.....	69
ДОДАТОК Г. Відгук керівника кваліфікаційної роботи	70

ВСТУП

Інтенсивний розвиток систем зв'язку різного призначення в умовах сильної завантаженості частотного діапазону призводить до необхідності розробки нових типів сигналів. Наразі, почастишали випадки несанкціонованого використання ресурсів систем зв'язку [1, 2]. Для боротьби з цими негативними факторами постійно ведеться доопрацювання наявних і формування нових типів сигналів. Згідно з вимогами, що пред'являються до нових сигналів, вони повинні володіти такими властивостями:

- здатністю протистояти організованій заваді (тобто забезпечувати зв'язок в умовах складної радіоелектронної обстановки);
- широкою смугою сигналу, що забезпечує складність виявлення («скритність») сигналу;
- електромагнітною сумісністю з іншими системами зв'язку за рахунок формування сигналу, що працює «нижче» рівня шуму [3].

Під завадозахищеністю розуміють спосібність системи протистояти впливу потужних завад. Завадозахищеність включає в себе скритність системи зв'язку і її завадостійкість [4].

Наразі найбільш поширені наступні способи формування завадостійких сигналів: формування складних сигналів з допомогою частотно-часового кодування [3]; псевдовипадкове формування складних дискретних частотно-маніпульованих сигналів [3, 4]; псевдовипадкова перебудова робочої частоти [5]; модуляція несучої частоти бінарними псевдовипадковими послідовностями (ПВП) [6].

Аналіз відомих джерел літератури [3-6] показав, що найбільш перспективними є методи, засновані на модуляції несучої частоти бінарними ПВП [6]. Сформована у такий спосіб послідовність використовується для формування високочастотного широкосмугового сигналу. Якщо отриману послідовність складних інформаційних символів подати на модулятор і виконати маніпуляцію одного з параметрів несучого коливання, то в результаті

утворюється складний сигнал, властивості і структура якого повністю визначаються властивостями поданої послідовності і видом обраної модуляції.

Для додаткового збільшення ширини займаної сигналом смуги частот (у порівнянні з класичним методом розширення) можна також застосовувати спеціальні функції – вейвлети. Основною особливістю даних функцій є маленька тривалість імпульсу. Тривалість імпульсу і ширина смуги частот, займаної сигналом, знаходяться в зворотній залежності.

Таким чином, в даний час існує актуальна задача вдосконалення заводозахищених систем зв'язку.

Метою роботи є підвищення заводостійкості системи зв'язку шляхом формування в ній вейвлет модульованих сигналів з підвищеною заводозахищеністю та розширеним спектром.

Постановка задачі:

- проаналізувати підходи до застосування шумоподібних сигналів в системах зв'язку, а також основних структурних схем широкосмугових систем зв'язку;
- провести аналіз існуючих способів формування та обробки складного сигналу в заводозахищених радіосистемах;
- запропонувати підхід до організації заводостійкого зв'язку з використанням вейвлет-функцій Шеннона;
- оцінити ефективність розробленого підходу.

1 СТАН ПИТАННЯ. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

1.1 Застосування шумоподібних сигналів в системах зв'язку

1.1.1 Визначення шумоподібних сигналів і широкосмугових систем зв'язку

Шумоподібним сигналами (ШПС) називають такі сигнали, у яких добуток ширини спектра на тривалість T багато більше одиниці [4, 8]. Цей добуток називається базою сигналу і позначається B , тобто

$$B = F \cdot T. \quad (1.1)$$

У ШПС $B \gg 1$. Шумоподібні сигнали іноді називають складними на відміну від простих сигналів з $B = 1$. Оскільки у сигналів з обмеженою тривалістю спектр має необмежену протяжність, то для визначення ширини спектра використовують різні методи і прийоми. Для реальних ШПС, що складаються з кінцевого числа елементів, завжди можна однозначно визначити F та B .

У системах зв'язку з ШПС ширина спектра ШПС F завжди набагато більше ширини спектра повідомлення, що передається. У цифрових системах зв'язку, що передають інформацію у вигляді двійкових символів, тривалість ШПС і швидкість передачі інформації \mathfrak{R} пов'язані співвідношенням $T = 1/\mathfrak{R}$. Тому база ШПС

$$B = F/\mathfrak{R} \quad (1.2)$$

характеризує розширення спектра ШПС відносно спектра повідомлення. В аналогових системах зв'язку, у яких верхня частота повідомлення дорівнює W і частота відліку дорівнює $2W$

$$B = F/2W \quad (1.3)$$

І якщо $B \gg 1$, то $F \gg \mathfrak{R}$ і $F \gg 2W$. Саме тому системи зв'язку з ШПС в зарубіжній літературі отримали назву системи зв'язку з розширеним (або розподіленим) спектром, а у вітчизняній літературі – широкосмугові системи

зв'язку. Надалі термін «широкосмугові системи зв'язку (ШСЗ)» буде відноситись тільки до систем зв'язку з ШПС.

Шумоподібні сигнали отримали застосування в широкосмугових системах зв'язку, оскільки:

- забезпечують високу завадозахищеність систем зв'язку;
- дозволяють організувати одночасну роботу багатьох абонентів в загальній смузі частот при асинхронно - адресному принципі роботи системи зв'язку, заснованому на кодовому розподілі абонентів;
- дозволяють успішно боротися з багатопроменевим поширенням радіохвиль шляхом розподілу променів;
- забезпечують сумісність передачі інформації з виміром параметрів руху об'єкта в системах рухомого зв'язку;
- забезпечують електромагнітну сумісність з вузькосмуговими системами радіозв'язку і радіомовлення, системами телевізійного мовлення, забезпечують краще використання спектра частот на обмеженій території в порівнянні з вузькосмуговими системами зв'язку.

1.1.2 Завадозахищеність та завадостійкість широкосмугових систем зв'язку

Завадозахищеність – це здатність системи зв'язку протистояти впливу потужних завад. Завадозахищеність включає в себе скритність системи зв'язку і її стійкість, оскільки для створення потужних завад треба спочатку виявити систему зв'язку і виміряти основні параметри її сигналів, а потім організувати потужну, найбільш сильнодіючу завад. Чим вище скритність і стійкість перед завад, тим вище завадозахищеність системи зв'язку [4, 9].

Завадостійкість ШСЗ визначається широко відомим співвідношенням, що зв'язує відношення сигнал-завада на виході приймача (на виході узгодженого фільтра або корелятора) q^2 з відношенням сигнал-завада на вході приймача ρ^2

$$q^2 = 2 B \rho^2, \quad (1.4)$$

де $\rho^2 = P_c / P_n$ (P_c, P_n – потужності ШПС і завади), $q^2 = 2E / N_n$, E – енергія ШПС, N_n – спектральна щільність потужності завади в смузі ШПС. Відповідно $E = P_c T$, а $N_n = P_n / F$, V – база ШПС (1.2), (1.3). Відношення сигнал-завада на виході q^2 визначає робочі характеристики прийому ШПС, а відношення сигнал-завада на вході ρ^2 – енергетику сигналу і завади. Величина q^2 може бути отримана відповідно до вимог до системи (10...30 дБ) навіть якщо $\rho^2 \ll 1$. Для цього достатньо вибрати ШПС з необхідною базою V , що задовольняє (1.4). Як видно зі співвідношення (1.4), прийом ШПС узгодженим фільтром або корелятором супроводжується посиленням сигналу (або придушенням завад) в $2V$ раз. Саме тому величину

$$K_{\text{ШПС}} = q^2 / \rho^2 \quad (1.5)$$

називають коефіцієнтом посилення ШПС при обробці або просто посиленням обробки. З (1.4), (1.5) випливає, що посилення обробки $K_{\text{ШПС}} = 2V$. В ШСЗ прийом інформації характеризується відношенням сигнал-завада $h^2 = q^2 / 2$, тобто

$$h^2 = V \rho^2 \quad (1.6)$$

На рис. 1.1 представлені залежності посилення обробки і бази ШПС V від відношення сигнал-завада на вході ρ^2 дБ при значеннях q^2 (суцільні лінії) і h^2 (штрихові лінії), рівних 10, 20 і 30 дБ, побудовані відповідно до (1.4), (1.6). Наприклад, якщо необхідно мати $h^2 = 20$ дБ, а на вході приймача $\rho^2 = -40$ дБ то необхідна база повинна бути рівною 60 дБ, тобто $V = 10^6$.

Співвідношення (1.4), (1.6) є фундаментальними в теорії систем зв'язку з ШПС. Вони отримані для завади у вигляді білого шуму з рівномірною спектральною щільністю потужності в межах смуги частот, ширина якої дорівнює ширині спектра ШПС. Разом з тим ці співвідношення справедливі для широкого кола завад (вузькосмугових, імпульсних, структурних), що і визначає їх фундаментальне значення. У загальному випадку, посилення обробки ШПС для довільних завад

$$K_{\text{ШПС}} \approx 2V \quad (1.7)$$

де ступінь наближення залежить як від виду перешкод, так і від бази ШПС.

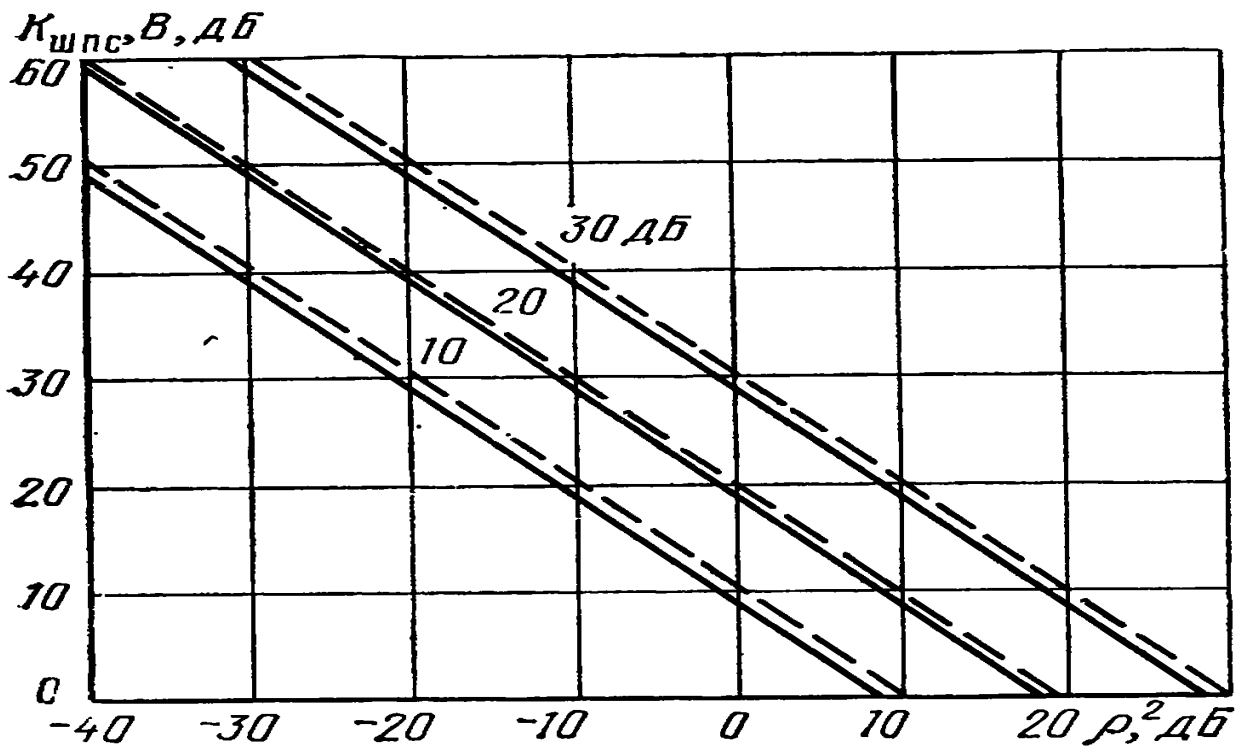


Рисунок 1.1 – Залежність посилення обробки і бази ШПС від відношення сигнал-завада на виході приймача

На рис. 1.2 наведені графіки завадостійкості систем зв'язку з ШПС, з частотною модуляцією (ЧМ) і з амплітудною модуляцією (АМ). Для порівняння ЧМ і ШПС взяті однакові смуги частот, що відповідає $B=100$. Завадостійкість системи зв'язку з ШПС розрахована згідно (1.4), причому інформація передається за допомогою широтно-імпульсної модуляції (ШІМ).

Відомо, ЧМ має високу завадостійкість і забезпечує високу якість відтворення інформації за умови, що відношення сигнал-завада на вході вище порогового значення $\rho^2_{пор}=10\dots15$ дБ. При зменшенні ρ^2 нижче порогового значення стійкість системи зв'язку з ЧМ різко падає (рис. 1.2). Система з АМ і еквівалентною базою $B=1$ працює лише при $\rho^2>0$ дБ, залежність q^2 від ρ^2 лінійна. Система зв'язку з ШПС забезпечує надійний прийом інформації при $\rho^2>0$ дБ. Наприклад, якщо $q^2=10$ дБ то система зв'язку буде працювати при відношенні сигнал-завада на вході -13 дБ, тобто $\rho^2=0,05$. Таким чином, одним з основних призначень систем зв'язку з ШПС є забезпечення надійного прийому

інформації при впливі потужних завад, коли відношення сигнал-завада на вході приймача ρ^2 може бути багато менше одиниці.

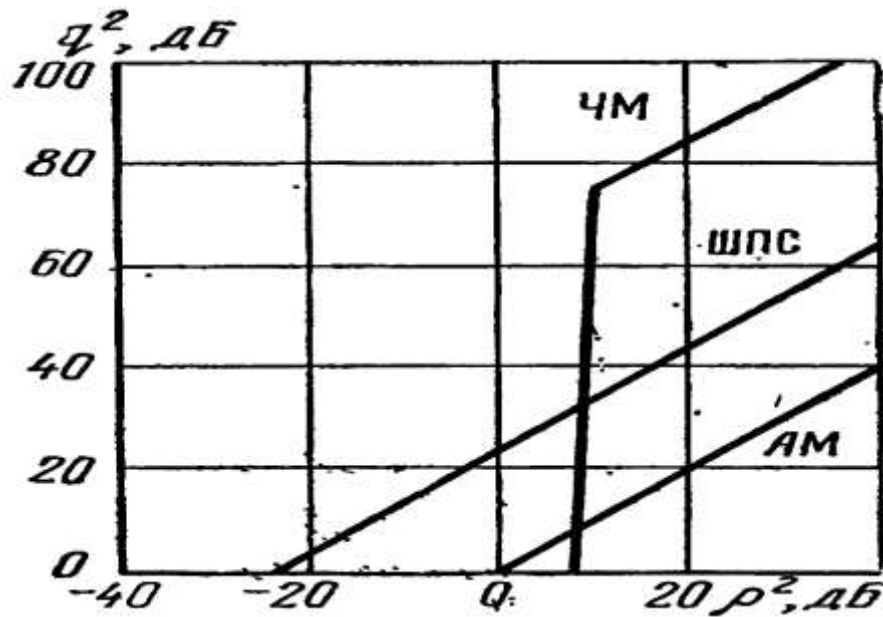


Рисунок 1.2 – Завадостійкість систем зв'язку з ШПС: ЧМ і АМ

Необхідно відзначити, що наведені співвідношення строго справедливі для завади у вигляді гаусівського випадкового процесу з рівномірною спектральною щільністю потужності («білий» шум).

1.1.3 Скритність системи зв'язку

Це здатність протистояти виявленню і вимірюванню параметрів [4, 10, 11]. Скритність – поняття дуже ємне, оскільки включає в себе безліч особливостей виявлення ШПС і вимірювання їх параметрів. Оскільки виявлення ШПС і вимірювання параметрів можливі при різній початковій поінформованості (апріорної невизначеності) про систему зв'язку, то можна вказати тільки основні співвідношення, що характеризують скритність. Коли відомо, що в даному діапазоні частот може працювати система зв'язку, але параметри її невідомі, то в цьому випадку говорять про енергетичну скритності

системи зв'язку, оскільки її виявлення можливо за допомогою аналізу спектру (енергетичне виявлення).

Характеристика виявлення (ймовірності помилкової тривоги і пропуску сигналу) повністю визначається відношенням сигнал-завада на вході приймача-аналізатора $\rho^2 = P_c/P_{\text{ш}}$ де завада являє собою власний шум приймача $P_{\text{ш}} = kT_0(N_{\text{ш}} - 1)F$, а k – постійна Больцмана, T_0 – температура навколишнього середовища, $N_{\text{ш}}$ – коефіцієнт шуму приймача. Час виявлення ШПС за умови $\rho^2 \ll 1$ наближено визначається співвідношенням $T_{\text{виявл}} \approx F^{-1}(\rho^2)^{-2}2q^4$ або

$$T_{\text{виявл}} = \alpha F \quad (1.8)$$

де розмірна постійна $\alpha = 2[q^2 kT_0(N_{\text{ш}} - 1)/P_c]^2$ залежить як від шумових властивостей приймача, потужності сигналу на вході, так і від необхідного відношення сигнал-завада на виході q^2 . Таким чином, чим ширше ширина спектра ШПС, тим більше час виявлення, тим вище енергетична скритність системи зв'язку.

Якщо ШПС системи зв'язку відтворюються приймачем-аналізатором впевнено, то час аналізу наближено визначається співвідношенням, аналогічним по виду співвідношенню (1.8), але $\alpha = bT[kT_0(N_{\text{ш}} - 1)/P_c]$, b – постійна величина. Чим ширше спектр ШПС, тим більше база, тим більше час аналізу, тим вище параметрична скритність системи зв'язку.

Таким чином, чим ширше спектр ШПС і чим більше його база, тим вище як енергетична, так і параметрична скритність.

Для боротьби з радіорозвідкою в завадозахищених системах зв'язку застосовують також зміну ШПС. Частота зміни ШПС, їх вибір з деякого ансамблю (системи сигналів) визначається багатьма вимогами до системи зв'язку і не може бути однозначно визначена. Однак вважають, що число сигналів в системі (або обсяг системи сигналів) має бути багато більше бази ШПС. Можна припустити, що для завадозахищених систем зв'язку обсяг системи сигналів L визначається степеневим законом:

$$L \sim V^m \quad (1.9)$$

де m – деяке число, що задовольняє умові $m \geq 2$ хоча для роботи може використовуватися набагато менше число ШПС.

Отже, використання ШПС підвищує стійкість і скритність системи зв'язку, тобто їх завадозахищеність.

1.1.4 Кодове розділення абонентів

На ранньому етапі розвитку систем зв'язку з ШПС вважали; що ШПС не знайдуть широкого застосування в комерційних системах зв'язку. Однак з розвитком асинхронних адресних систем зв'язку впровадження ШПС в системи масового радіозв'язку стало можливим. Основу для цього становить кодове розділення абонентів за рахунок ШПС, що відрізняються за формою.

При великих базах можна побудувати велику кількість різних ШПС. Наприклад, нехай ШПС являє собою фазоманіпульований сигнал, що складається з радіоімпульсів, фази яких 0 або π , а число їх дорівнює B . Можна побудувати безліч сигналів (так званий повний код), число сигналів в якому дорівнює 2^B , а сигнали між собою відрізняються хоча б в одному імпульсі. Якщо $B=100$, то маємо $2^{100} \sim 10^{30}$ різних сигналів. З такої великої безлічі можна відібрати систему сигналів таким чином, щоб кожному абоненту в системі зв'язку виділити свої власні сигнали. При цьому всі абоненти можуть працювати в загальній смузі частот, а розподіл їх можливий за рахунок різниці ШПС за формою. Такий розподіл абонентів називається кодовим.

При цьому ШПС є по суті адресою абонента і в цьому випадку принципово немає необхідності в примусовій часовій синхронізації абонентів. Тому подібні системи зв'язку отримали назву асинхронних адресних систем зв'язку (ААСЗ). Вони засновані на застосуванні ШПС і кодовому розподілі абонентів.

У ААСЗ всі абоненти працюють в загальній смузі частот. Тому при передачі інформації ШПС різних абонентів, перекриваються за часом і за частотою і створюють взаємні завади. Однак при використанні ШПС з

великими базами можливо звести рівень взаємних завад до потрібного, щоб забезпечити необхідну якість прийому інформації.

Якщо припустити, що на вході одного з приймачів, системи зв'язку діє l заважаючих ШПС з однаковими потужностями, то відношення сигнал-завада на виході приймача

$$h^2 = B / l. \quad (1.10)$$

Таким чином, збільшуючи базу ШПС, завжди можна домогтися необхідної якості прийому інформації.

На рис. 1.3 представлені залежності бази ШПС від числа активних абонентів, побудовані відповідно до (1.10). Графіки (рис. 1.3) дозволяють визначити завадостійкість ААСЗ.

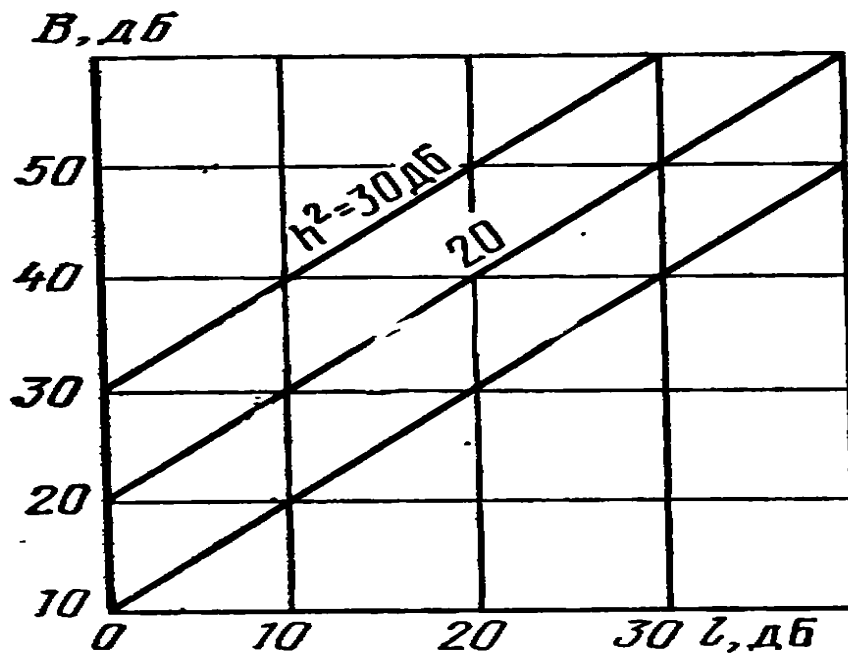


Рисунок 1.3 – Залежність бази ШПС від числа активних абонентів

Як впливає з (1.10), підвищення завадостійкості ААСЗ при заданому числі активних абонентів можливо тільки за рахунок збільшення бази ШПС. При заданій швидкості передачі інформації збільшення бази призводить до пропорційного розширення спектра ШПС відповідно до (1.2). Виникає питання про ефективність використання радіоспектра в системах зв'язку з ШПС.

У системах зв'язку ефективність використання радіоспектру характеризується питомою щільністю активних абонентів γ , рівній числу активних абонентів, що припадають на смуги частот 1 МГц, тобто

$$\gamma = 1 / F, \quad (1.11)$$

де 1 – число активних абонентів, що одночасно працюють в смузі частот шириною F. Замінюючи 1, в (1.11) згідно (1.10), маємо

$$\gamma = T / h^2. \quad (1.12)$$

Часто питома щільність активних абонентів називається просто ефективністю системи зв'язку. З (1.12) випливає, що ефективність ААСЗ тим менше, чим більше необхідне відношення сигнал-завада на виході приймача. Таким чином, ААСЗ більш перспективні в тих випадках, коли не потрібна висока якість передачі інформації, що характерно для систем масового радіозв'язку.

Для прикладу, в радіотелефонній системі рухомого зв'язку з частотним розподілом каналів максимальна ефективність $\gamma_{\max} = 250$ аб/МГц оскільки мінімальна ширина кожного каналу дорівнює 4 кГц, і в 1 МГц можна розмістити 250 частотних каналів, тобто активних абонентів. Однак, для підвищення завадостійкості використовується ЧМ і сусідні частотні канали рознесені на 25 кГц. При цьому в 1 МГц можна розмістити 40 частотних каналів, тобто $\gamma_{\text{ЧМ}} = 40$ аб/МГц.

В останні роки запропонований інший принцип побудови радіотелефонних систем рухомого зв'язку. Вся територія, яка обслуговується, розбивається на велике число зон у вигляді сот. У кожній зоні радіозв'язок ведеться на частотах, спеціально виділених цій зоні. За рахунок територіального рознесення зон з однаковими частотними каналами можливо багаторазове використання одних і тих же частотних каналів. Такі системи зв'язку отримали назву стільникових систем рухомого зв'язку (ССРЗ). Прийом сигналів в таких системах принципово супроводжується взаємними завадами так само, як і в ААСЗ. Тому застосування ШПС в ССРЗ перспективно, оскільки дозволяє успішно боротися з взаємними завадами.

Ефективність ССРЗ

$$\gamma_{\text{ССРЗ}} \approx 3,63 (R_0/D)^2 / F_k, \quad (1.13)$$

де R_0 – радіус зони обслуговування, D – захисний інтервал, F_k – ширина частотного каналу. Якщо припустити $R_0=30$ км, $D \approx 4,4$ км, радіус зони $R=0,85$ км, а $F_k=50$ кГц, то $\gamma_{\text{ССРЗ}} \approx 3333$ аб/МГц, тобто набагато вище ефективності звичайних систем рухомого зв'язку. Якщо ширину частотного каналу збільшити до 100...200 кГц то ефективність ССРЗ стане рівною 1666 і 833 аб/МГц відповідно, що все рівно буде набагато більше ефективності систем з ЧМ. Але при цьому можливе застосування ШПС з відносно невеликими базами (25...250) що в свою чергу дозволить використовувати просту апаратуру формування та обробки ШПС з невисокою стабільністю частоти.

У свою чергу застосування ШПС дозволить успішно вирішити проблему адресації великого числа абонентів. Стільникові системи рухомого зв'язку з ШПС забезпечують зв'язком сотні тисяч рухомих абонентів у великих містах. Крім того, в таких системах можна поєднати передачу телефонних повідомлень з визначенням місця розташування рухомих об'єктів і їх охорону.

1.1.5 Боротьба з багатолучевістю

Застосування ШПС в системах зв'язку дозволяє боротися з багатолучевістю поширення радіохвиль [4, 8, 12, 13]. Багатолучевість виникає в тому випадку, якщо радіохвилі приходять в точку прийому, відбившись від різних перешкод на шляху поширення (шари іоносфери, будівлі, пагорби тощо). Через відмінності в довжині шляху ці радіохвилі приходять з різним запізненням. В результаті, якщо сигнали, що прийшли різними шляхами, перекриваються в часі, то між ними виникає інтерференція, яка в свою чергу викликає глибокі завмирання результуючого сигналу.

Зазвичай для компенсації завмирань передбачають збільшення потужності сигналу на 20 дБ. Інакше при використанні ШПС, оскільки при

обробці ШПС узгодженим фільтром відбувається стиснення ШПС за часом, що показано рис. 1.4.

На рис. 1.4,а зображений ШПС з частотною модуляцією тривалістю T . На рис. 1.4,б зображена напруга на виході узгодженого фільтра – відгук фільтра на ШПС. Цей відгук називається автокореляційною функцією (АКФ) ШПС. Хоча АКФ має тривалість $2T$, в ній можна виділити дві різко відрізняючі структури. У центрі АКФ різкий викид у вигляді вузького імпульсу, званого центральним піком. Його амплітуда дорівнює V , а тривалість

$$\tau_0 \approx 1/F. \quad (1.14)$$

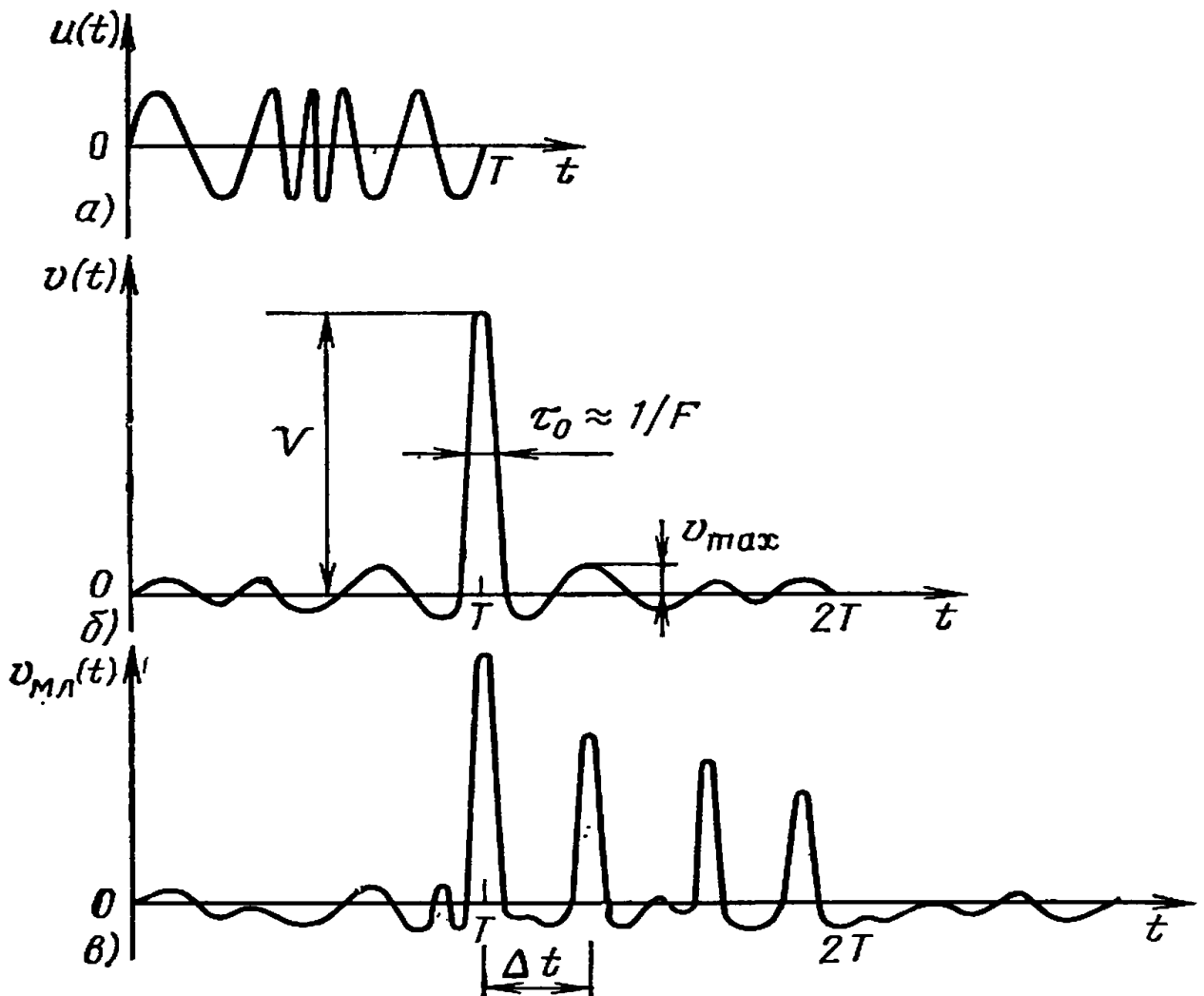


Рисунок 1.4 – Шумоподібний сигнал (а), автокореляційна функція (б) і розподіл променів (в)

Чим ширше спектр ШПС, тим коротше центральний пік. Другу область складають бічні піки з максимальним значенням v_{\max} . Шумоподібні сигнали з великими базами володіють властивостями, які записуються двома співвідношеннями:

$$T/\tau_0 \approx B, V/v_{\max} \approx \sqrt{\alpha B}, \quad (1.15), (1.16)$$

де α – деяка постійна, що в загальному випадку залежить від бази B .

Співвідношення (1.15) визначає стиснення ШПС – відношення тривалості ШПС T до тривалості центрального піку. Стиснення ШПС приблизно дорівнює базі. Тому при $T=\text{const}$ збільшення F призводить до зменшення тривалості центрального піку τ_0 і до збільшення стиснення.

Співвідношення (1.16) характеризує заглушення бокових піків. Воно дорівнює відношенню амплітуди центрального піку V до амплітуди максимального бічного піку v_{\max} . Чим більше база, тим більше придушення бічних піків. І в межі АКФ ШПС з ростом бази прагне до вузького дельта-імпульсу. Таку АКФ має широкопasmовий шум, що і послужило причиною назви – «шумоподібні сигнали».

На рис. 1.4,в зображено відгук узгодженого фільтра на кілька ШПС, які прийшли за різними шляхами. Якщо затримка між променями Δt більше тривалості центрального піку τ_0 , то промені поділяються і центральні піки різних променів можна розділити один від одного, а потім й об'єднати, усунувши затримку між ними. Такий принцип боротьби з багатолучевістю був використаний в одній з перших систем зв'язку з ШПВ «РАКЕ».

Таким чином, умова $\Delta t > \tau_0$ забезпечує розподіл променів. Оскільки τ_0 і F пов'язані співвідношенням (1.14), то умова розподілу променів записується у такий спосіб:

$$F \Delta t > 1. \quad (1.17)$$

Наприклад, якщо при поширенні радіохвиль існують два променя – прямий і відбитий від деякого об'єкту, то затримка $\Delta t \approx 2d^2/Rc$, де c – швидкість світла, R – відстань між передавачем і приймачем, d – відстань між

відбиваючим об'єктом і прямим променем. У цьому випадку необхідно використовувати ШПС з шириною спектра

$$F \geq Rc/2d^2. \quad (1.18)$$

Чим більше d тим менше F . Може виявитися, що при малих d можуть знадобитися ШПС з дуже широкими спектрами, що не завжди можна реалізувати на практиці.

1.1.6 Вимірювання координат рухомих об'єктів

Застосування ШПС дозволяє поєднати системи передачі інформації і системи траєкторних вимірювань. При вимірюванні параметрів руху об'єкта найбільший інтерес представляють відстань між приймачем і передавачем, та їх відносна швидкість. Відстань вимірюється по затримці в часі, а швидкість – по доплерівському зміщенню частоти.

Точність вимірювання, і роздільна здатність по затримці визначаються відношенням сигнал-завада q^2 (1.4) і шириною спектру сигналу і характеризуються похибкою

$$\sigma_t = 1 / q F. \quad (1.19)$$

Чим більше q і F тим менше похибка у вимірі затримки, тим вище точність вимірювання і роздільна здатність за відстанню.

Точність вимірювання доплерівського зсуву частоти визначається відношенням сигнал-завада q^2 (1.4) і тривалістю сигналу і характеризується похибкою

$$\sigma_f = 1 / q T. \quad (1.20)$$

Чим більше q і T , тим менше похибка у вимірі доплерівського зсуву частоти, тим вище точність вимірювання і роздільна здатність за швидкістю. З (1.19), (1.20) випливає, що при спільному вимірі відстані і швидкості необхідно використовувати ШПС, оскільки тільки для ШПС можна незалежно змінювати як ширину спектра F , так і тривалість T .

В системах зв'язку тривалість T зазвичай визначається швидкістю передачі інформації. Тому підвищення точності вимірювання відстані можна досягти розширенням спектра F , тобто використовуючи ШПС.

1.1.7 Електромагнітна сумісність

Шумоподібні сигнали забезпечують хорошу електромагнітну сумісність (ЕМС) ШСЗ з вузькосмуговими системами радіозв'язку і мовлення. На рис. 1.5 зображені спектри ШСЗ з ШПС з шириною спектра F і вузькополосної системи зв'язку з шириною спектра сигналу F_y . Відповідно для ШПС спектральна щільність потужності $N_{\text{ШПС}} = P_{\text{ШПС}}/F$. Для вузькосмугового сигналу $N_y = P_y/F_y$. Завадостійкість системи зв'язку з ШПС визначається фундаментальним співвідношенням (1.4), в якому $\rho^2 = P_{\text{ШПС}}/P_y$. Посилення обробки дорівнює $2V$. Якщо вузькополосна система зв'язку постійно займає певний інтервал, то можна її спектр повністю придушити, використовуюючи режекторний фільтр, налаштований на частоту вузькополосної системи зв'язку.

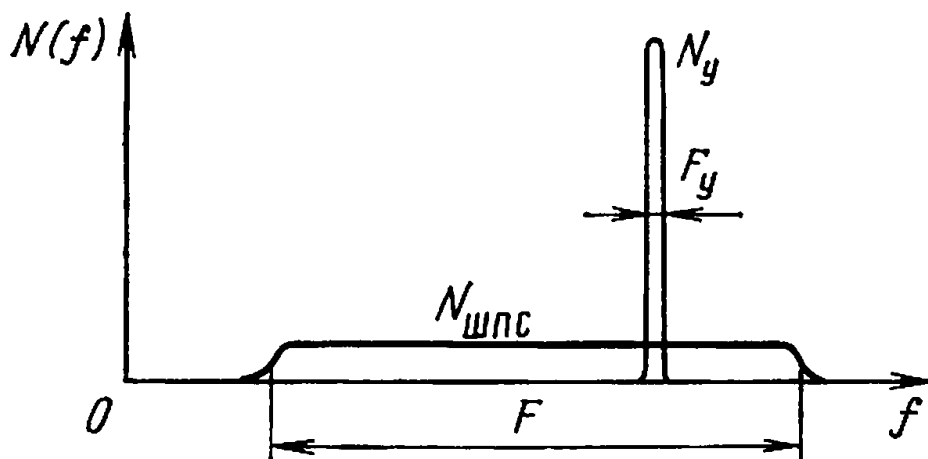


Рисунок 1.5 – Спектри широкополосної і вузькополосної систем зв'язку

Таким чином, вплив вузькополосної системи зв'язку на широкополосну незначний. У свою чергу, широкополосна система зв'язку також слабо впливає на вузькополосну систему зв'язку. Потужність ШПС, що проходить на вихід

приймача, $N_{\text{ШПС}} = P_{\text{ШПС}} F_y/F$. Тому відношення сигнал-завада на виході вузькосмугового приймача буде визначатися співвідношенням (1.4), в якому $\rho^2 = P_y/P_{\text{ШПС}}$, а $B = F/F_y$. Тому чим більше відношення F/F_y тим краще фільтрація ШПС в вузькополосній системі зв'язку. Отже, чим більше база ШПС, тим вище ЕМС широкосмугової і вузькополосної систем зв'язку [4].

Системи зв'язку з ШПС можна поєднувати і з телевізійними системами. На рис. 1.6 зображено спектр телевізійного сигналу $N_{\text{ТВ}}$.

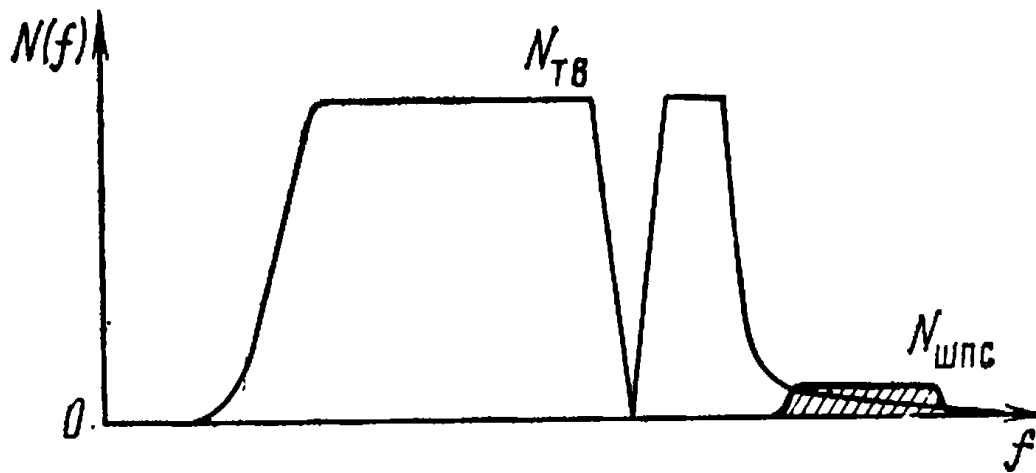


Рисунок 1.6 – Спектри телевізійного сигналу і ШПС

Програми телебачення в одній територіальній зоні передаються по декільком каналам з великими захисними частотними інтервалами. Зазвичай в цих частотних захисних інтервалах не допускається робота будь-яких радіотехнічних систем, щоб уникнути завад на телевізійні передачі. Однак можна в цих частотних інтервалах розмістити системи зв'язку з ШПС так, як це показано на рис. 1.6. Спектр ШПС розташований поблизу спектра телевізійного сигналу, там де спектральна щільність останнього різко зменшується. При цьому взаємні завади і тієї, і іншої системи будуть малими.

Слід зазначити, що якщо замість ШПС використовувати сигнали з частотною модуляцією, то рівень взаємних завад зростає, оскільки сигнали системи зв'язку і телебачення належать до однакового класу і демодуються частотним детектором.

Таким чином, системи зв'язку з ШПС мають гарну ЕМС з системами радіозв'язку, мовлення і телебачення.

З розгляду основних властивостей ШПС випливає, що застосування ШПС в системах зв'язку дозволяє забезпечувати високу стійкість щодо потужних завад, скритність, адресність, працездатність в загальній смузі частот, боротьбу з багатолучевістю, високу точності вимірювань і хорошу ЕМС з багатьма радіотехнічними системами.

1.1.8 Основні структурні схеми широкосмугових систем зв'язку

Широкосмугові системи зв'язку з ШПС в залежності від призначення, тактико-технічних характеристик, бази ШПС, елементної бази можуть бути побудовані за різними схемами. Для якісного представлення про те, з яких основних пристроїв складаються ШСЗ, на рис. 1.7, 1.9, 1.11, 1.12 наведені структурні схеми деяких систем зв'язку.

На рис. 1.7 представлені структурні схеми передавача і приймача цифрової системи зв'язку з фазоманіпульованим (ФМ) сигналом, призначені для передачі дискретних повідомлень.

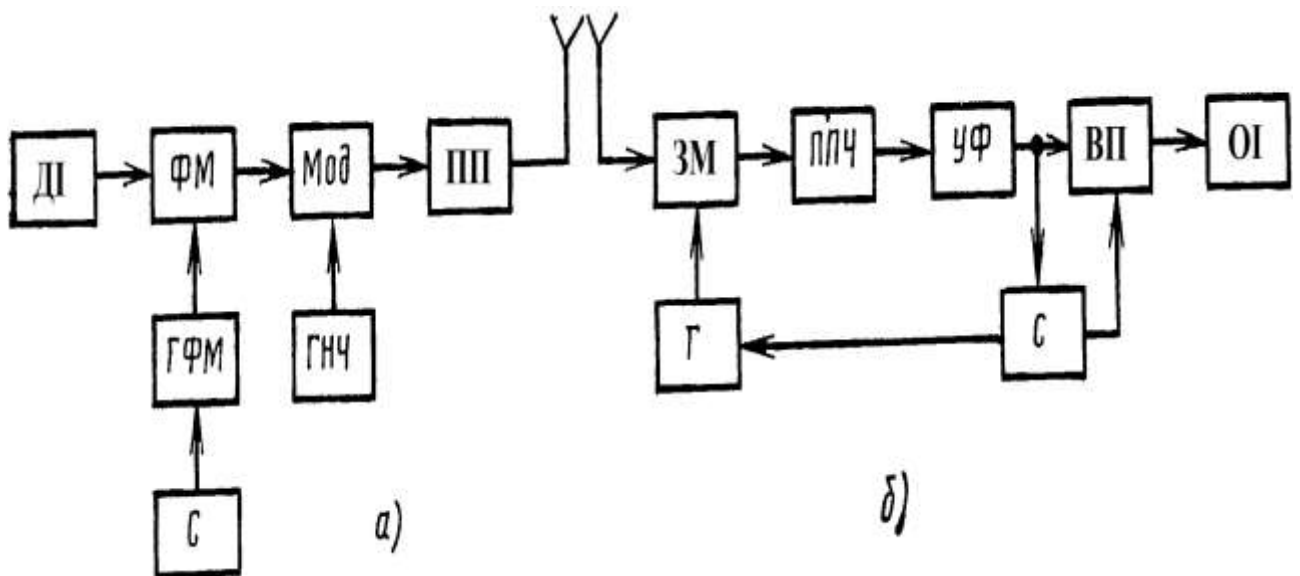


Рис. 1.7 – Структурні схеми передавача і приймача цифрової системи зв'язку з ФМ ШПС

У передавачі (рис. 1.7,а) від джерела інформації (ДІ) послідовність двійкових одиниць 1 і 0 зі швидкістю $\mathcal{R}=1/T$ (рис. 1.7,а) надходить на вхід фазового модулятора ФМ. На другий вхід ФМ надходить фазоманіпульований сигнал (рис. 1.7,б) від генератора ФМ сигналу ГФМ.

Фазоманіпульований сигнал має тривалість T і являє собою послідовність відеоімпульсів 1 і 0 тривалістю $\tau_0=T/N$, де N – число імпульсів. На рис. 1.8,б $N=13$. Зазвичай вважають, що база ФМ сигналу приблизно дорівнює числу імпульсів, тобто $B \approx N$.

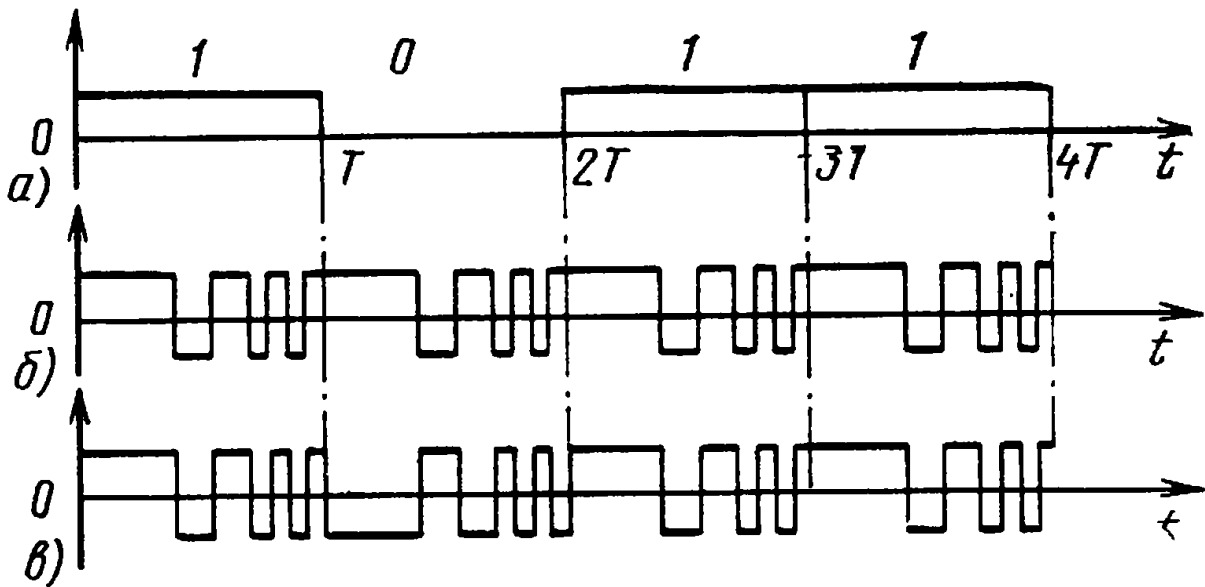


Рисунок 1.8 – Модуляція цифрової інформації ФМ ШПС

Ширина спектра ФМ сигналу $F \approx 1/\tau_0$. Роботою ГФМ управляє синхронізатор С, який формує необхідні сигнали керування і частоти. Послідовність ШПС у вигляді ФМ сигналів, що переносить інформаційні символи (рис. 1.8,в), надходить в модулятор Мод, в якому здійснюється балансна модуляція колювання з несучою частотою ФМ сигналом. Колювання з несучою частотою створюється генератором низької частоти ГНЧ. Підсилювач потужності ПП підсилює фазоманіпульований сигнал, а потім через антену сигнал випромінюється у простір.

У приймачу (рис. 1.7,б) сигнал проходить через змішувач Зм, переноситься за допомогою гетеродину Г на проміжну частоту, посилюється в

підсилювачі проміжної частоти ППЧ і обробляється узгодженим фільтром УФ. Сигнал з виходу УФ надходить на синхронізатор С і вирішальне пристрій ВП. Синхронізатор здійснює пошук ФМ сигналу по частоті за часом, накопичує сигнал для збільшення надійності синхронізації, управляє режимом роботи вирішального пристрою. Для пошуку ФМ сигналу по частоті синхронізатор перебудовує гетеродин. Після закінчення пошуку і входження в синхронізм на виході вирішального пристрою з'являється інформаційна послідовність у вигляді двійкових символів, яка передається одержувачу інформації ОІ.

Приймач (рис. 1.7,б) є найбільш простим. Разом з тим необхідно відзначити, що узгоджений фільтр і синхронізатор, що містить блоки пошуку і синхронізації, є при великих базах ШПС складними пристроями. Крім того, для пошуку ШПС і підтримки синхронізму приймач охоплений петлею зворотного зв'язку. Реальний приймач ШПС може містити кілька блоків пошуку і спостереження, в тому числі блок пошуку ШПС за часом і часової синхронізації, блок фазового автопідстроювання частоти (ФАПЧ), які охоплені власними і взаємними зворотними зв'язками.

На рис. 1.9 представлені структурні схеми передавача і приймача радіотелефонного системи зв'язку з ФМ ШПС. У передавачі (рис. 1.9,а) телефонне повідомлення (рис. 1.10,а) від джерела інформації ДІ надходить на вхід широтно-імпульсного модулятора ШІМ, з виходу якого ШІМ сигнал подається на вхід фазового модулятора ФМ. На другий вхід ФМ подається ФМ ШПС (рис. 1.10,в), що формується ГФМ.

Фазоманіпульований сигнал з виходу фазового модулятора (рис. 1.10, г), що містить інформацію, надходить на вхід модулятора М, в якому здійснюється балансна модуляція колювання з частотою від ГНЧ. Далі посилений за потужністю в підсилювачі потужності ПП ФМ сигнал через антену випромінюється в простір.

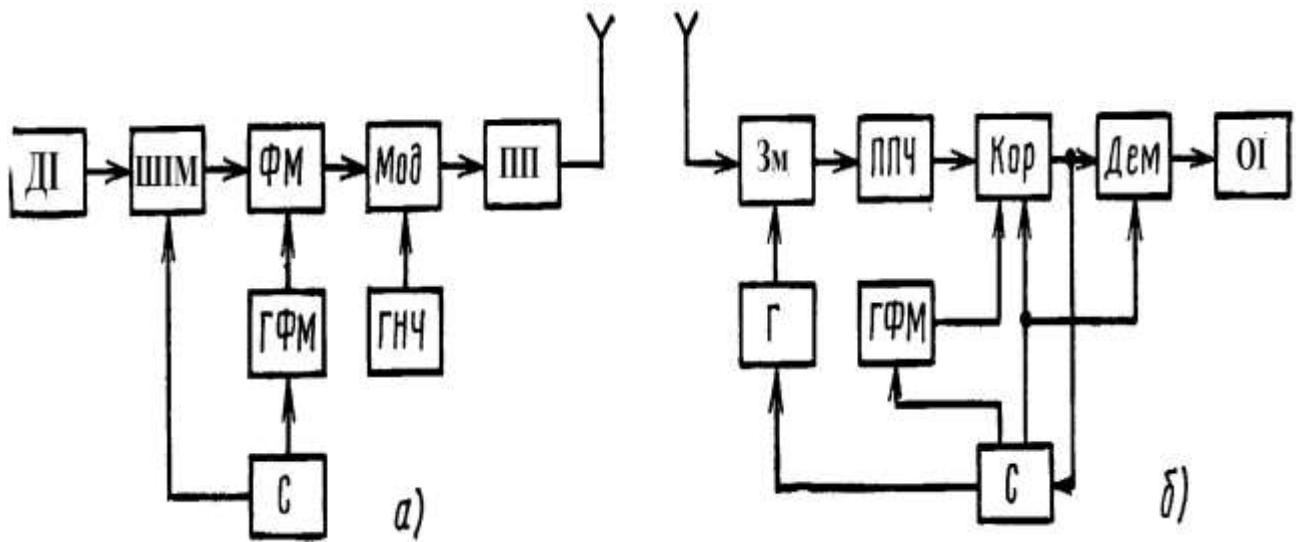


Рис. 1.9 – Структурні схеми передавача і приймача радіотелефонної системи зв'язку з ФМ ШПС

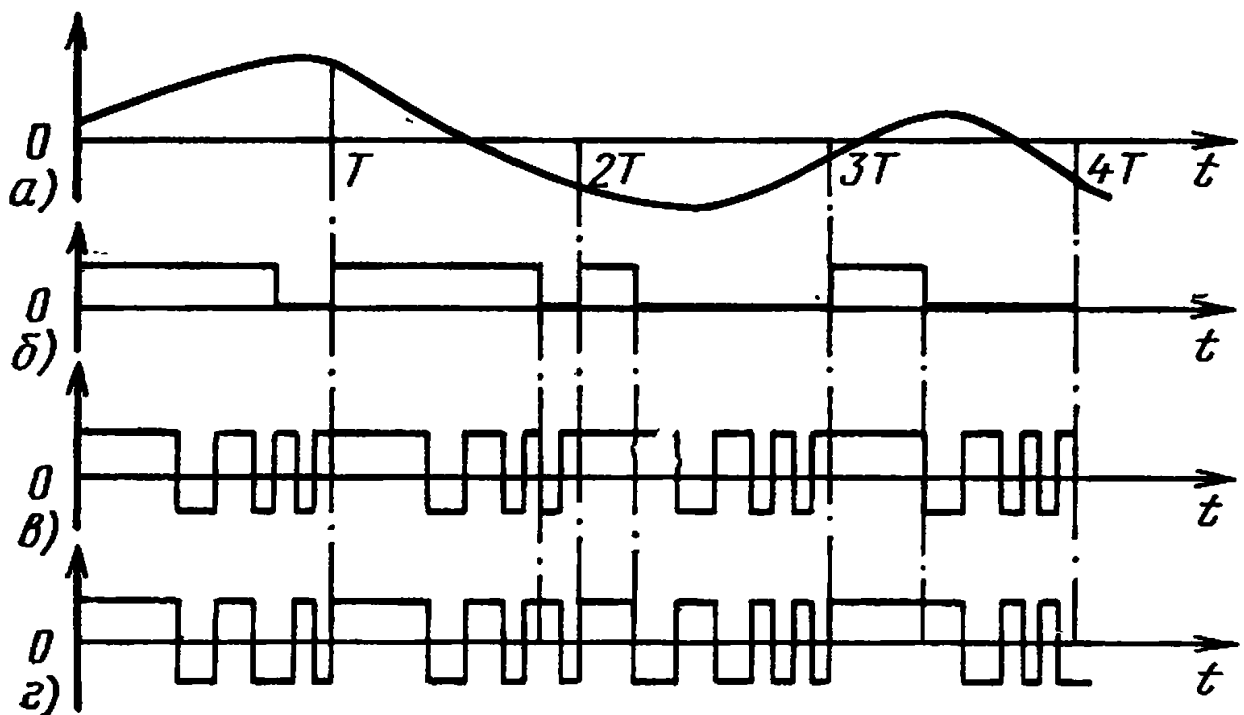


Рисунок 1.10 – Модуляція ФМ ШПС безпервним повідомленням за допомогою ШІМ

Роботою широтно-імпульсного модулятора і генератора ФМ сигналу керує синхронізатор С, який виробляє необхідні частоти і керуючі сигнали. У приймачу (рис. 1.9,б) прийнятий сигнал в змішувачі Зм за допомогою гетеродина Г переноситься на проміжну частоту і після ППЧ надходить на корелятор Кор. Корелятор, як і узгоджений фільтр, виробляє оптимальну обробку прийнятого сигналу. Хоча вони відрізняються за принципом роботи, але забезпечують однакову стійкість прийому. Корелятор складається з перемножувача і інтегратора. На другий вхід корелятора подається опорний сигнал у вигляді ФМ ШПС (рис. 1.10,в). Напряга на виході корелятора містить телефонне повідомлення у вигляді ШМ сигналу, який подається на вхід демодулятора з виходу якого прийняте телефонне повідомлення передається одержувачу інформації ОІ.

Роботою приймача в цілому і його окремими блоками (Г, ГФМ, Кор, Дем) управляє синхронізатор С, який спочатку здійснює пошук ФМ ШПС за часом і частотою, а далі підтримує синхронізм. Все, що було раніше зазначено щодо синхронізатора приймача, зображеного на рис. 1.7,б повністю відноситься як до синхронізатора даного приймача, так і приймачів, зображених на рис. 1.11,б та рис. 1.12,б.

На рис. 1.11 представлені структурні схеми передавача і приймача цифрової системи зв'язку з ЧМ ШПС (іноді такий ШПС називають сигналом з стрибаючою частотою).

Відмінність передавача і приймача, зображених на рис. 1.11, від передавача і приймача на рис. 1.7 зводиться до наступного. У передавачі (рис. 1.11,а) в модуляторі Мод1 проводиться модуляція ЧМ ШПС дискретним повідомленням. ЧС ШПС являє собою сигнал, що складається з М імпульсів, несучі частоти яких приймають одне з можливих значень від f_0 до $f_0+(M-1)/T$ з інтервалом між сусідніми значеннями $\Delta f=1/T$. Всього використовується М частот і жодна з них не застосовується двічі на одному ШПС. База такого сигналу формується за допомогою частотного маніпулятора (ЧМ), у якого на один вхід через шину (широка стрілка) подаються М частот від генератора

сітки частот ГСЧ. На інший вхід подається кодова послідовність від генератора кодової послідовності ЧМ ШПС (ГЧМ), яка визначає порядок зміни частот в ЧС ШПС. У модуляторі Мод2 проводиться перенесення ЧМ ШПС на несучу частоту. Роботою ГСЧ, ГЧМ, ГНЧ управляє синхронізатор С.

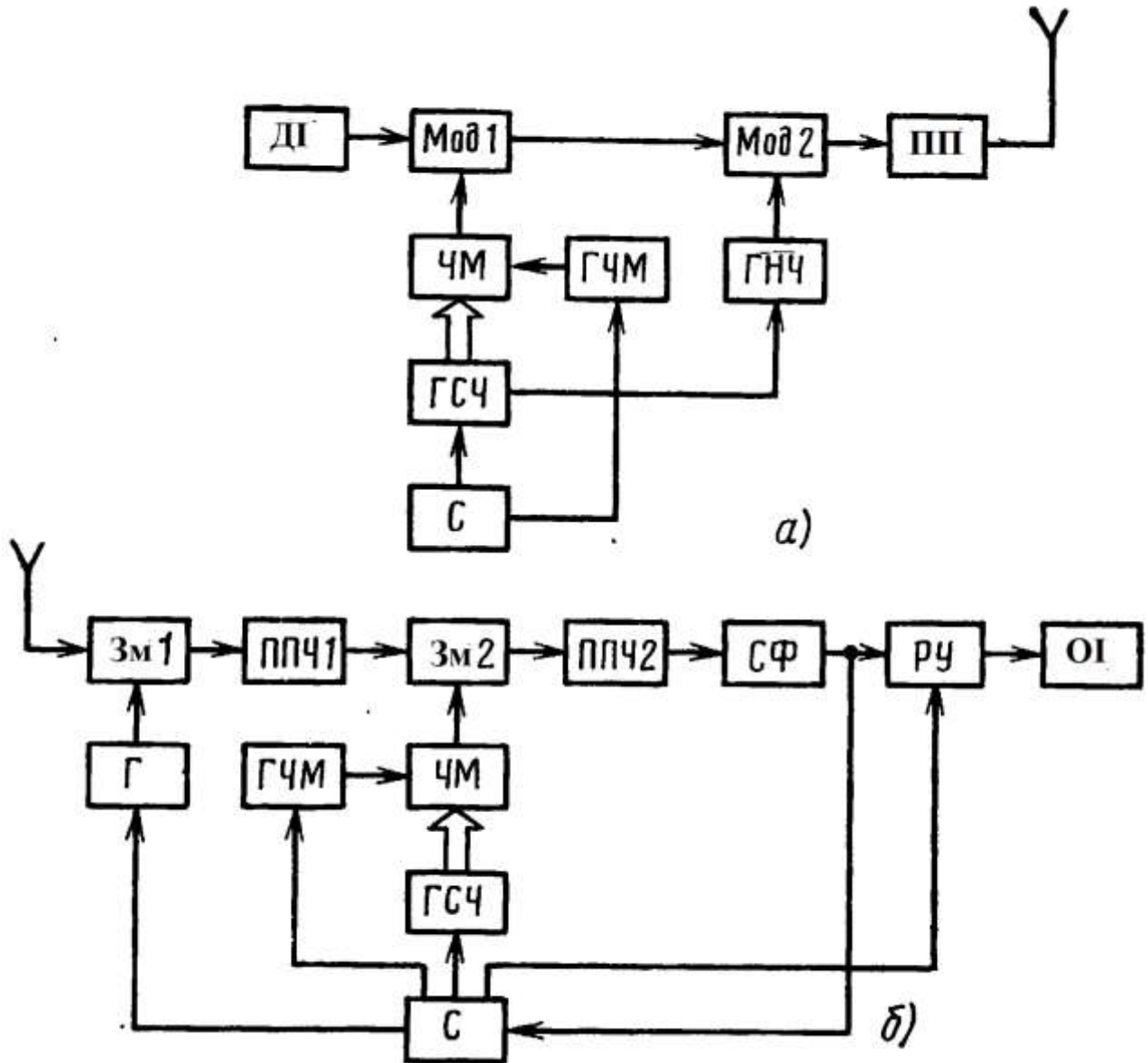


Рисунок 1.11 – Структурні схеми передавача і приймача цифрової системи зв'язку з ЧМ ШПС

В приймачі (рис. 1.11,б) ЧМ ШПС на проміжній частоті надходить на змішувач (Зм2) в якому проводиться перенесення всіх частот сигналу на другу

проміжну частоту за допомогою опорного ЧМ ШПС, що надходить від частотного маніпулятора ЧМ. Призначення ГСЧ і ГЧМ таке ж, як і в передавачі (рис. 1.11,а). З виходу УПЧ2 сигнал тривалістю T , який не має частотної маніпуляції, надходить на СФ, а потім на РУ і С. Останній здійснює пошук ЧС ШПС за часом і частотою, далі підтримує синхронізм і управляє роботою Г, ГСЧ, ГЧМ і РУ.

На рис. 1.12 представлені структурні схеми передавача і приймача цифрової системи зв'язку з фазо-частотноманіпульованим ШПС.

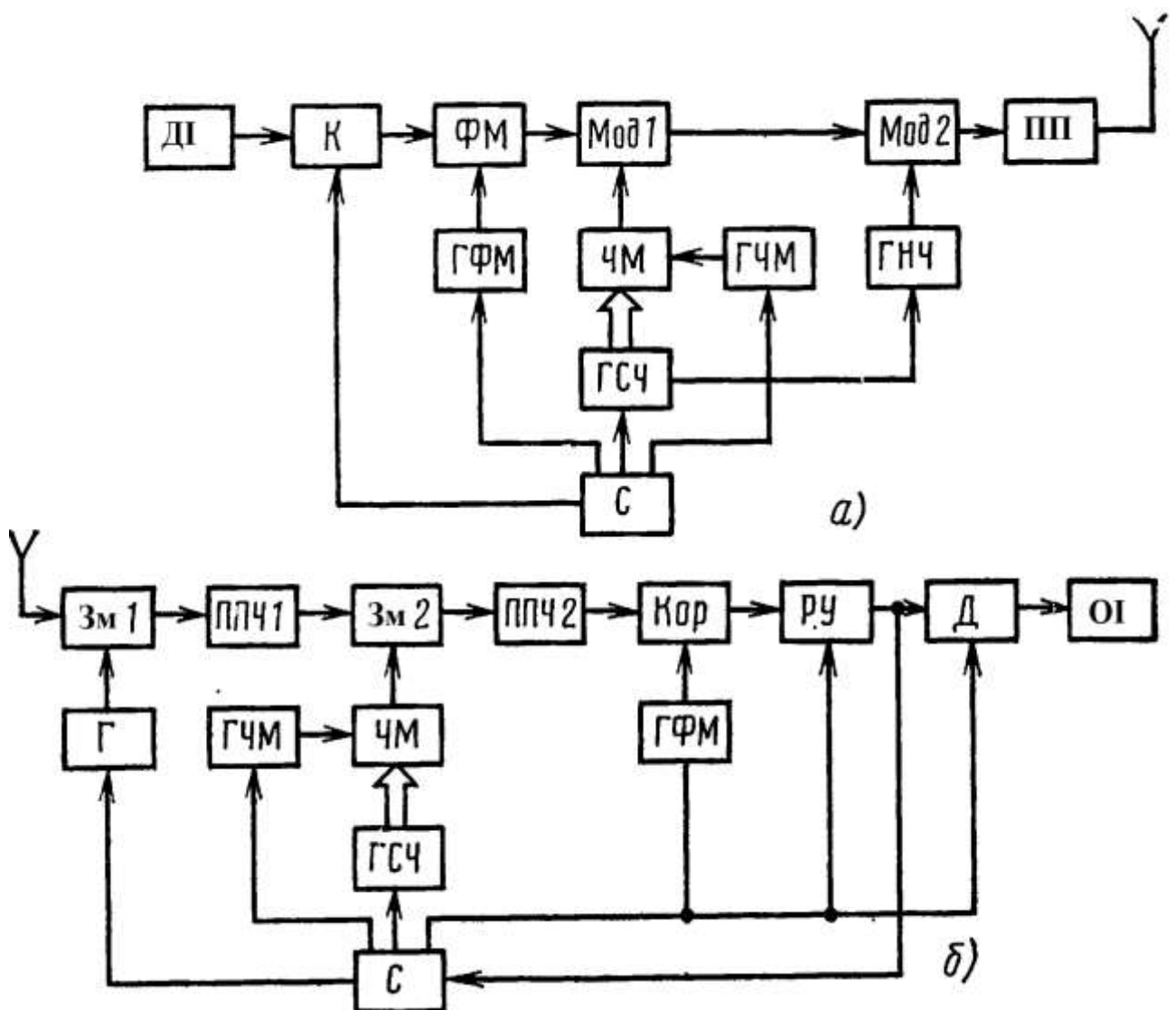


Рисунок 1.12 – Структурні схеми передавача і приймача цифрової системи зв'язку з фазо-частотноманіпульованим ШПС

Фазо-частотноманіпульований ШПС є складовим. При зазначеній подвійній маніпуляції він складається з N імпульсів, групи яких передаються на M частотах. База такого ШПС дорівнює, приблизно $V \approx NM^2$. Оскільки з фазо-частотноманіпульований ШПС є об'єднанням ФМ і ЧМ сигналів, то і схема передавача (рис. 1.12,а), і схема приймача (рис. 1.12,б) є в свою чергу об'єднанням передавачів (рис. 1.7,а і рис. 1.11,а) і приймачів (рис. 1.7,б і рис. 1.11,б).

Для додаткового підвищення завадостійкості використовуються коригувальні коди, які формуються в передавачі (рис. 1.12,а) за допомогою кодера і декодуються в приймачі (рис. 1.12,б) за допомогою декодера (Д). У приймачі оптимальну фільтрацію здійснює корелятор (Кор). Призначення інших блоків таке ж, як і в попередніх схемах.

Представлені схеми не вичерпують усього різноманіття схем широкосмугових систем зв'язку з ШПС. Разом з тим вони дозволяють виділити основні вузли таких систем. До таких вузлів відносяться генератори формування ШПС (або автомати формування ШПС з їх зміною), генератори сітки частот, узгоджені фільтри, корелятори, блоки пошуку ШПС і синхронізації за часом і за частотою.

З представленого матеріалу випливає, що розробник широкосмугової системи зв'язку повинен вміти обрати тип ШПС і його базу, метод обробки, визначити час пошуку і синхронізації, знайти стійкість приймача ШПС при дії різного роду завад, обрати елементну базу і розробити на ній необхідні генератори ШПС, узгоджені фільтри і корелятори, блоки пошуку і синхронізації.

Крім цього, розробник повинен вміти проектувати інші вузли передавача і приймача, знати, як проходить ШПС через вузли передавача і приймача, і які втрати при цьому мають місце. На всі питання, які виникають в процесі проектування ШСЗ, не можна в більшості випадків дати однозначні відповіді. Тому проектування ШСЗ наразі є актуальною задачею, яка ґрунтується на глибокому знанні теорії і техніки ШПС.

1.2 Існуючі способи формування та обробки складних сигналів в завадозахищених радіосистемах

Відомий спосіб [14] формування та обробки складного сигналу в завадозахищених радіосистемах, що включає фазову маніпуляцію несучого коливання псевдовипадкової послідовності і сигналом інформації, на приймальній стороні – зняття ПВП з подальшою демодуляцією в схемі Костаса, причому в якості несучого коливання використовується модифікований смуговий шум. Досягається технічним результатом є підвищення структурної скритності складних фазоманіпульованих сигналів.

Недоліком даного способу є те, що підвищення скритності сигналу, що передається досягається за рахунок зниження завадостійкості приймача радіолінії.

Відомий спосіб [15] організації багатомасштабного бездротового зв'язку, що включає частотно-часову обробку сигналу, що передається, при якій моделюючий вейвлет узгоджується з умовами в конкретному каналі, при цьому використовуються компактні вейвлет-базиси, й на основі їх параметризації обирається такий вейвлет, який найкраще відповідає умовам в бездротовому каналі.

Недоліком вказаного способу є те, що в ньому не розглянута можливість використання модуляції сигналу псевдовипадковою послідовністю, що знижує ефект підвищення завадостійкості.

Найбільш оптимальним є спосіб [16, 17] формування завадостійких сигналів, що включає формування широкосмугового сигналу, для якого використовують розширення спектру сигналу методом псевдовипадкової послідовності, яку модулюють протилежними біортогональними вейвлет-функціями. Технічний результат полягає в підвищенні відносної завадостійкості сигналів, що формуються.

У загальному випадку біортогональні (рис. 1.13) вейвлет функції [18, 19] використовують два дуальних вейвлет-базису $\psi_{m,k}(t)$ і $\psi_{m,k}^*(t)$, які задовольняють вимогу біортогональності скалярного добутку цих вейвлетів:

$$\left(\psi_{m,k}^*(t), \psi_{m',k'}(t) \right) = \delta_{m,k;m',k'}. \quad (1.21)$$

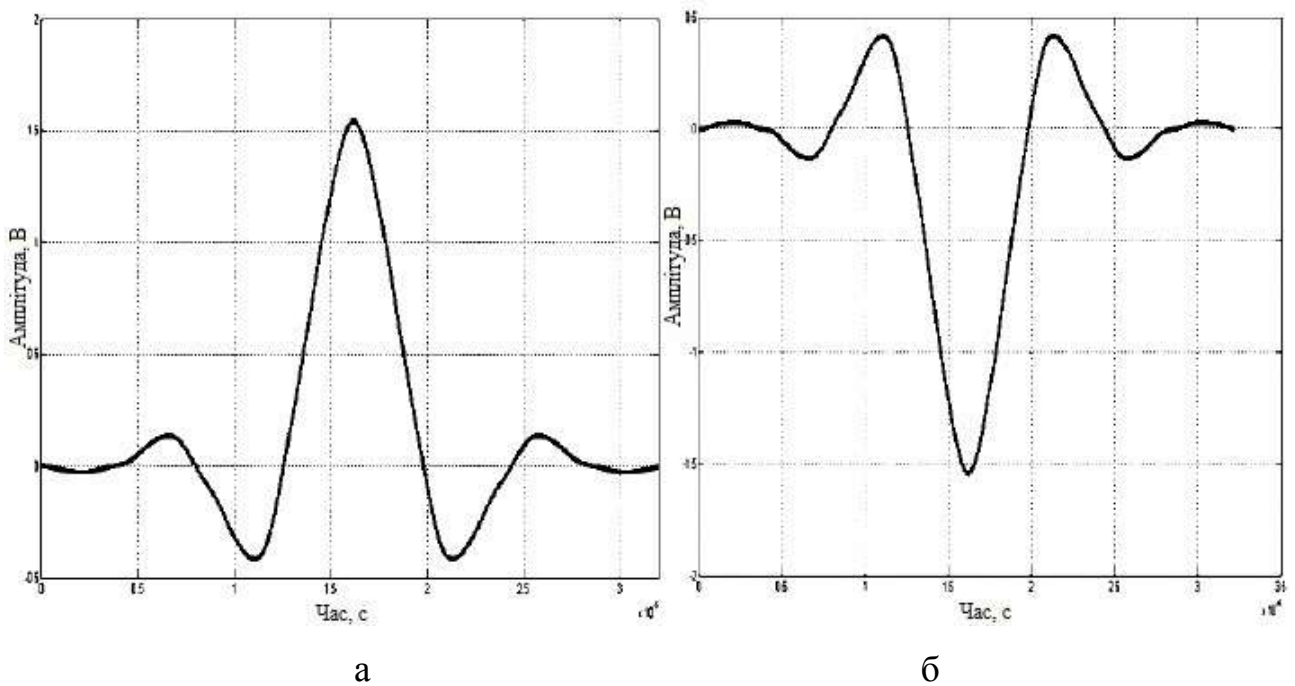


Рис. 1.13 – Загальний вигляд біортогонального вейвлета

Для виконання умови ортогональності при модуляції використовують протилежні ортогональні сигнали (рис. 1.13). При цьому модуляцію бінарної ПВП біортогональною вейвлет-функцією здійснюють наступним чином: "0" модулюють біортогональною вейвлет-функцією (рис. 1.13,а), а "1" – протилежною біортогональною вейвлет-функцією (рис. 1.13,б).

Для оцінки завадозахищеності сигналів, модульованих біортогональними вейвлет-функціями, було проведено моделювання [17, 19], яке включає порівняльний аналіз завадозахищеності сигналів, модульованих біортогональними вейвлет-функціями, і широкосмуговими сигналів двійкової фазової маніпуляції (ФМ-2).

Як розширююча послідовність використовувалася ПВП Голда довжиною 31. Швидкість передачі (V) інформаційного символу при цьому становила 1 кбіт/с.

Сигнал, модульований описаним способом, представлений на рис. 1.14; а спектр цього сигналу наведено на рис. 1.5.

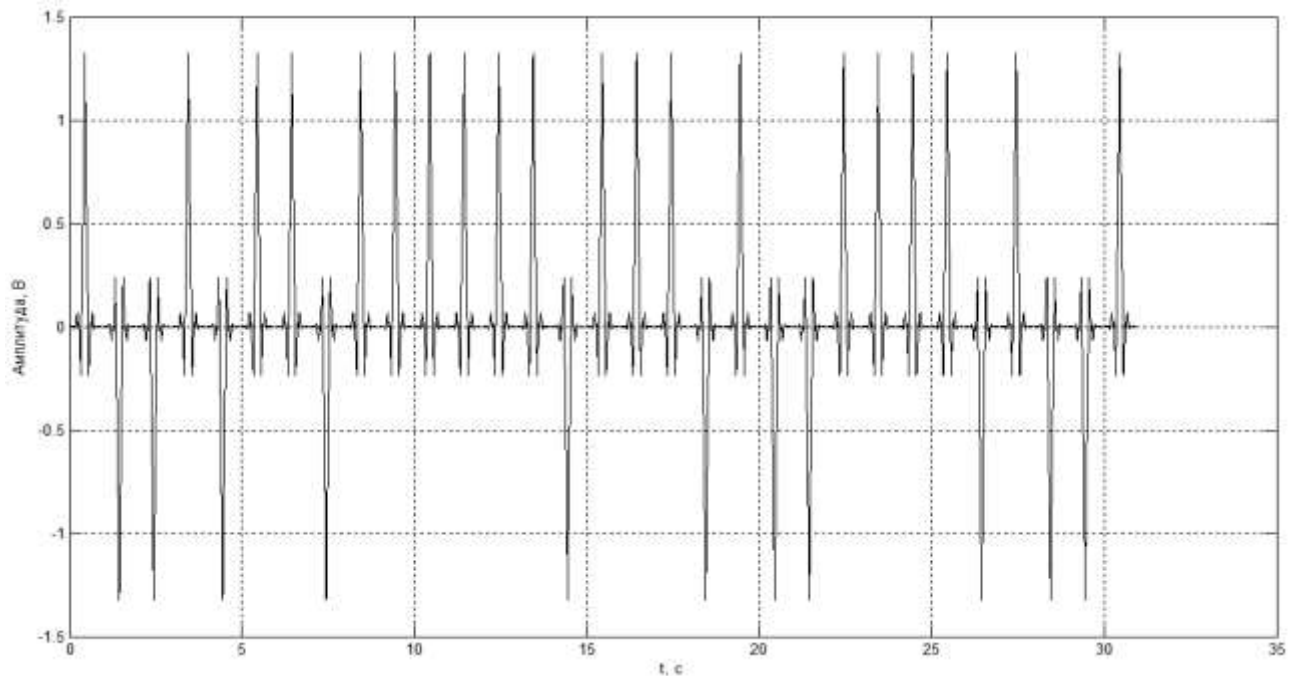


Рис. 1.14 – Сигнал, модульований біртогональною вейвлет-функцією

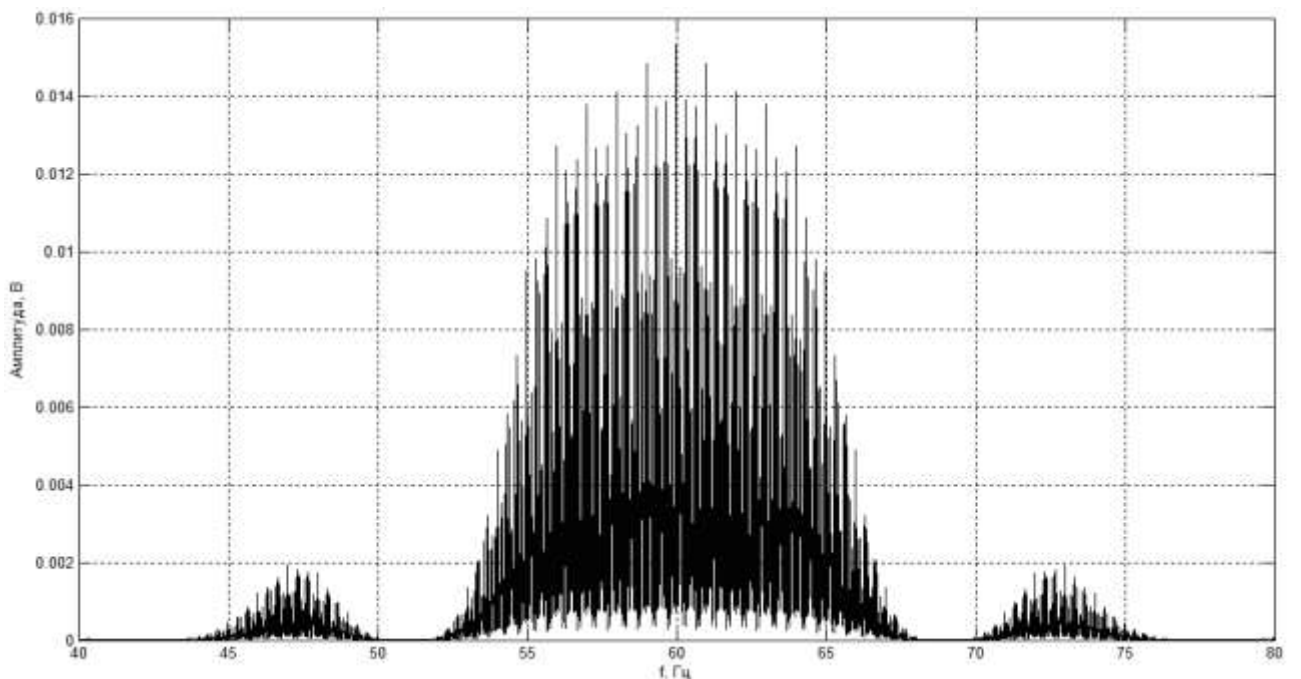


Рис. 1.15 – Спектр сигналу, модульованого біртогональною вейвлет-функцією

На рис. 1.16 показаний сигнал з тими ж параметрами ПВП, модульований двійковою фазовою маніпуляцією; спектр цього сигналу наведено на рис. 1.17.

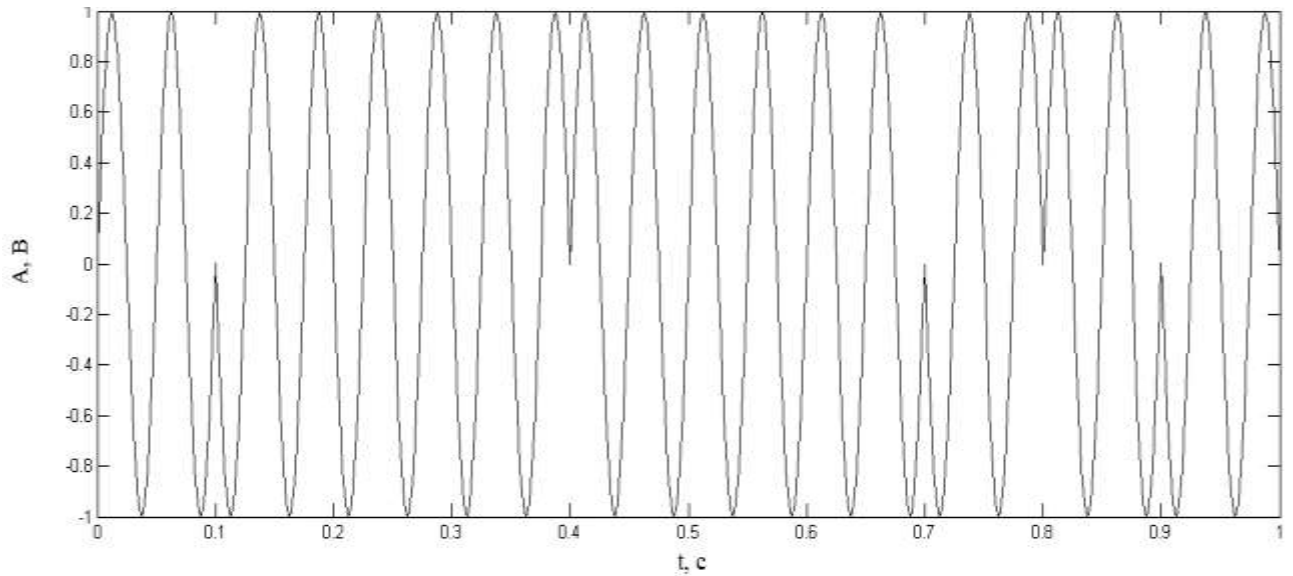


Рис. 1.16 – Сигнал, модульований ФМ-2

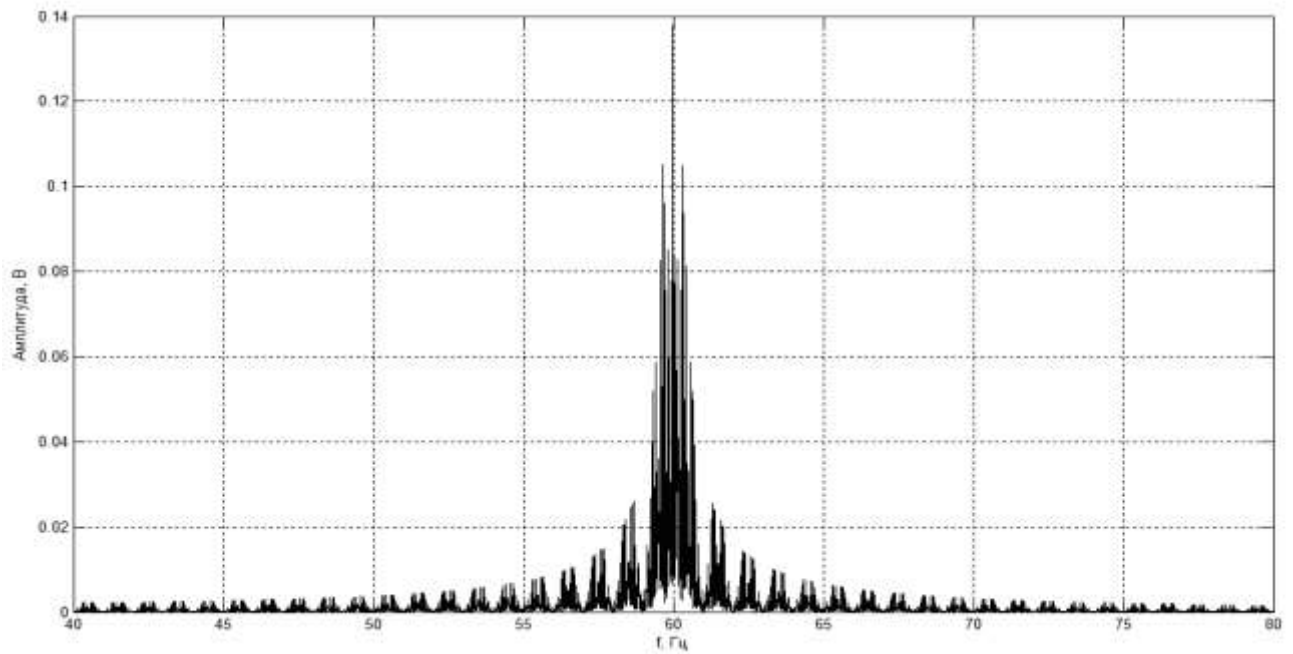


Рис. 1.17 – Спектр сигналу, модульованого ФМ-2

Аналіз отриманих спектрів (рис. 1.15 і рис. 1.17) показав збільшення ширини смуги сигналу, модульованого біртогальною вейвлет-функцією в

3,5 рази, в порівнянні з шириною смуги сигналу, модульованого двійковою фазовою маніпуляцією.

При цьому збільшення завадостійкості отриманого сигналу пропорційно збільшенню ширини смуги.

Недоліком вказаного способу є використання в якості модулюючої функції біортогональної вейвлет-функції з постійними параметрами тривалості і рівня, що не дозволяє забезпечити підвищену скритність і найбільшу ширину смуги сигналу, що формується. Крім цього, в зазначеному способі нічого не сказано про пристрій прийому і демодуляції сформованого сигналу, що знижує позитивний ефект даного підходу.

1.3 Висновки і постановка задачі

В результаті аналізу підходів до застосування шумоподібних сигналів в системах зв'язку встановлено, що застосування ШПС дозволяє забезпечувати високу стійкість щодо потужних завад, скритність, адресність, працездатність в загальній смузі частот, боротьбу з багатолучевістю, високу точності вимірювань і хорошу ЕМС з багатьма радіотехнічними системами зв'язку.

В результаті аналізу основних структурних схем широкосмугових систем зв'язку встановлено, що проектування завадозахищених ШСЗ наразі є актуальною задачею, яка ґрунтується на глибокому знанні теорії і техніки ШПС.

В результаті аналізу існуючих способів формування та обробки складних сигналів в завадозахищених радіосистемах встановлено їх недоліки:

- підвищення скритності сигналу, що передається досягається за рахунок зниження завадостійкості приймача радіолінії;
- в способі не розглянута можливість використання модуляції сигналу псевдовипадковою послідовністю, що знижує ефект підвищення завадостійкості;

- використання в якості модулюючої функції біортогональної вейвлет-функції з постійними параметрами тривалості і рівня, що не дозволяє забезпечити підвищену скритність і найбільшу ширину смуги сигналу, що формується.

Таким чином, для усунення вищенаведених недоліків необхідно:

- запропонувати підхід до організації зв'язку з використанням вейвлет-функцій Шеннона з підвищеною завадозахищеністю;
- оцінити ефективність розробленого підходу.

2 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА

2.1 Алгоритми формування вейвлет модульованих широкосмугових сигналів

Вейвлети – це математичні функції, що дозволяють аналізувати різні частотні компоненти даних [18, 19]. Наразі вейвлети широко застосовуються для обробки зображень і розпізнавання образів.

Використання негармонійних вейвлет-функцій в якості модулюючих при формуванні сигналів дозволяє значно розширити спектр сигналу [20]. Змінюючи параметри вейвлета, можна або збільшувати його тривалість (звужувати спектр), або зменшувати тривалість (розширювати спектр). Вибір тих або інших параметрів вейвлета залежить від можливості технічної реалізації.

Точне відновлення функцій з обмеженням по ширині Фур'є спектром за значеннями функції при дискретних значеннях аргументу дає теорема Котельникова-Шеннона [21-23].

У 1933 р. Котельников В.А. довів теорему, яка є одним з фундаментальних положень теоретичної радіотехніки. Ця теорема встановлює можливість як завгодно точного відновлення миттєвих значень сигналу з обмеженням спектром виходячи з відлікових значень (вибірок), узятих через рівні проміжки часу.

Теорема Котельникова-Шеннона (теорема відліків) – фундаментальне твердження в області цифрової обробки сигналів, що зв'язує безперервні і дискретні сигнали і з якого випливає, що будь-яку функцію $s(t)$, що складається з частот від 0 до f_B , можна безперервно передавати з будь-якою точністю за допомогою чисел, що слідує одне за одним через інтервали часу $T = \frac{1}{2f_B}$ секунд. При доведенні теореми взяті обмеження на спектр частот $0 < \omega < \omega_0$, де $\omega = 2\pi f$.

Пов'язаний з теоремою Котельникова-Шеннона сплеск отримав назву вейвлета Шеннона.

Вейвлет Шеннона визначається наступним виразом [18, 19]:

$$\psi(x) = (\sqrt{F_b})[\text{sinc}(F_b x) \exp(2j\pi F_c x)], \quad (2.1)$$

де F_b – значення смуги частот вейвлет-функції, F_c – значення центральної частоти вейвлет-функції, x – поточні відліки, при цьому повинна задовольнятися нерівність $F_c \leq F_b/2$.

При цьому кожен біт ПВП Голда модулюється вейвлет-функцією Шеннона з унікальними значеннями параметрів смуги частот (F_b) і центральної частоти (F_c), які змінюються від біта до біту й не повторюються для всіх елементів протягом всієї ПВП Голда. Функція розподілу значень параметрів F_b , F_c , як і діапазон, в якому відбувається розподіл даних значень, задаються на етапі проектування системи зв'язку і відомі як передавальній, так і приймальній стороні. Значення «0» і «1» бітової послідовності модулюються протилежними вейвлет-функціями Шеннона.

У статті [24] було описано вплив завад на вейвлет модульовані ШПС з різними параметрами формуючої функції. На основі даних, отриманих з [24], було розроблено два алгоритму формування вейвлет модульованих ШПС.

На рис. 2.1 представлений алгоритм формування вейвлет модульованих ШПС з фіксованими значеннями вейвлет функції (F_b , F_c).

Інформаційний сигнал (рис. 2.1) розширюється за допомогою ПВП, після чого сигнал надходить на вхід модулятора. При модуляції отриманої ПВП кожен біт модулюється вейвлетом з фіксованим значенням формуючих параметрів. Далі сигнал, модульований вейвлетом, множиться на сигнал з несучою частотою і передається абонентам.

На рис. 2.2 представлений алгоритм формування вейвлет модульованих ШПС з адаптивними значеннями вейвлет функції (F_b , F_c).

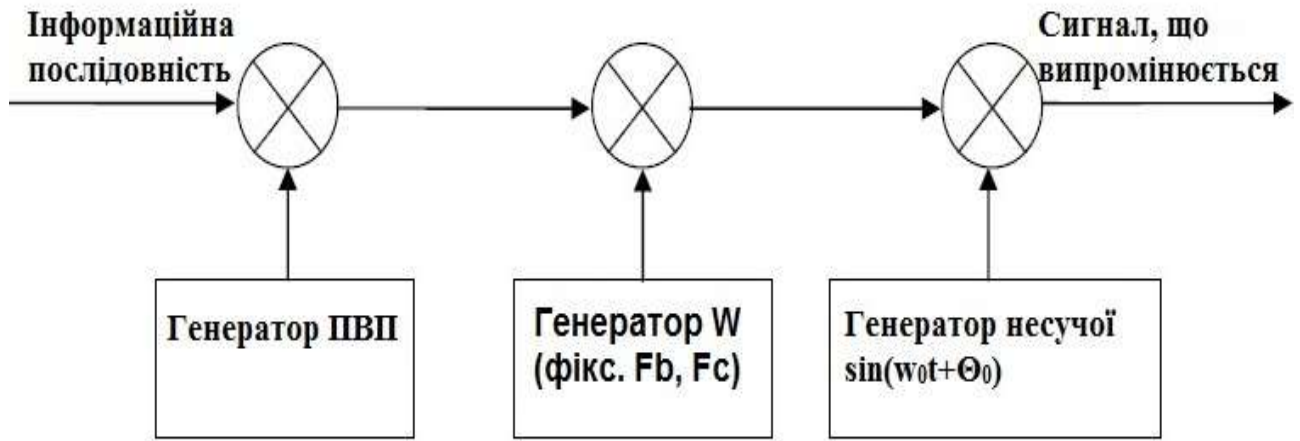


Рисунок 2.1 – Формування вейвлет модульованих ШПС з фіксованими значенням F_b , F_c

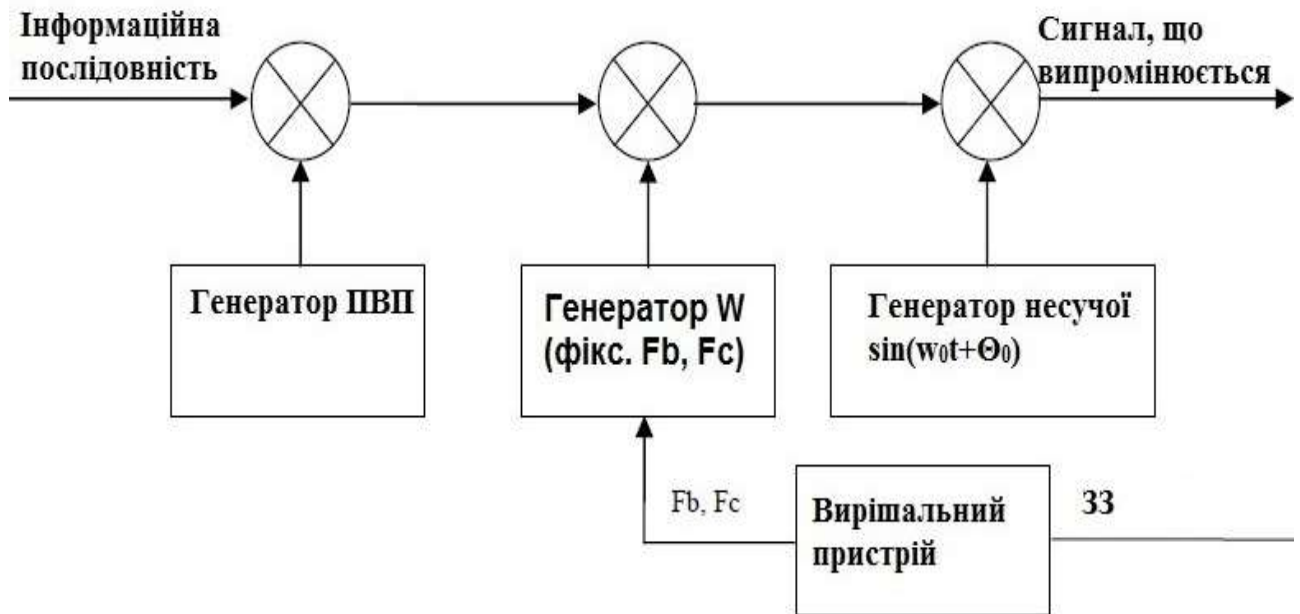


Рисунок 2.2 – Формування вейвлет модульованих ШПС з адаптивними значеннями F_b , F_c

Інформаційний сигнал (рис. 2.2) розширюється при ПВП, після чого сигнал надходить на вхід модулятора. У модуляторі кожен біт модулюється вейвлетом з адаптивними значеннями формуючих параметрів. Далі сигнал, модульований вейвлетом, множиться на сигнал з несучою частотою і передається абонентам. Після прийому переданого сигналу перевірочні біти по

каналу зворотного зв'язку повертаються на вирішальний пристрій, де приймається рішення про те, які параметри F_b , F_c використовувати у подальшому. Відповідно до прийнятого рішення вносяться зміни в генератор вейвлет функції.

Проаналізувавши представлені алгоритми, можна виділити наступні їх переваги й недоліки, що відображені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 Порівняльна характеристика алгоритмів формування вейвлет модульованих ШПС

	Переваги	Недоліки
Алгоритм формування вейвлет модульованих ШПС з фіксованим значенням F_b , F_c	Простота в організації	Недостатня гнучкість і адаптивність при формуванні сигналу
Алгоритм формування вейвлет модульованих ШПС з адаптивними значеннями F_b , F_c	Гнучкість і адаптивність при формуванні сигналу	Складність в організації через наявність зворотного зв'язку

З таблиці 2.1 видно, що кожен із запропонованих алгоритмів має свої переваги та недоліки.

Рішення про використання того чи іншого алгоритму при формуванні сигналу варто приймати, спираючись на інформацію про передбачувану систему зв'язку (вид завади і її потужність, потужності корисного сигналу, структури приймального пристрою і закладених в системі радіозв'язку заходів і способів підвищення завадостійкості).

Для прикладу, на рис. 2.3 представлений алгоритм формування широкопasmового фазомодульованого сигналу. Інформаційний сигнал розширюється за допомогою ПВП, далі сигнал надходить на вхід модулятора, де множиться на сигнал з частотою і передається абонентам.

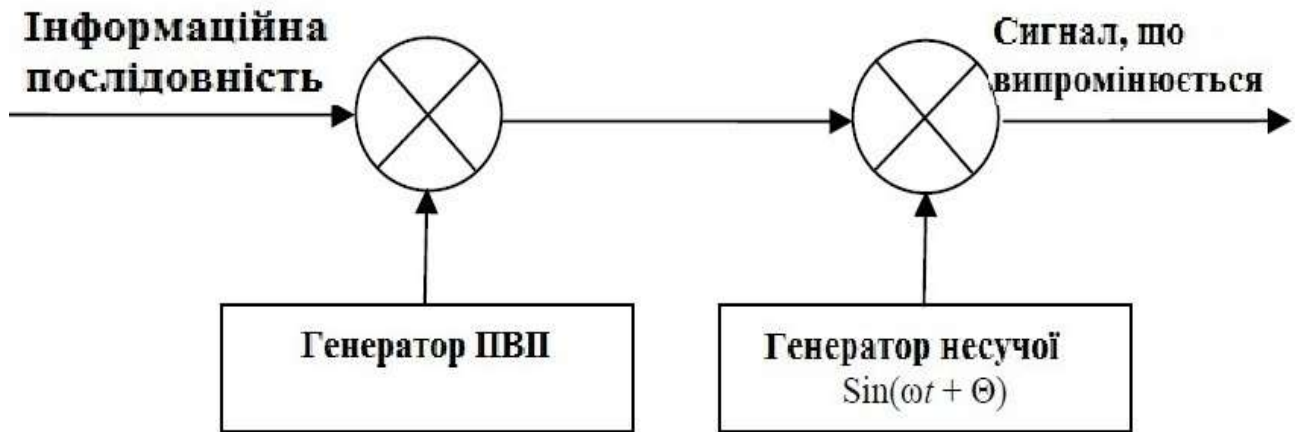


Рисунок 2.3 – Формування широкосмугового фазомодульованого сигналу

2.2 Організація завадостійкого зв'язку з використанням вейвлет-функцій Шеннона

Запропонований підхід відноситься до радіотехніки і може бути використаний для створення завадостійких систем зв'язку. Технічним результатом винаходу є зниження порогу стійкої роботи широкосмугової системи зв'язку на 3...6 дБ за рахунок розширення смуги формованого сигналу.

Організація завадостійкого зв'язку включає формування завадостійких широкосмугових сигналів шляхом модуляції ПВП. Для формування завадостійких сигналів модулюють кожен біт ПВП Голда вейвлет-функціями Шеннона з унікальними значеннями параметрів смуги частот (F_b) і центральної частоти (F_c), які змінюються від біта до біту і не повторюються для всіх елементів протягом всієї ПВП Голда, значення «0» і «1» бітової послідовності модулюють протилежними вейвлет-функціями Шеннона, далі сформовані сигнали демодулюють приймачем, що складається з 62 складових кореляторів.

Для формування сигналу методом прямого розширення спектра використовується ПВП Голда, отримана в результаті логічного додавання двох

породжуючих поліномів 5-го ступеню за модулем 2. Поліноми мають такий вигляд:

- породжуючий поліном для верхнього плеча схеми: $g_1(p)=p^5+p^2+1$,

- породжуючий поліном для нижнього плеча схеми: $g_2(p)=p^5+p^4+p^2+p+1$.

Схема модулятора вейвлет модульованих ШПС представлена на рис. 2.4.



Рисунок 2.4 – Схема модулятора вейвлет модульованих ШПС

Відповідно до рис. 2.4 вихідна інформаційна послідовність спочатку розширюється при використанні ПВП Голда, потім на кожен отриманий біт інформації накладається вейвлет-імпульс.

Моделювання запропонованого підходу до організації завадостійкого зв'язку з використанням вейвлет-функцій Шеннона було проведено в середовищі Matlab/Simulink. Для генерації вейвлета Шеннона використовується функція `shanwavf`, яка повертає вектор rsi значень комплексного вейвлета Шеннона (2.1), визначеного на інтервалі (lb, ub) . При цьому значення смуги частот Fb і центральної частоти Fc вейвлета повинні задовольняти нерівності $Fc \leq Fb/2$. Крім того, функція забезпечує висновок часової сітки x , що містить N точок області визначення вейвлета.

Вейвлет Шеннона не володіє компактним носієм: найбільша частина його енергії зосереджена на інтервалі, ширина якого визначається пропускнуою здатністю (носієм Фур'є-образу).

Схема реалізації послідовності Голда представлена на рис. 2.5.

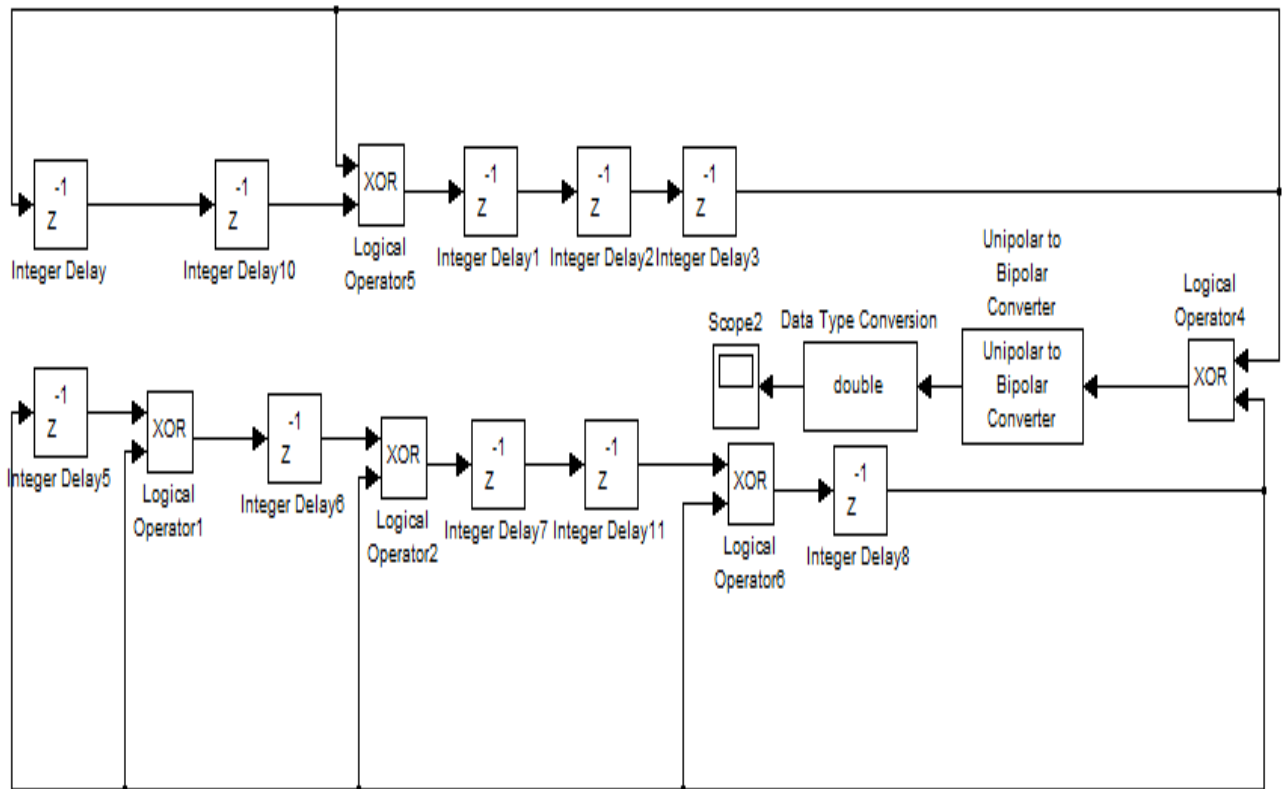


Рис. 2.5 – Схема реалізації послідовності Голда в середовищі Matlab/Simulink

Для модуляції отриманої ПВП використовувалася вейвлет-функція Шеннона, загальний вигляд якої показаний на рис. 2.6.

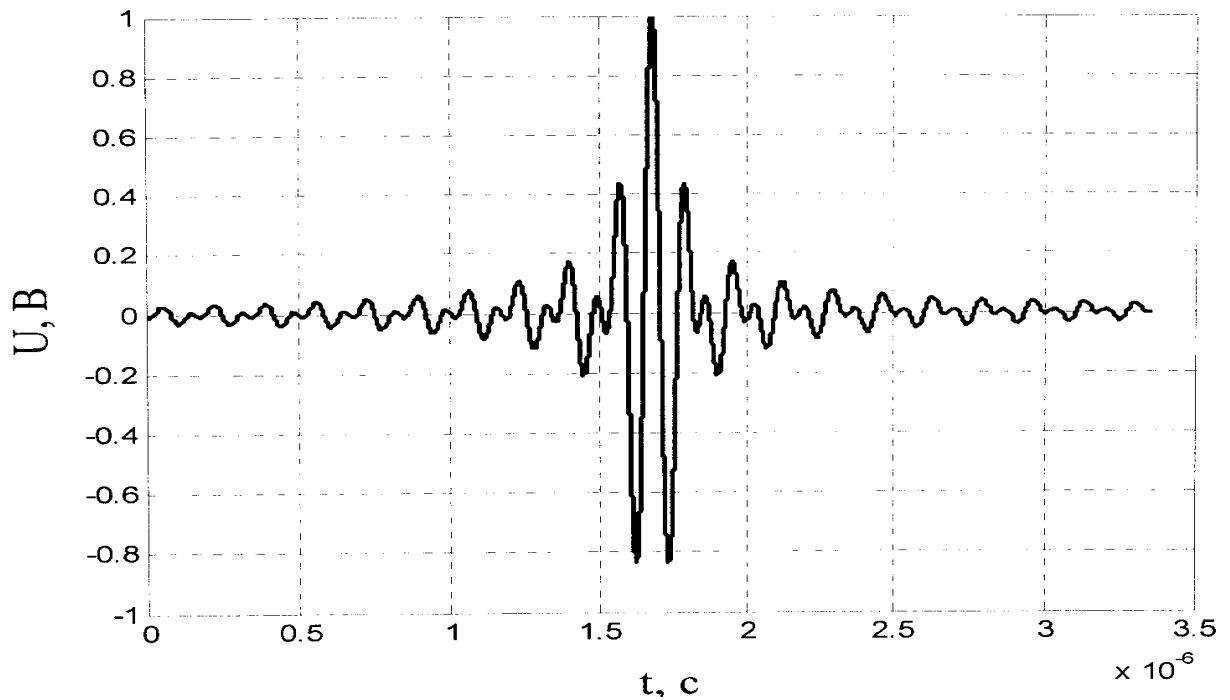


Рис. 2.6 – Загальний вигляд вейвлет-функції Шеннона

Загальний вигляд сигналу, модульованого вейвлет-функцією Шеннона з постійними параметрами, показаний на рис. 2.7, спектр цього сигналу – на рис. 2.8.

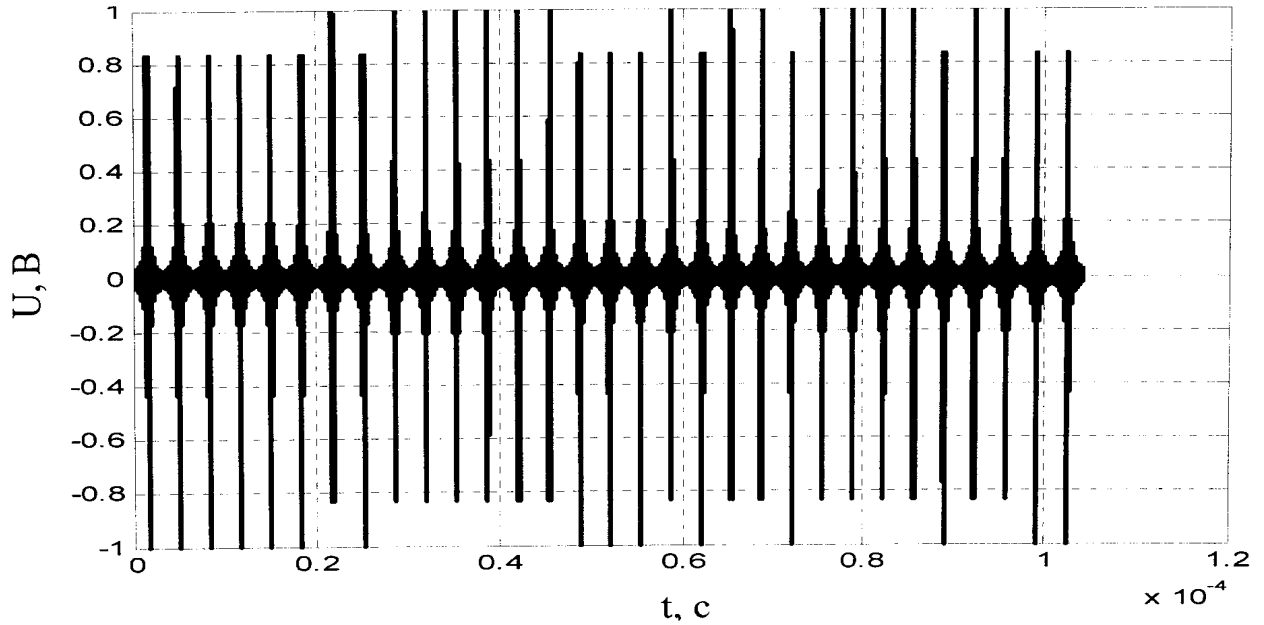


Рис. 2.7 – Загальний вигляд сигналу, модульованого вейвлет-функцією Шеннона з постійними параметрами

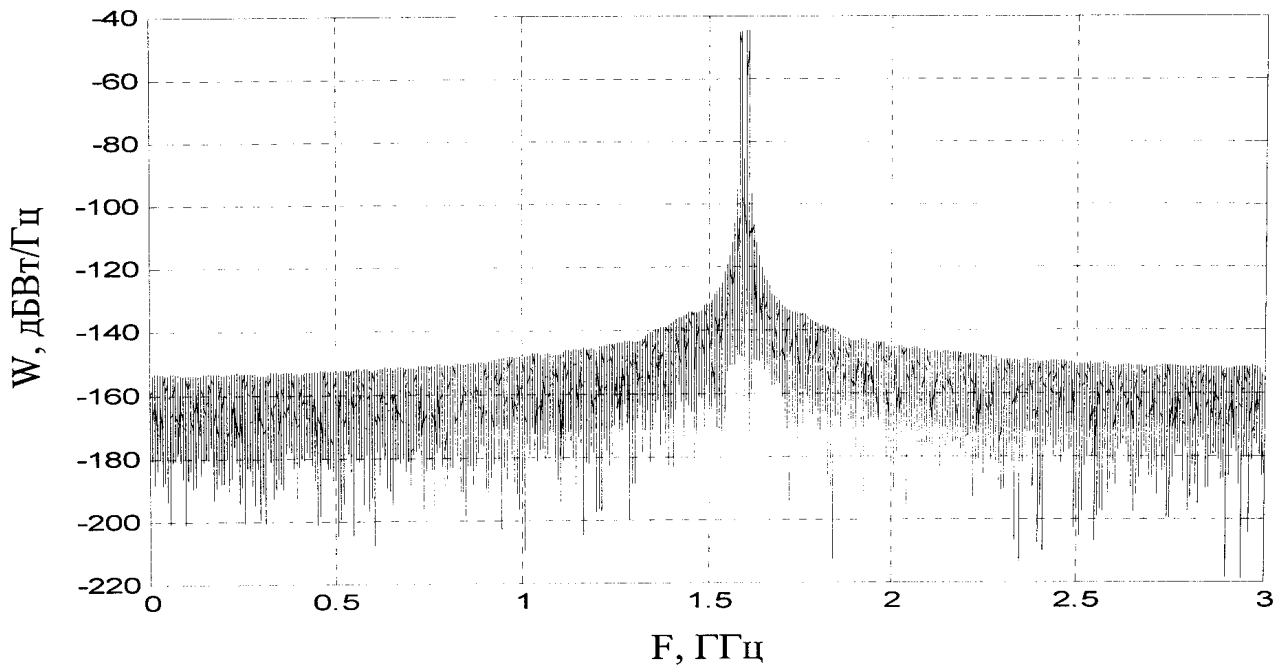


Рис. 2.8 – Спектр сигналу, модульованого вейвлет-функцією Шеннона з постійними параметрами

Вид сигналу, модульованого вейвлет-функцією Шеннона зі змінними параметрами (смуги частот (F_b) і центральної частоти (F_c)), показаний на рис. 2.9, його спектр – на рис. 2.10.

Для порівняння, загальний вид сигналу, модульованого двійковою фазовою модуляцією показаний на рис. 2.11 і спектр цього сигналу – на рис. 2.12.

Аналіз рис. 2.7-2.12 дозволяє зробити висновок, що найбільшу ширину спектра має сигнал, отриманий шляхом модуляції вейвлет-функцією Шеннона зі змінними параметрами.

Для кількісної оцінки виграшу від використання даного підходу до формування завадостійких сигналів проведено аналіз відносної завадозахищеності.

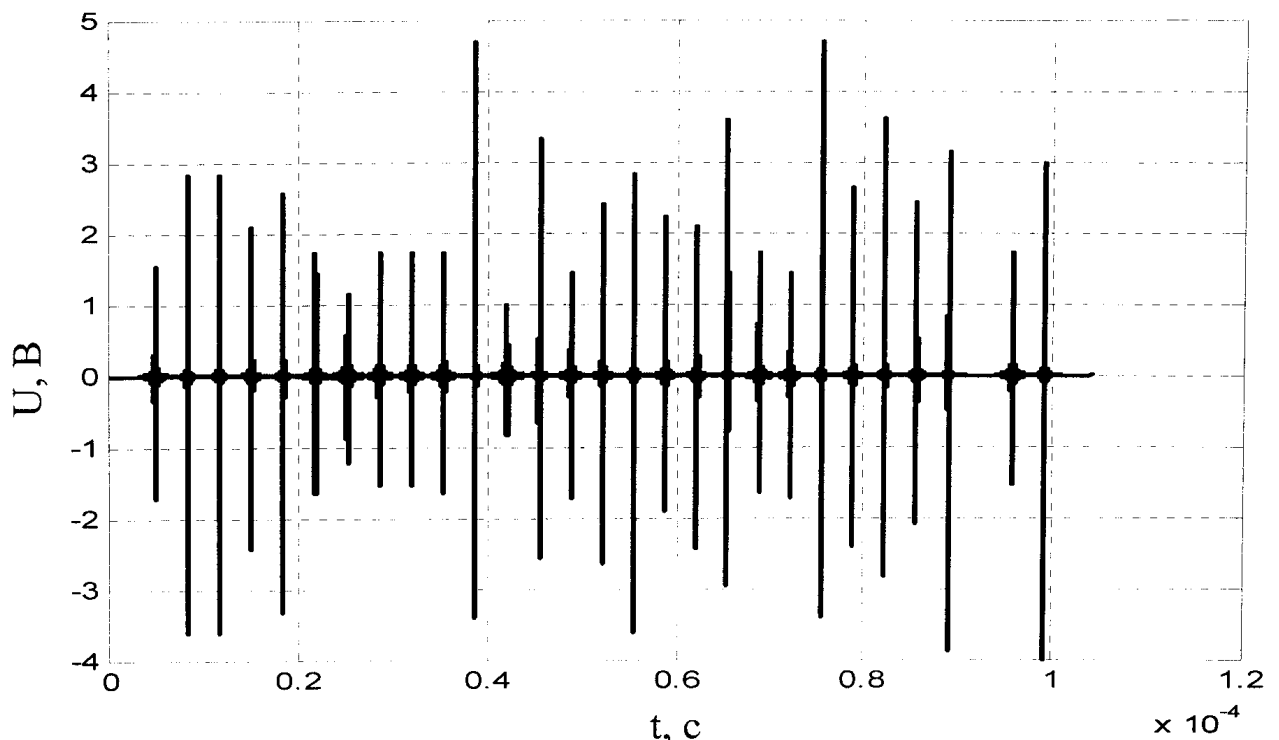


Рис. 2.9 – Загальний вигляд сигналу, модульованого вейвлет-функцією Шеннона зі змінними параметрами

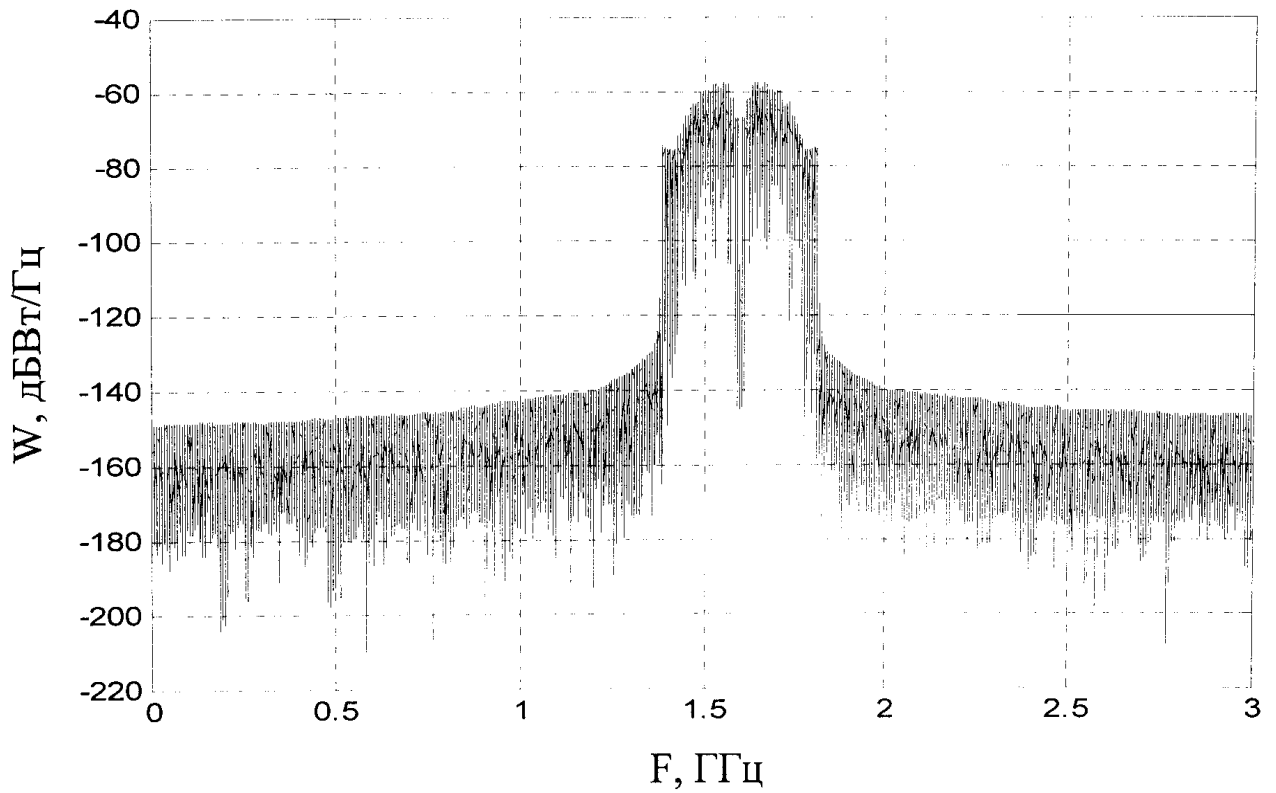


Рис. 2.10 – Спектр сигналу, модульованого вейвлет-функцією Шеннона зі змінними параметрами

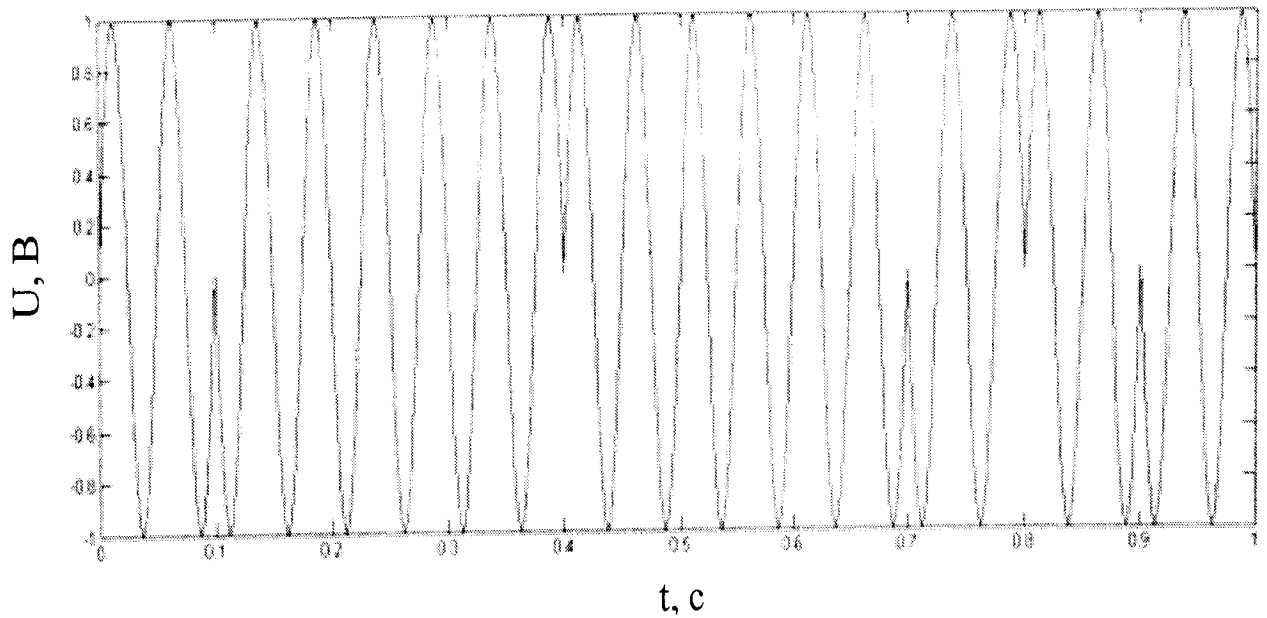


Рис. 2.11 – Загальний вигляд сигналу, модульованого двійковою фазовою модуляцією

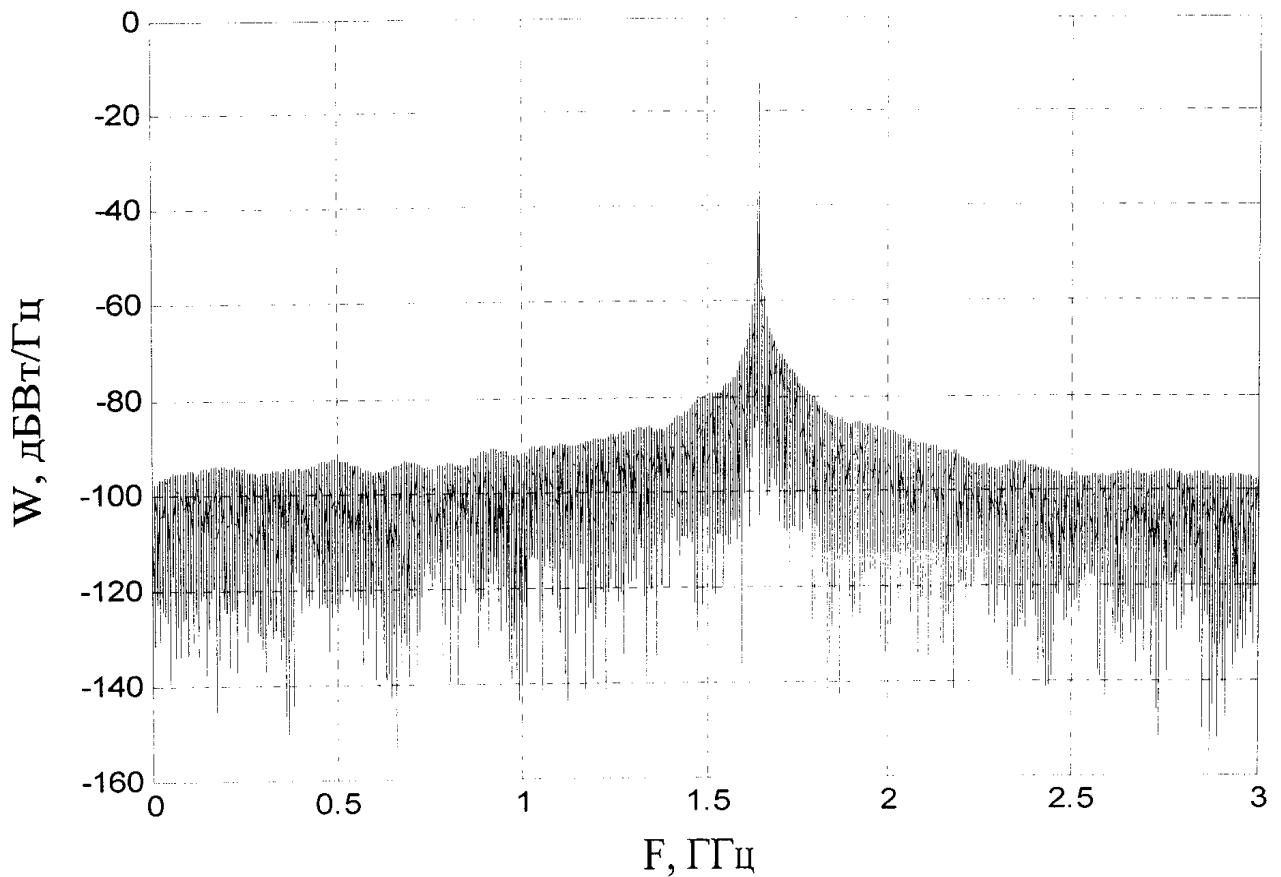


Рис. 2.12 – Спектр сигналу, модульованого двійковою фазовою модуляцією

Відносна завадозахищеність сигналу визначається співвідношенням:

$$P_{0(W)ШПС} = \frac{M \cdot f_{ТШ}}{\eta_c \cdot f_{ТІ} \cdot h_0^2}, \quad (2.2)$$

де M – коефіцієнт, що показує у скільки раз ширина спектра сигналу W ШПС більше ширини спектра сигналу ФМ ШПС; $f_{ТШ}$ – тактова частота ПВП, Гц; $\eta_c=2$ дБ – коефіцієнт, що враховує втрати потужності при згортці сигналу; $f_{ТІ}=9,6$ кГц – тактова частота інформаційного сигналу; $h_0^2=9$ дБ – відношення потужності сигналу до потужності шумів в смузі шириною $f_{ТІ}$, необхідне для забезпечення ймовірності похибки, що не перевищує 10^{-3} .

Значення ймовірності похибки, що не перевищує 10^{-3} отримано при використанні згортчного кодування з декодуванням за алгоритмом Вітербі і заданої швидкості передачі 9.6 кГц.

Зв'язок між тактовою частотою і довжиною ПВП:

$$f_{ТШ} = \frac{N_{ПВП}}{T_{СИМ}}, \quad (2.3)$$

де $N_{ПВП}$ – довжина кодууючої ПВП; $T_{СИМ}=1/V_{СИМ}$ – тривалість символу, $T_{СИМ}=104,17 \cdot 10^{-6}$ с.

У таблиці 2.2 наведені значення відносної завадозахищеності, значення тактової частоти ПВП, довжина кодууючої ПВП при швидкості передачі $V_{СИМ}=9,6$ кбіт/с.

Таблиця 2.2 Відносна завадозахищеність для різних способів формування сигналів

	Тип модуляції		
	Вейвлет модульований ШПС з постійними значеннями F_b і F_c	Вейвлет модульований ШПС зі змінними значеннями F_b і F_c	ФМ ШПС
$N_{ПВП}$	31	31	31
$f_{ТШ}$, МГц	0,298	0,298	0,298
ΔF , МГц	23,4	219,7	0,15
$P_{0(W)ШПС}$, дБ	26,88	34,47	3,85

З отриманих результатів (таблиця 2.2) випливає, що при однаковій довжині ПВП Голда найкращою відотною завадозахищеністю володіє сигнал, модульований вейвлет-функцією Шеннона зі змінними параметрами (смуги частот (F_b) і центральної частоти (F_c)).

2.3 Порівняльний аналіз ймовірності похибки в каналі зв'язку під час використання вейвлет модульованих сигналів

Математична модель каналу зв'язку побудована в середовищі Matlab / Simulink, її структурна схема приведена на рис. 2.13 і містить кодер, модулятор,

канал поширення з адитивним білим Гаусівським шумом, демодулятор, декодер і підсистему синхронізації.

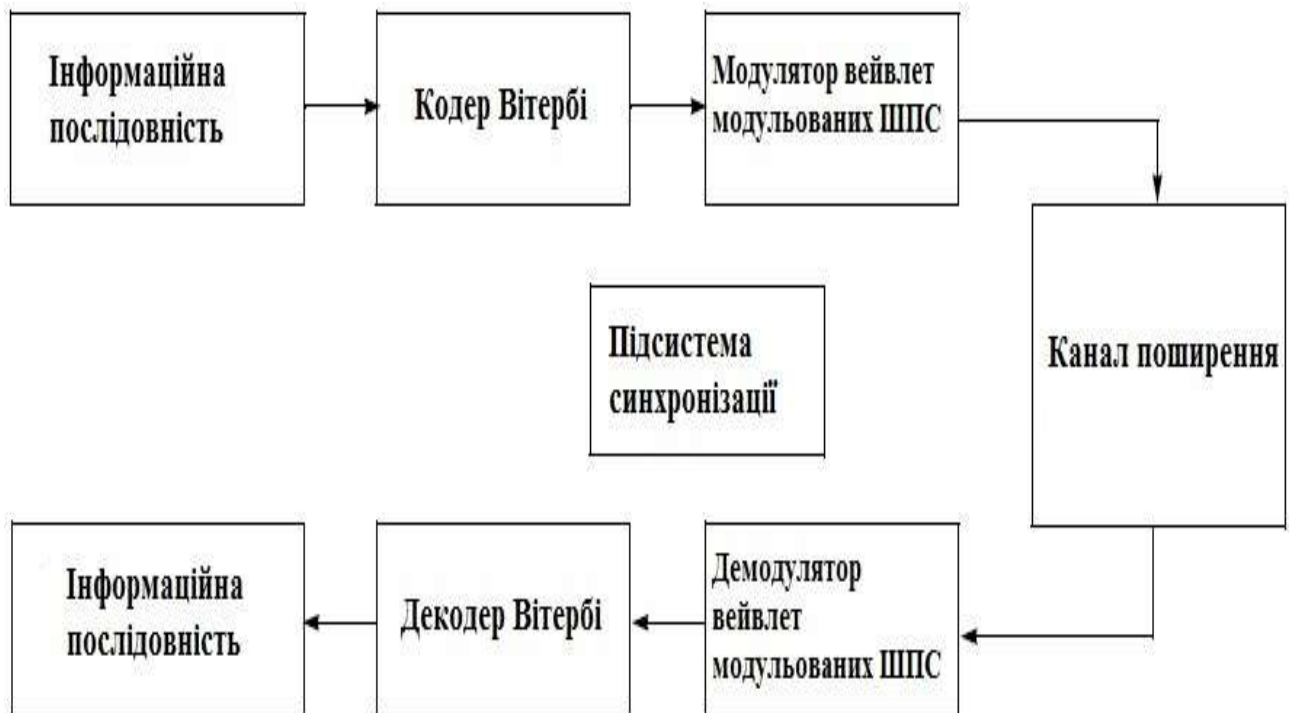


Рис. 2.13 – Структурна схема каналу зв'язку з використанням вейвлет модульованих ШПС

Демодулятор побудований за класичною схемою кореляційного приймача. Його схема наведена на рис. 2.14. При цьому число складових кореляторів в разі демодуляції вейвлет модульованих ШПС з постійними параметрами дорівнює двом, а в разі демодуляції вейвлет модульованих ШПС зі змінними параметрами дорівнює довжині використовуваної ПВП.

Розроблена схема організації зв'язку з вейвлет модульованих ШПС сигналами заснована на використанні цифрового модулятора і демодулятора, тому підсистема синхронізації є подібній системі з фазовим автопідстроюванням частоти.

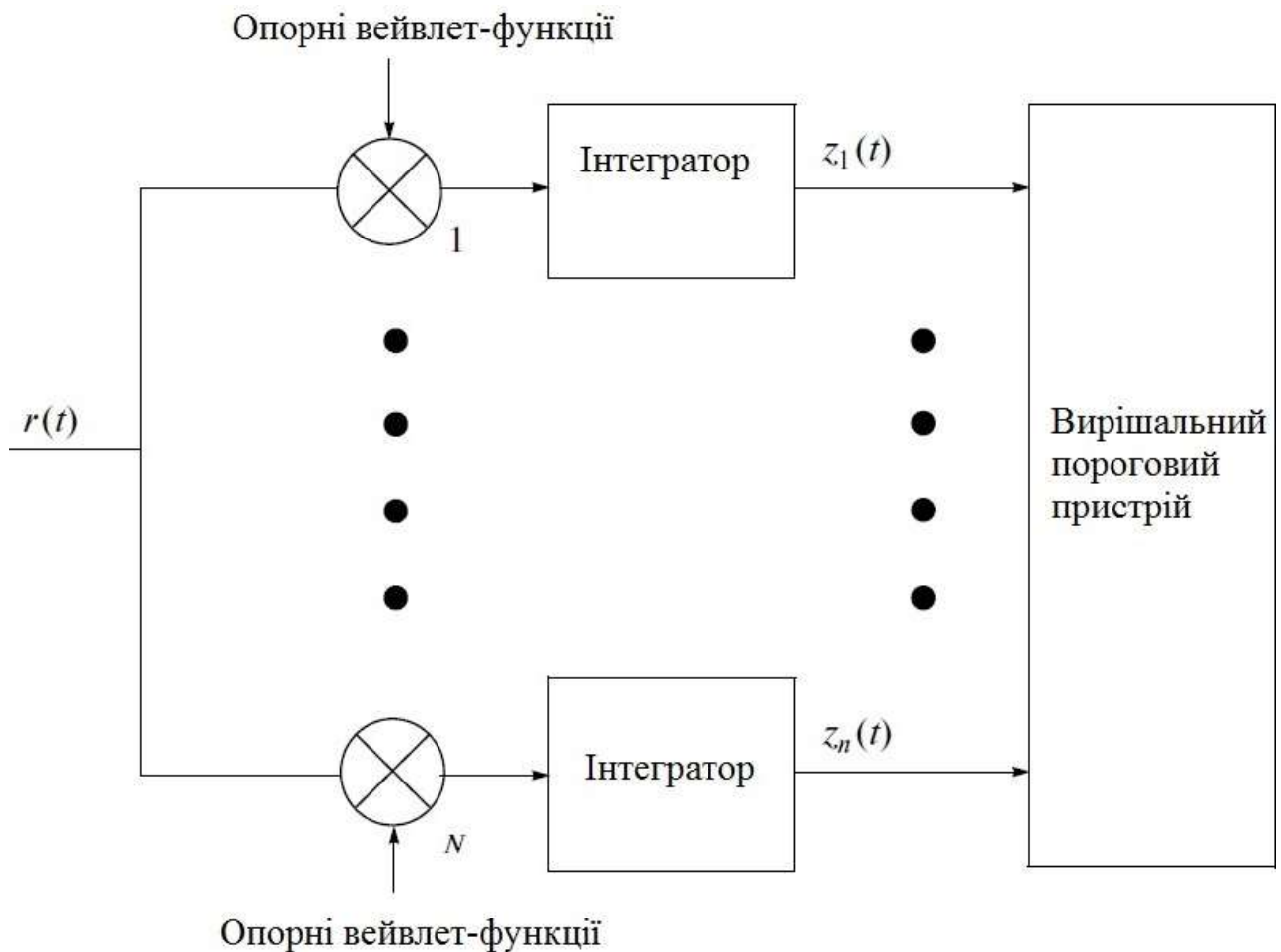


Рис. 2.14 – Схема демодулятора вейвлет модульованих ШПС

На рис. 2.15 показана типова схема контуру ФАПЧ, але тільки в якості детектора неузгодженості використовується набір кореляторів з опорними вейвлет-імпульсами. Контурний фільтр виконує аналіз вихідних сигналів складових кореляторів, оцінюючи неузгодженості між опорними і прийнятими сигналами. Генератор, керований напругою, являє собою постійну пам'ять, якою управляє таймер і вихід контурного фільтра. Крім побітної виконується символна синхронізація кожного прийнятого блоку ПВП.

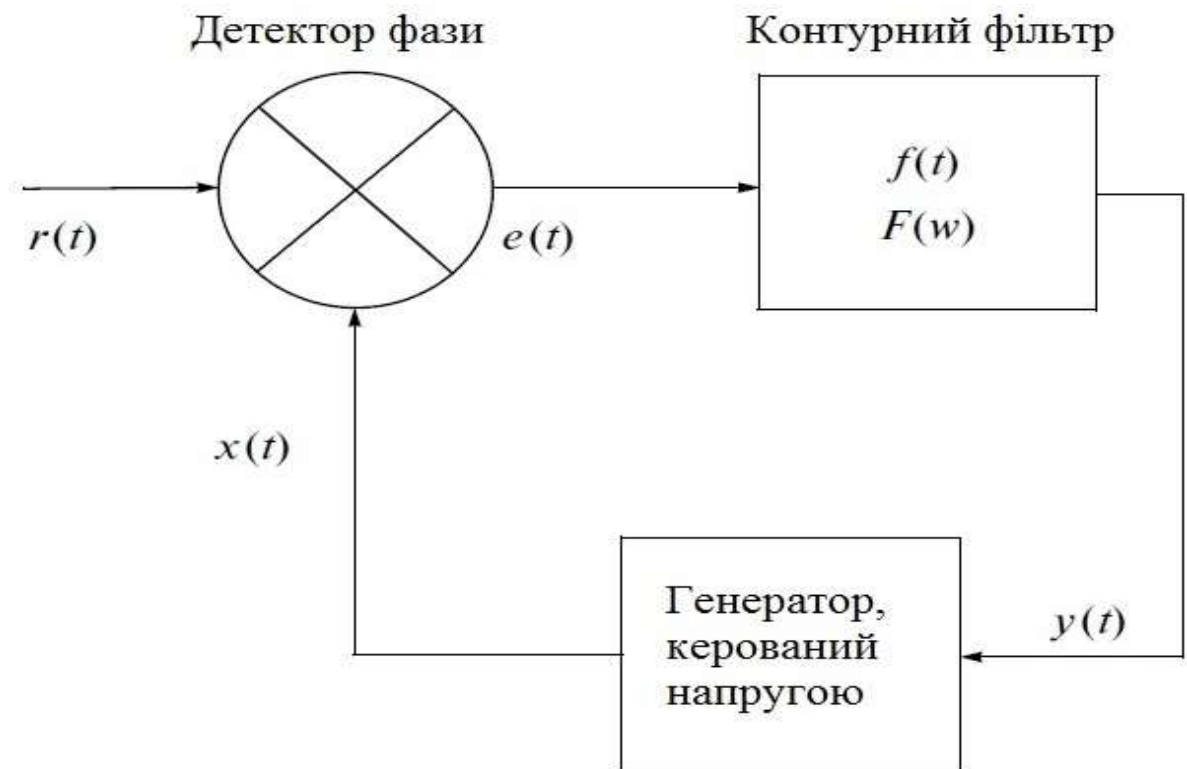


Рис. 2.15 – Типова схема контуру ФАПЧ

Для оцінки ймовірності похибки при прийомі сигналу в умовах впливу адитивного білого Гаусівського шуму використовуються наступні співвідношення.

Розрахунок відношення сигнал/шум відбувається згідно наступному співвідношенню:

$$S/n = 10 \cdot \log_{10}(U_s^2 \cdot T_i / P_n), \quad (2.4)$$

де U_s – напруга сигналу на вході приймача, В; T_i – тривалість імпульсу, с; P_n – спектральна щільність потужності шуму, Вт/Гц.

Розрахунок ймовірності похибки при прийомі інформаційних біт відбувається згідно:

$$P_{inf} = M/N \cdot 100\%, \quad (2.5)$$

де P_{inf} – ймовірність бітової похибки при прийомі сигналу, %; M – кількість неприйнятих інформаційних біт; N – загальна кількість переданих інформаційних біт.

В умовах відсутності завадостійкого кодування інформаційний біт вважається неприйнятним, якщо хоча б 1 з 31 біт ПВП буде прийнятий невірно.

Результати оцінки ймовірності похибки при прийомі інформаційних біт в залежності від відношення сигнал/шум (при впливі білого Гаусівського шуму) для різних способів формування завадостійких сигналів (графік 1 – вейвлет модульований ШПС зі змінними параметрами, графік 2 – вейвлет модульований ШПС з постійними параметрами, графік 3 – фазо-модульований ШПС) наведені на рис. 2.16.

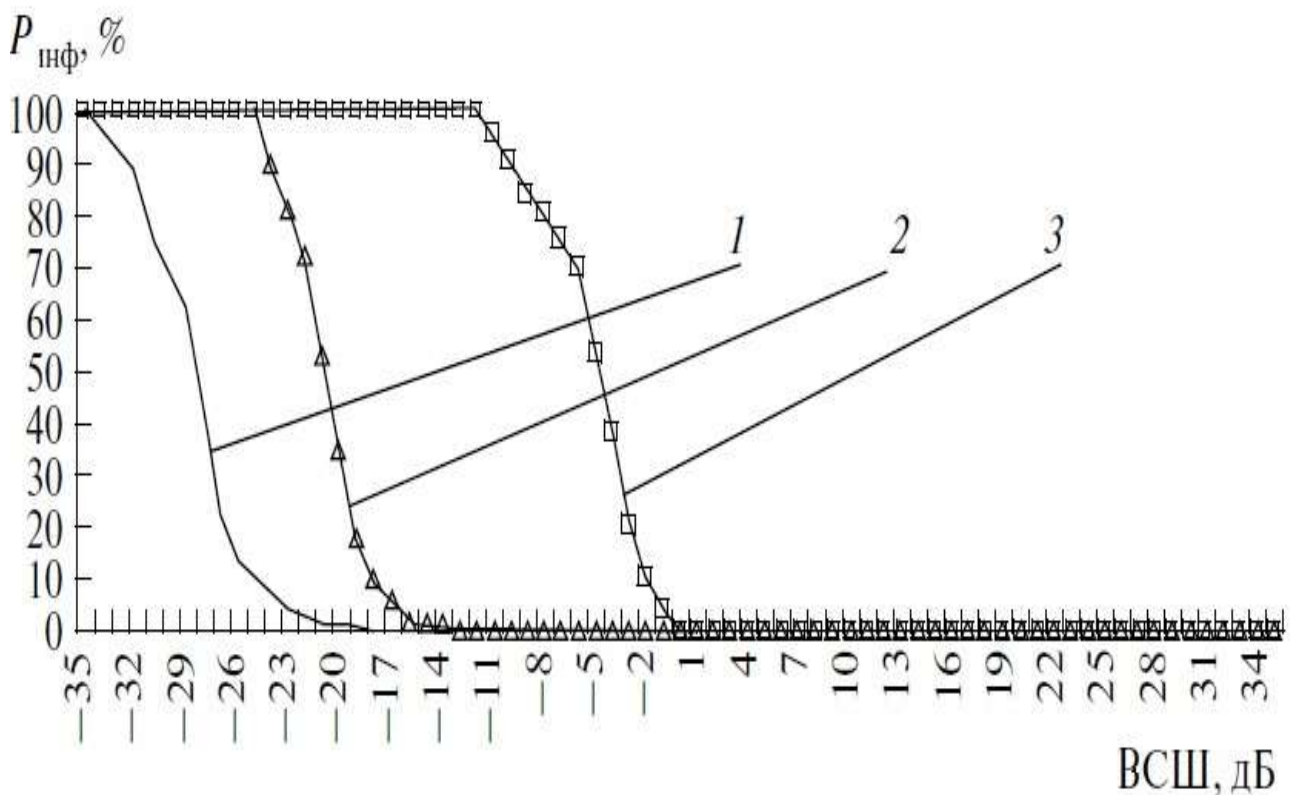


Рис. 2.16 – Результати оцінки ймовірності похибки при прийомі інформаційних біт в залежності від відношення сигнал/шум для різних широкосмугових сигналів: 1 – вейвлет модульований ШПС зі змінними параметрами, 2 – вейвлет модульований ШПС з постійними параметрами, 3 – фазо модульований ШПС

Порівняльний аналіз отриманих результатів (рис. 2.16) дозволяє зробити висновок, що найбільш ефективним є запропонований підхід до організації

завадостійкого зв'язку з використанням сигналу вейвлет модульованого ШПС зі змінними значеннями параметрів F_b і F_c вейвлет-функції Шеннона (на відміну від вейвлет модульованого сигналу з постійними параметрами та фазо модульованого сигналу).

Таким чином, технічним результатом запропонованого підходу до формування сигналів є зниження порогу стійкої роботи широкопasmової системи зв'язку на 3...6 дБ шляхом формування, прийому і демодуляції завадостійких сигналів, модульованих методом прямого розширення спектра з використанням в якості модулюючої вейвлет-функції Шеннона зі змінними значеннями параметрів F_b і F_c .

2.4 Висновки

В розділі наведено алгоритм формування вейвлет модульованих ШПС з адаптивними значеннями вейвлет функції (F_b , F_c). Перевагами запропонованого алгоритму є гнучкість і адаптивність при формуванні сигналу [25].

Запропоновано підхід до організації завадостійкого зв'язку, що включає формування завадостійких широкопasmових сигналів шляхом модуляції ПВП. Для цього модулюють кожен біт ПВП Голда вейвлет-функціями Шеннона з унікальними значеннями параметрів смуги частот (F_b) і центральної частоти (F_c), які змінюються від біта до біту і не повторюються для всіх елементів протягом всієї ПВП Голда. При цьому значення «0» і «1» бітової послідовності модулюють протилежними вейвлет-функціями Шеннона, далі сформовані сигнали демодулюють приймачем, що складається з 62 складових кореляторів.

Оцінка ефективності запропонованого підходу до організації завадостійкого зв'язку з використанням вейвлет-функцій Шеннона була проведена в середовищі Matlab/Simulink. Встановлено, що найбільшу ширину спектра має сигнал, отриманий шляхом модуляції вейвлет-функцією Шеннона зі змінними параметрами (на відміну від вейвлет модульованого сигналу з постійними параметрами та фазо модульованого сигналу).

Для кількісної оцінки виграшу від використання запропонованого підходу формування завадостійких сигналів проведено аналіз відносної завадостійкості. Встановлено, що при однаковій довжині ПВП Голда найкращою відносною завадозахищеністю володіє сигнал, модульований вейвлет-функцією Шеннона зі змінними параметрами.

В результаті оцінки ймовірності похибки при прийомі інформаційних біт в залежності від відношення сигнал/шум (при впливі білого Гаусівського шуму) для різних способів формування завадостійких сигналів встановлено, що найбільш ефективним є запропонований підхід до організації завадостійкого зв'язку з використанням сигналу вейвлет модульованого ШПС зі змінними значеннями параметрів F_b і F_c вейвлет-функції Шеннона (на відміну від вейвлет модульованого сигналу з постійними параметрами та фазо модульованого сигналу).

3 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

3.1 Визначення трудомісткості організації системи зв'язку з використанням вейвлет-функцій Шеннона

Трудомісткість продукції – показник, який характеризує витрати робочого часу на виробництво будь-якої споживчої вартості або на виконання конкретної технологічної операції. Трудомісткість проектування квазікогерентного модулятора сигналу з квадратурною фазовою маніпуляцією розраховується за формулою (3.1):

$$t = t_0 + t_d + t_a + t_{al} + t_o + t_{pa} + t_{od} \quad (3.1)$$

де t_0 – витрати праці на підготовку і опис поставленого завдання;

t_d – витрати праці на дослідження інформації про застосування шумоподібних сигналів в системах зв'язку;

t_a – витрати праці на аналіз існуючих способів формування та обробки складних сигналів в заводо захищених радіосистемах;

t_{al} – витрати праці на створення алгоритми формування вейвлет модульованих ширококутних сигналів;

t_o – витрати праці на організацію заводостійкого зв'язку з використанням вейвлет-функцій Шеннона;

t_{pa} – витрати праці на порівняльний аналіз ймовірності похибки в каналі зв'язку під час використання вейвлет модульованих сигналів

t_{od} – витрати праці на оформлення документації.

У таблиці 3.1 зведені данні тривалості процесів, що мали місце при організації системи зв'язку з використанням вейвлет-функцій Шеннона.

Отже, загальна трудомісткість за формулою 3.1:

$$t = 6 + 24 + 29 + 28 + 35 + 35 + 20 = 177 \text{ годин}$$

Таблиця 3.1 – Тривалість робочих процесів

Назва робочого процесу	Тривалість, год.
Витрати праці на підготовку і опис поставленого завдання	6
Витрати праці на дослідження інформації про застосування шумоподібних сигналів в системах зв'язку	24
Витрати праці на аналіз існуючих способів формування та обробки складних сигналів в заводо захищених радіосистемах	29
Витрати праці на створення алгоритми формування вейвлет модульованих широкосмугових сигналів	28
Витрати праці на організацію заводостійкого зв'язку з використанням вейвлет-функцій Шеннона	35
Витрати праці на організацію заводостійкого зв'язку з використанням вейвлет-функцій Шеннона	35
Витрати праці на оформлення документації	20

3.2 Розрахунок капітальних витрат на організацію системи зв'язку з використанням вейвлет-функцій Шеннона

Капітальні витрати на організацію системи зв'язку з використанням вейвлет-функцій Шеннона включають витрати на заробітну плату інженера телекомунікацій і вартість машинного часу.

Заробітна плата – винагорода, обчислена, зазвичай, у грошовому виразі, яку за трудовим договором власник або уповноважений ним орган виплачує працівникові за виконану ним роботу. Розмір заробітної плати залежить від складності та умов виконуваної роботи, професійно-ділових якостей працівника, результатів його праці та господарської діяльності підприємства.

Витрати на заробітну плату розраховуються за формулою 3.2:

$$ЗП = t \times C \quad (3.2)$$

де t – загальна трудомісткість організацію системи зв'язку;

C – середня годинна заробітна плата інженера телекомунікацій (основна і додаткова) з урахуванням єдиного соціального внеску, грн/год.

Середня заробітна плата інженера телекомунікацій на 01.02.2019 р. складає 8670 грн. Отже, заробітна плата інженера телекомунікацій з урахуванням премій (20%) і можливих надбавок (10%) складає 11271 грн.

Таким чином, річний фонд заробітної плати – 135252 грн. Єдиний соціальний внесок складає 36%, тобто 48690,72 грн.

Визначимо номінальний річний фонд робочого часу, при цьому прийнявши середню тривалість робочого дня рівної 8 годинам:

$$F_H = (T_k - T_{св} - T_{вих} - T_{від}) t_p \quad (3.3)$$

де T_k – кількість календарних днів у році, днів;

$T_{св}$ – кількість святкових днів у році, днів;

$T_{вих}$ – кількість вихідних днів у році, днів;

$T_{від}$ – календарна тривалість відпустки, днів.

Отже, річний фонд часу за формулою 3.3 дорівнює:

$$F = (356 - 10 - 104 - 27) 8 = 1792 \text{ годин}$$

Середня годинна заробітна плата інженера телекомунікацій визначається співвідношенням 3.4, яка має вигляд:

$$C_{зп} = \Phi ЗП_{сп} / F, \text{ грн.-год}, \quad (3.4)$$

де $\Phi ЗП_{сп}$ – річний фонд заробітної плати з урахуванням єдиного соціального внеску;

F – річний фонд робочого часу.

Отже середня заробітна плата інженера телекомунікацій за годину визначається за формулою 3.4 дорівнює:

$$C_{зп} = 183942,72 / 1792 = 102,65 \text{ грн}$$

Таким чином, витрати на оплату праці розробника складають:

$$ЗП = 177 \times 102,65 = 18169,05 \text{ грн}$$

Розрахунок вартості машинного часу, необхідного для розробки на ЕОМ включає витрати на програмне та апаратне забезпечення і витрати за електроенергію, здійснюється по формулі 3.5:

$$Z_{\text{мч}} = C_o + C_{\text{ел}} \quad (3.5)$$

де C_o – витрати на обладнання, грн;

$C_{\text{ел}}$ – витрати на електроенергію, грн.

Для розрахунку вартості машино-часу необхідно знати вартість ЕОМ та ПЗ на момент їх придбання і введення в експлуатацію, і вартість споживаної електроенергії. Вартість персонального комп'ютеру складає 12730 грн, Matlab 6.5 – 5500 грн, разом – 18230 грн.

Витрати на електроенергію залежать від часу роботи на ЕОМ та собівартості машино-години роботи ЕОМ і розраховується за формулою:

$$C_{\text{ел}} = C_{\text{мч}} \times t \quad (3.6)$$

$$C_{\text{мч}} = W \times \Pi_{\text{ел}} \quad (3.7)$$

Де W – потужність ЕОМ, $W = 0,5$ кВт/год.

$\Pi_{\text{ел}}$ – вартість $1\text{кВт}\cdot\text{год}$ електроенергії. З 1.02.19 за обсяг, спожитий понад 150 кВт · год до 600 кВт · год електроенергії на місяць (включно) складає 1,83 грн.

$$C_{\text{ел}} = 0,5 \times 1,83 \times 177 = 161,96 \text{ грн}$$

Отже, капітальні витрати на організацію системи зв'язку з використанням вейвлет-функцій Шеннона складають:

$$V_{\text{роз}} = 18169,05 + 18230 + 161,96 = 36561,01 \text{ грн}$$

3.3 Висновок

Визначені трудомісткість організації системи зв'язку з використанням вейвлет-функцій Шеннона (177 годин), заробітна плата інженера телекомунікацій (18169,05 грн.), загальні капітальні витрати на організацію системи зв'язку з використанням вейвлет-функцій Шеннона, що складають 36561,01 грн.

ВИСНОВКИ

1. В результаті аналізу підходів до застосування шумоподібних сигналів в системах зв'язку встановлено, що застосування ШПС дозволяє забезпечувати високу стійкість щодо потужних завад, скритність, адресність, працездатність в загальній смузі частот, боротьбу з багатолучевістю, високу точності вимірювань і гарну ЕМС з багатьма радіотехнічними системами зв'язку. В результаті аналізу основних структурних схем широкосмугових систем зв'язку встановлено, що проектування заводозахищених ШСЗ наразі є актуальною задачею, яка ґрунтується на глибокому знанні теорії і техніки ШПС.

2. В результаті аналізу існуючих способів формування та обробки складних сигналів в заводозахищених радіосистемах встановлено їх недоліки:

- підвищення скритності сигналу, що передається досягається за рахунок зниження заводостійкості приймача радіолінії;

- в способі не розглянута можливість використання модуляції сигналу псевдовипадковою послідовністю, що знижує ефект підвищення заводостійкості;

- використання в якості модулюючої функції біортогональної вейвлет-функції з постійними параметрами тривалості і рівня, що не дозволяє забезпечити підвищену скритність і найбільшу ширину смуги сигналу, що формується.

3. Запропоновано підхід до організації заводостійкого зв'язку, що включає формування заводостійких широкосмугових сигналів шляхом модуляції ПВП. Для цього модулюють кожен біт ПВП Голда вейвлет-функціями Шеннона з унікальними значеннями параметрів смуги частот (F_b) і центральної частоти (F_c), які змінюються від біта до біту і не повторюються для всіх елементів протягом всієї ПВП Голда. При цьому значення «0» і «1» бітової послідовності модулюють протилежними вейвлет-функціями Шеннона, далі сформовані сигнали демодулюють приймачем.

4. В результаті оцінки ефективності запропонованого підходу до організації заводостійкого зв'язку встановлено, що найбільшу ширину спектра

та найкращу відносну завадозахищеність має сигнал, отриманий шляхом модуляції вейвлет-функцією Шеннона зі змінними параметрами (на відміну від вейвлет модульованого сигналу з постійними параметрами та фазо модульованого сигналу).

В результаті оцінки ймовірності похибки при прийомі інформаційних біт в залежності від відношення сигнал/шум (при впливі білого Гаусівського шуму) встановлено, що найбільш ефективним є запропонований підхід до організації завадостійкого зв'язку з використанням сигналу вейвлет модульованого ШПС зі змінними значеннями параметрів F_b і F_c вейвлет-функції Шеннона (на відміну від вейвлет модульованого сигналу з постійними параметрами та фазо модульованого сигналу).

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Колубакин В. Конференция в Дубне // ТЕЛЕ-Спутник, май. 1999. – С. 40.
2. Панько. С.П., Сухотин В.В. Несанкционированный доступ в системы спутниковых коммуникаций // Зарубежная радиоэлектроника. Успехи современной радиоэлектроники. – 2002. – № 4. – С. 15–27.
3. Семенов И.И. Широкополосные системы радиосвязи : учеб. пособие. Омск, 2000.
4. Варакин Л.Е. Системы связи с шумоподобными сигналами. – М.: Радио и связь, 1985. – 384 с.
5. Помехозащищенность систем радиосвязи с расширением спектра сигналов методом псевдослучайной перестройки рабочей частоты / В.И. Борисов [и др.]. – М.: Радио и связь, 2000.
6. Помехозащищенность систем радиосвязи с расширением спектра сигналов модуляцией несущей псевдослучайной последовательностью / В.И. Борисов [и др.]. – М. : Радио и связь, 2003.
7. Прокис Дж. Цифровая связь: пер. с англ. / под ред. Д.Д. Кловского. – М. : Радио и связь. 2000.
8. Тузов Г.И., Сивов В.А., Прытков В.И. Помехозащищенность радиосистем со сложными сигналами – М.: Радио и связь, 1985. – 420 с.
9. Котельников В.А. Теория потенциальной помехоустойчивости. Монография. – М.: Госэнергоиздат, 1956. –151 с.
10. Скляр Б. Цифровая связь. – М.: Вильямс, 2003. – 1104 с.
11. Шеннон К. Математическая теория связи: пер. с англ. – М.: ИЛ, 1963. – С. 243-332.
12. Torrieri D. J. Principles of secure communication systems. Dedham, M.A. : Artech House Inc., 1985. 286 p.
13. Заметки о технологиях мобильного ШПД // Технологии и средства связи. 2008. № 6. С. 24–25.

14. Патент RU № 2205496. Способ формирования и обработки сложного сигнала в помехозащищенных радиосистемах / А.В. Гармонов, В.В. Прилепский, С.В. Фурсов, А.В. Прилепский; заявитель и патентообладатель Воронеж. науч.-исслед. ин-т связи, – заявл. 06.05.2002, опубл. 27.05.2003.

15. Патент RU 2341030. Многомасштабная беспроводная связь / Мандиам Гиридхар Д.; заявитель и патентообладатель «Нокиа Корпорейшн», – заявл. 18.02.2005, опубл. 10.12.2008.

16. Патент RU 2412551. Способ формирования помехоустойчивых сигналов / А.В. Кузовников, Н.В. Демаков, В.А. Анжина и др.; заявитель и патентообладатель ОАО «Информационный спутниковые системы», – заявл. 19.02.2009, опубл. 20.02.2011.

17. Способ формирования помехозащищенных сигналов / А.В. Кузовников, В.Г. Сомов, В.И. Лавров, А.Л. Дерябин, В.А. Анжина // Сибирский журнал науки и технологий, 2010. – № 3. – С. 217-221.

18. Смоленцев Н. К. Основы теории вейвлетов. Вейвлеты в MATLAB. – М.: ДМК Пресс, 2008.

19. Дьяконов В. П. MATLAB 6.5 SP1/7 + Simulink 5/6. Обработка сигналов и проектирование фильтров. – М.: Солон-Пресс, 2005.

20. Болотов Н. В., Ткач Ю. В. Генерирование сигналов с фрактальными спектрами // Журнал технической физики. Т. 76. – 2006. – Вып. 4. – С. 91–98.

21. Котельников В. А. О пропускной способности «эфира» и проволоки в электросвязи // Радиотехника, 1995, № 4–5 (сдвоенный). С. 42–55.

22. Шеннон К. Работы по теории информации и кибернетике // Пер. с англ. М.: Издательство иностранной литературы, 1963. С. 243–332.

23. Джерри А. Дж. Теорема отсчетов Шеннона, ее различные обобщения и приложения // ТИИЭР, 1977, т. 65, № 11. С. 53–89.

24. Черноусов А.В., Кузовников А.В., Сомов В.Г. Исследование воздействия помех на широкополосные сигналы // Радиотехника. 2013. – № 6. – С. 85–88.

25. Методичні рекомендації до виконання дипломних робіт (проектів) бакалаврів та магістрів спеціальностей 125 Кібербезпека, 172 Телекомунікації та радіотехніка / Упоряд.: О.Ю. Гусєв, О.В. Герасіна, О.М. Алексєєв, О.В. Кручінін. – Дніпро: НГУ, 2018. – 50 с.

ДОДАТОК А. Відомість матеріалів кваліфікаційної роботи

№	Формат	Найменування	Кількість листів	Примітки
<i>Документація</i>				
1	A4	Реферат	3	
2	A4	Список умовних скорочень	1	
3	A4	Зміст	2	
4	A4	Вступ	2	
5	A4	Стан питання. Постановка задачі	29	
6	A4	Спеціальна частина	18	
7	A4	Економічний розділ	4	
8	A4	Висновки	2	
9	A4	Перелік посилань	3	
10	A4	Додаток А	1	
11	A4	Додаток Б	1	
12	A4	Додаток В	1	
13	A4	Додаток Г	1	

ДОДАТОК Б. Перелік документів на оптичному носії

1 Презентація Радінович.ppt

2 Диплом Радінович.doc

ДОДАТОК Г. Відгук керівника кваліфікаційної роботи

В І Д Г У К

**на кваліфікаційну роботу студента групи ТКіт-15-1 Радіовича І.О.
на тему: «Організація системи зв'язку з використанням вейвлет-функцій
Шеннона»**

Пояснювальна записка складається зі вступу, трьох розділів і висновків, розташованих на 70 сторінках.

Мета кваліфікаційної роботи є актуальною, оскільки вона спрямована на підвищення завадостійкості системи зв'язку шляхом формування в ній вейвлет модульованих сигналів з підвищеною завадозахищеністю та розширеним спектром.

При виконанні роботи автор продемонстрував добрий рівень теоретичних знань і практичних навичок. На основі аналізу підходів до застосування шумоподібних сигналів в системах зв'язку, і основних структурних схем широкополосних систем зв'язку в ній сформульовано задачі, вирішенню яких присвячений спеціальний розділ. У ньому було розроблено підхід до організації завадостійкого зв'язку з використанням вейвлет-функцій Шеннона і оцінено його ефективність.

Практична цінність роботи полягає в зниженні порогу стійкої роботи широкополосної системи зв'язку за рахунок розширення смуги формованого сигналу.

До недоліків роботи слід віднести недостатню проробку окремих питань.

Рівень запозичень у кваліфікаційній роботі відповідає вимогам «Положення про систему виявлення та запобігання плагіату».

В цілому робота задовольняє усім вимогам, а її автор Радіович І.О. заслуговує на оцінку «
» та присвоєння кваліфікації «фахівець з телекомунікаційної інженерії» за напрямом 6.050903 – телекомунікації.

**Керівник роботи,
к.т.н., доцент**

О.В. Герасіна