

МОДЕЛЮВАННЯ КАНАЛУ ПЕРЕДАВАННЯ ФРАКТАЛЬНИХ СИГНАЛІВ В УМОВАХ ВПЛИВУ АДИТИВНОГО ГАУСОВОГО ШУМУ ЗА ДОПОМОГОЮ ПАКЕТА SCILAB

У статті представлено створену за допомогою пакета математичних програм Scilab імітаційну модель каналу передавання сигналів типу фрактальний вейвлет. В межах цієї моделі за допомогою системи Xcos були побудовані імітаційні моделі передавача, Гаусового каналу та детектора фрактальних сигналів. За допомогою імітаційної моделі передавача побудовані часова діаграма та спектр сигналу типу фрактальний вейвлет. Проведено дослідження властивості кореляції сигналів типу фрактальний вейвлет при різних значеннях різниці фаз між корисним та опорним сигналом та перевірена можливість детектування заданої кодової послідовності. Перевірена можливість детектування кодової послідовності переданої сигналами типу фрактальний вейвлет в умовах дії адитивного Гаусового шуму різної інтенсивності. В імітаційній моделі з Гаусовим каналом було отримано максимальне значення дисперсії шуму при якому тестова послідовність відтворювалася детектором без помилок. Розраховане значення співвідношення сигнал/шум для цього значення дисперсії.

O. Baydur Modeling of the channel for transfer of fractal signals under the influence of additive Gaussian noise using the Scilab package. The article presents a simulation model of a channel for transmitting signals of the fractal wavelet type created using the Scilab mathematical software package. Within the framework of this model, simulating models of a transmitter, a Gaussian channel and a detector of fractal signals were built using the Xcos system. Using a transmitter simulation model, a time diagram and a spectrum of a fractal wavelet type signal were constructed. A study was made of the correlation properties of signals of the fractal wavelet type at different values of the phase difference between the useful and reference signals, and the possibility of detecting a given code sequence was tested. The possibility of detecting the code sequence transmitted by signals of the fractal wavelet type under the conditions of additive Gaussian noise of various intensities is verified. In the simulation model with a Gaussian channel, the maximum value of the noise variance was obtained at which the test sequence was reproduced by the detector without errors. The value of the signal-to-noise ratio for this dispersion value is calculated.

A. Байдур Моделирование канала передачи фрактальных сигналов в условиях воздействия аддитивного гауссова шума с помощью пакета Scilab. В статье представлена созданная с помощью пакета математических программ Scilab имитационная модель канала передачи сигналов типа фрактальный вейвлет. В рамках этой модели с помощью системы Xcos были построены имитационные модели передатчика, Гауссова канала и детектора фрактальных сигналов. С помощью имитационной модели передатчика построены временная диаграмма и спектр сигнала типа фрактальный вейвлет. Проведено исследование свойств корреляции сигналов типа фрактальный вейвлет при различных значениях разности фаз между полезным и опорным сигналом и проверена возможность детектирования заданной кодовой последовательности. Проверена возможность детектирования кодовой последовательности передаваемой сигналами типа фрактальный вейвлет в условиях действия аддитивного гауссова шума различной интенсивности. В имитационной модели с Гауссовым каналом было получено максимальное значение дисперсии шума при котором тестовая последовательность воспроизводилась детектором без ошибок. Рассчитано значение соотношения сигнал/шум для этого значения дисперсии.

Ключові слова: фрактальні сигнали, фрактальний вейвлет, завадозахищеність, канал передавання.

Постановка завдання. Досвід проведення Операції об'єднаних сил підтверджує тенденцію до широкого застосування противником новітніх засобів радіоелектронної боротьби (РЕБ) під час ведення бойових дій [1]. Тому створення систем передавання радіосигналів, що здатні працювати в умовах інтенсивних шумових завад є одним з головних напрямків розвитку систем військового зв'язку. У попередніх роботах з цієї теми досліджувалась теоретична можливість створення систем передавання радіосигналів, що здатні працювати в умовах високих рівнів перешкод та штучно створених завад [2]. За допомогою математичної моделі була доведена теоретична можливість використання в подібних системах сигналів типу фрактальних вейвлет [2]. Наступним кроком на шляху створення реального прототипу такої системи є побудова імітаційної моделі системи передавання фрактальних сигналів та дослідження її завадозахищеності.

Аналіз останніх публікацій. В наукових публікаціях країн блоку НАТО [3, 4] та російської федерації [5, 6] протягом минулого десятиліття активно досліджувалась можливість використання шумоподібних широкосмугових сигналів для підвищення завадостійкості систем зв'язку.

Але в більшості випадків використання подібних сигналів призводить до необхідності розробки спеціалізованого апаратного забезпечення, що є дуже дорогим і тривалим процесом. Тому з-поміж запропонованих шумоподібних сигналів був обраний фрактальний вейвлет (ФВ) [7], так як він може бути згенерований з використанням інтегральних схем, що випускаються серійно та мають невисоку вартість.

В досліджених публікаціях не була описана повноцінна імітаційна модель каналу передавання ФВ сигналів. Питання автокореляції ФВ сигналів та впливу на детектор сигналів білого гаусового шуму не достатньо висвітлені.

Тому, як важливий етап на шляху до створення прототипу передавача та приймача ФВ сигналів в цій роботі було вирішено завдання створення імітаційної моделі за допомогою вільного пакета математичних програм Scilab та проведені необхідні дослідження за допомогою цієї моделі.

Мета статті: розробка імітаційної моделі каналу передавання фрактальних сигналів для підтвердження виявлених теоретично властивостей та тестування у різних режимах роботи. Перевірка властивостей кореляції сигналу та здатності каналу передавання сигналів працювати в умовах наявності адитивного білого гаусового шуму. Постановка завдання для майбутніх досліджень.

Виклад основного матеріалу. Розглянемо створену імітаційну модель генератора сигналів ФВ зроблену за допомогою системи Xcos пакета математичних програм SciLab. За допомогою моделі отримуємо часову діаграму (ЧД) та амплітудно-частотний спектр (АЧС) сигналу ФВ.

Наступний крок буде моделювання проходження сигналу з впливом адитивного Гаусового шуму. На цьому етапі будуть отримані ЧД та АЧС сигналу з адитивним шумом на вході в приймач. Дисперсія шумового сигналу підбиратиметься таким чином, що власні частоти на ФВ не були помітні на АЧС входу приймача.

Останній крок це моделювання роботи детектора ФВ зі створенням ЧД та АЧС після спрацювання детектора сигналу.

З'ясування за допомогою моделі приймач-передавач, значення дисперсії шумового сигналу при якому неможливо буде розрізнити спектр отриманого сигналу ФВ.

Розрахунок отриманого значення співвідношення сигнал/шум (SNR) для визначеного значення дисперсії Гаусового шуму та заданих параметрів ФВ.

Модель генератора сигналу ФВ. Розглянемо математичний вираз, що описує фрактальний вейвлет [7],

$$s(t) = \prod_{n=0}^N \cos((1 - \xi)\xi^n 2\pi f_0 t),$$

де $N \rightarrow \infty$ в реальному застосуванні N вибирають в залежності від можливостей обладнання. При $0 < \xi < \frac{1}{2}$ частоти спектра даного сигналу [7] зосереджені на відрізьку $[0, f_0]$.

Для створення комп'ютерної моделі була обрана частота дискретизації моделі 1 ГГц. За таких умов вибір граничної частоти f_0 обмежений зверху межею 500 МГц. імітаційної моделі ФВ-генератора була отримана наступна часова діаграма ФВ-сигналу (рис. 2).

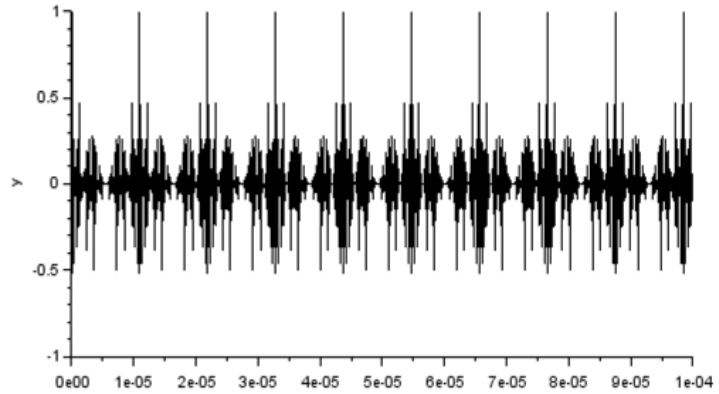
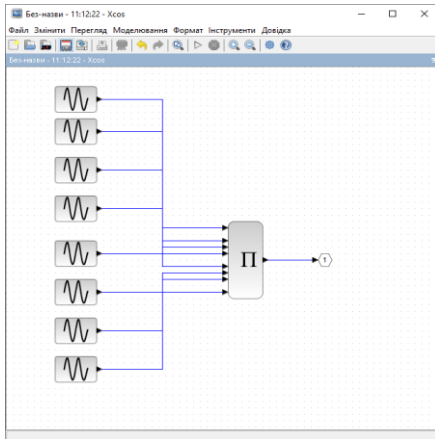


Рис. 1. Генератор фрактальних сигналів

Комп'ютерна модель була побудована з наступними параметрами $f_0 = 150\text{МГц}$, $\xi = \frac{1}{3}$, $N = 8$. Діаграма Xcos генератора ФВ-сигналів зображена на рис. 1. За допомогою

Частоти спектра даного фрактального сигналу належать точкам множини Кантора і лежать у проміжку $[-f_0, f_0]$. Максимальна частота сигналу обмежена параметром $f_0 = 150\text{ МГц}$, а мінімальна частота знаходиться як перша точка множини Кантора $f_{\min} = f_0(1 - 2\xi) = 50\text{ МГц}$. Тривалість імпульсу $t_s = 10^{-6}\text{с}$.

Сигнал має самоподібну структуру, що видно при збільшенні (рис. 3). Побудова спектра

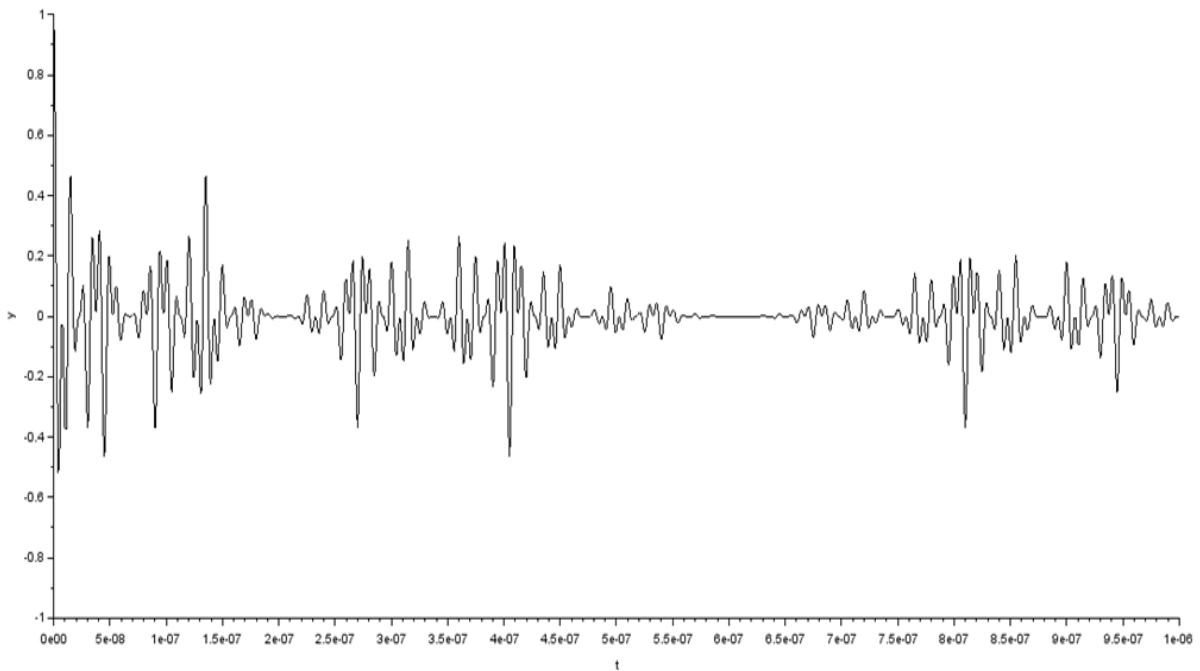


Рис. 3: Збільшена ділянка часової діаграми ФВ сигналу

сигналу підтверджує той факт, що сигнал є шумоподібним і що його спектр знаходиться в діапазоні частот 50 — 150 МГц (рис. 4).

Змодельємо передавання тестової послідовності з 8 біт за допомогою ФВ-сигналів та побудуємо часову діаграму сигналу з цією послідовністю (рис. 5).

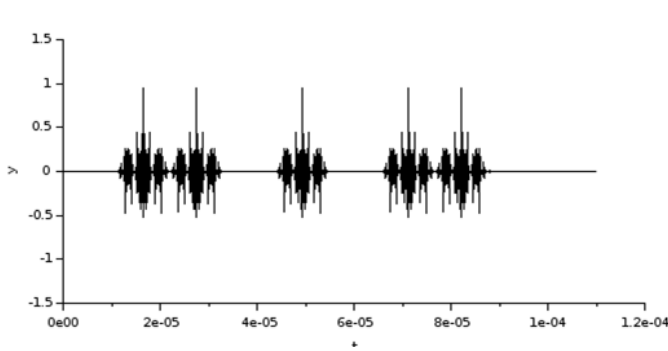


Рис. 4. Тестова послідовність бітів (11010110) передана за

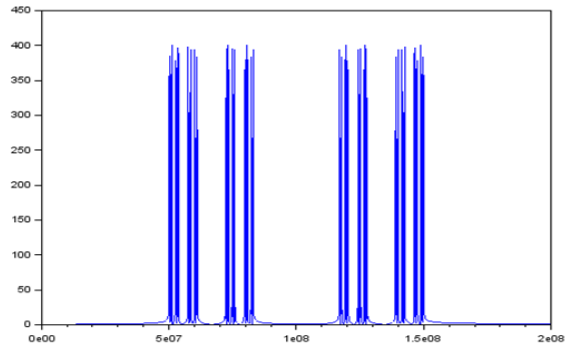


Рис. 5. Спектр ФВ сигналу

Детектор сигналів ФВ та їх кореляція. Модель детектора ФВ-сигналів буде складатися з помножувача сигналів та дискретизатора (рис. 6). Помножувач сигналів

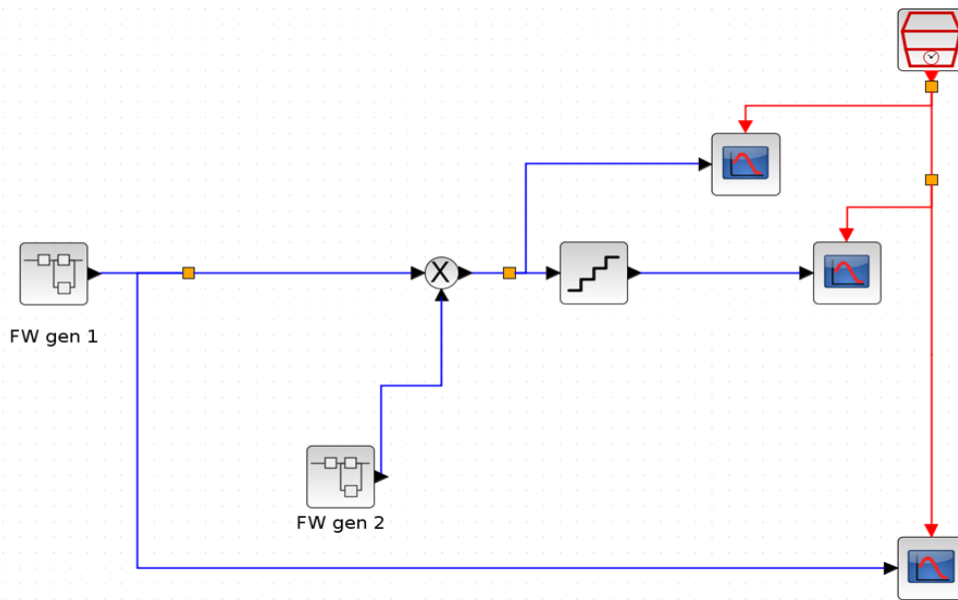


Рис. 6. Модель передавачу і детектору сигналів

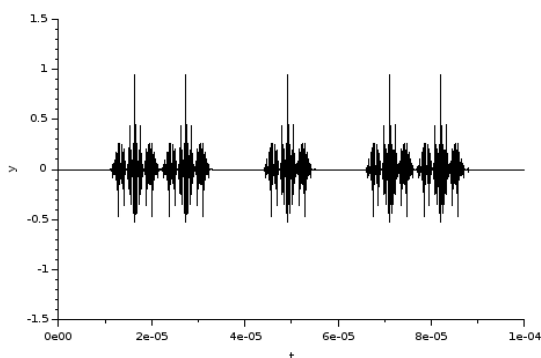


Рис. 7. Часова діаграма тестової послідовності

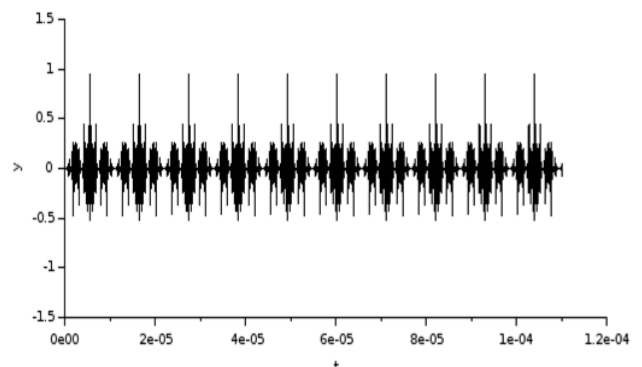


Рис. 8. Часова діаграма опорного сигналу

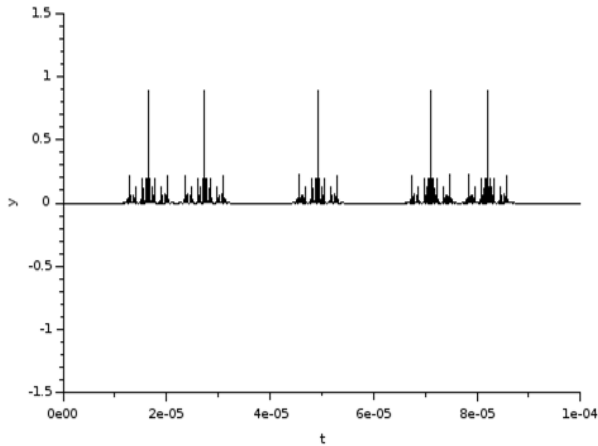


Рис. 9. Часова діаграма вихідного сигналу помножувача множить вхідний сигнал на опорний. В нашому випадку опорний сигнал — це сигнал ФВ аналогічний сигналу передавача за виключенням фази. Під час комп'ютерної симуляції досліджувалась взаємодія тестового і опорного сигналів з різною різницею фаз для з'ясування особливостей кореляції сигналів. В моделі встановлено три пристрої реєстрації

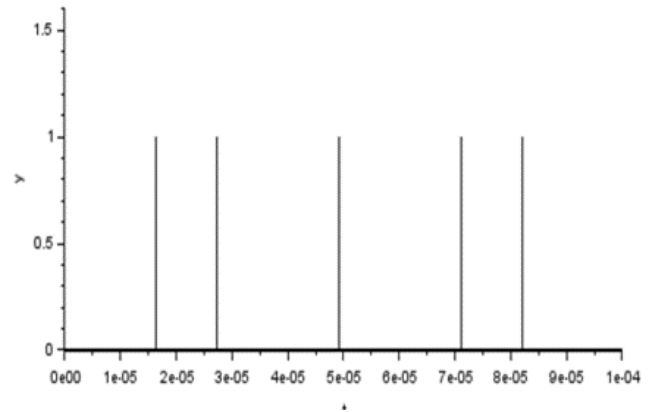


Рис. 10. Цифровий сигнал після дискретизатора

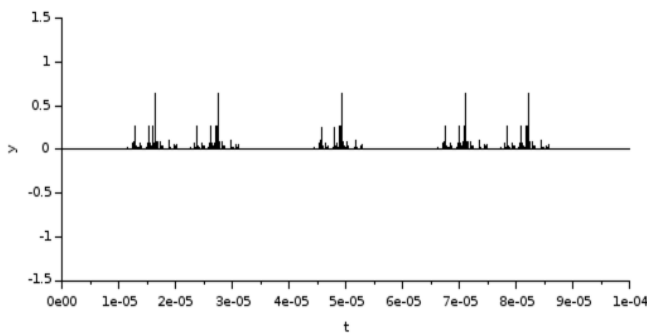


Рис. 11. Часова діаграма вихідного сигналу помножувача (різниця фаз $\pi/9$)

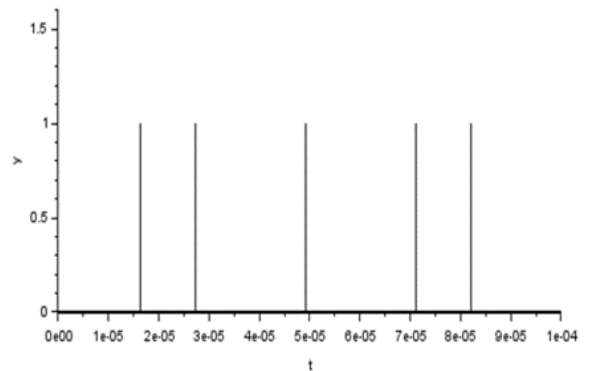


Рис. 12. Цифровий сигнал після дискретизатора (різниця фаз $\pi/9$)

сигналів для того, щоб спостерігати за часовими діаграмами генератора ФВ сигналів, результатами дії помножувача сигналів та дискретизатора.

Перевіримо роботу детектору з тестовою послідовністю в умовах коли різниця фаз між

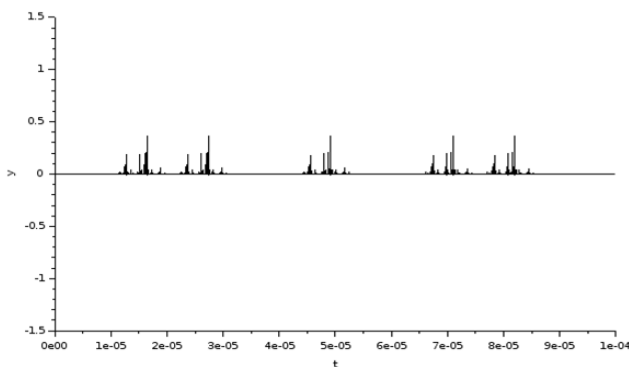


Рис. 13. Часова діаграма вихідного сигналу помножувача (різниця фаз $\pi/6$)

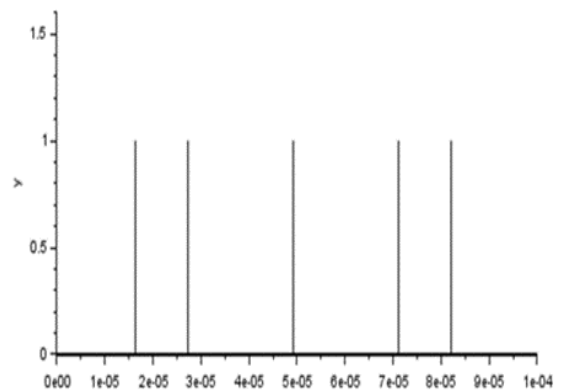


Рис. 14. Цифровий сигнал після дискретизатора (різниця фаз $\pi/6$)

генератором сигналу і опорним генератором дорівнює нулю. Результат роботи імітаційної моделі на рис. 7 – 10 Змоделюємо роботу детектора з тестовою послідовністю в умовах коли

різниця фаз між генератором сигналу і опорним генератором дорівнює $\frac{\pi}{9}$. Результат роботи комп'ютерної моделі на рис. 11-12.

Перевіримо роботу детектора з тестовою послідовністю в умовах коли різниця фаз між генератором сигналу і опорним генератором дорівнює $\frac{\pi}{6}$. Результат роботи комп'ютерної моделі на рис. 13-14.

Спостерігається значне зменшення амплітуди вихідного сигналу помножувача,

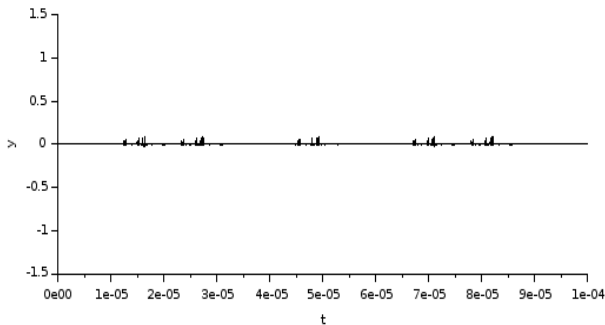


Рис. 15. Часова діаграма вихідного сигналу помножувача (різниця фаз $\pi/4$)

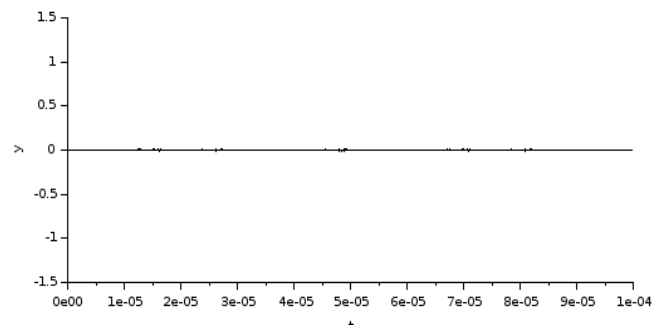


Рис. 16. Часова діаграма вихідного сигналу помножувача (різниця фаз $\pi/3$)

дискретизація сигналу пройшла нормально, але це ідеальні умови з відсутністю будь-яких завад. Далі ми дослідимо випадок виділення сигналу з наявністю адитивного Гаусового шуму, що більше відповідає реальному середовищу поширення сигналу.

Наведемо часові діаграми помножувача для різниці фаз $\frac{\pi}{4}$ та $\frac{\pi}{3}$ на рис. 15-16. На них можна спостерігати різке падіння амплітуди вихідного сигналу.

Отримані результати моделювання свідчать, що для виділення ФВ сигналів на фоні шумових завад можна застосовувати спосіб взаємної кореляції, той що вже широко застосовується в існуючих системах обробки сигналів.

Виділення ФВ сигналів в умовах дії адитивного Гаусового шуму. Перевіримо можливість виділення ФВ сигналу, в умовах дії Гаусового шуму. Для цього у схему був

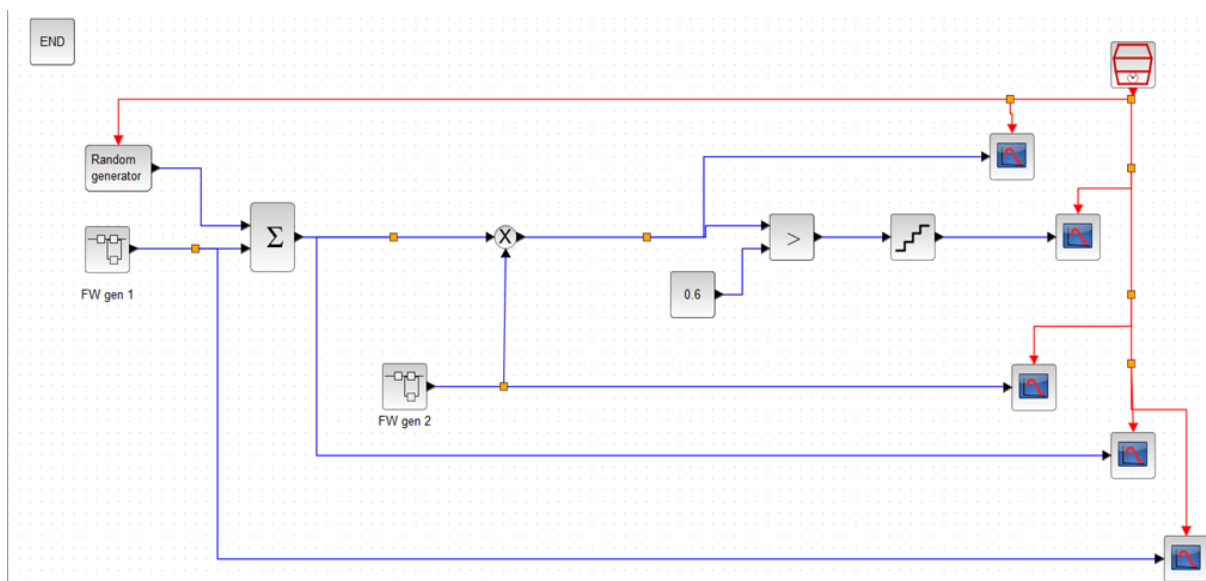


Рис. 17. Схема дослідження впливу Гаусового шуму на канал передавання ФВ сигналів

доданий генератор випадкових чисел налаштований генерувати шум з розподілом гауса, суматор та фільтр для фільтрації шуму після помножувача.

Дисперсія шуму підбиралась таким чином, щоб після п'ятиразового повторення дослідів із різними випадковими послідовностями детектор стабільно спрацьовував і виділяв кодову

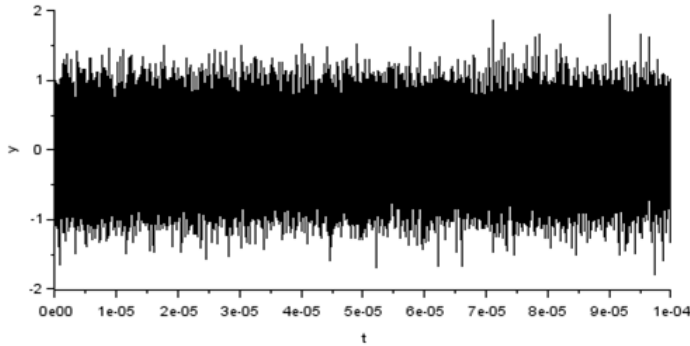


Рис. 18. ФВ-сигнал з адитивним Гаусовим шумом

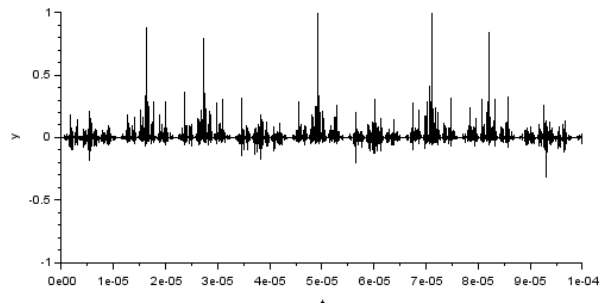


Рис. 19. Часова діаграма вихідного сигналу помножувача

послідовність. В результаті дослідження була підтверджена працездатність імітаційної моделі при значенні дисперсії шумового сигналу $D = 0.6$. На рис. 18 показана часова

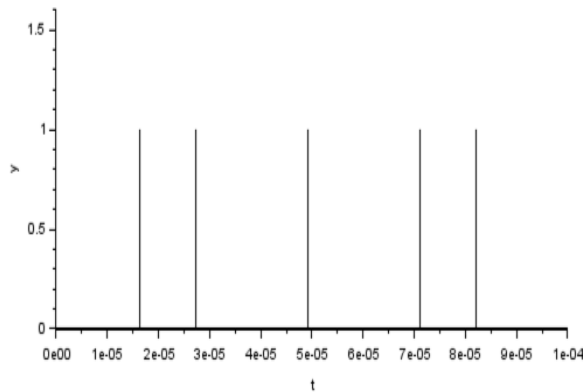


Рис. 20. Цифровий сигнал після дискретизатора

діаграма сигналу з шумовою завадою. На рис. 19 показаний результат дії помножувача на вказаний сигнал, а на рис. 20 показаний цифровий сигнал після дискретизатора.

Отримане співвідношення сигнал/шум розраховувалось за формулою:

$$\text{SNR} = \frac{P_{FW}}{P_n} = \frac{\int_0^t s^2(t) dt}{\int_0^t n^2(t) dt},$$

де SNR – співвідношення потужності сигнал/шум;

P_{FW} – потужність корисного сигналу;

P_n – потужність шумового сигналу;

$s(t)$ – корисний сигнал;

$n(t)$ – шумовий сигнал.

Розраховане в результаті імітаційного моделювання співвідношення при якому сигнал можна було детектувати без помилок $\text{SNR} = 0.0533$, що доводить кращу завадостійкість ФВ сигналів у порівнянні з гармонійним сигналом [7].

Висновок. В результаті проведеного комп'ютерного моделювання були підтверджені кореляційні властивості сигналів типу фрактальний вейвлет та здатність моделей передавача та приймача фрактальних сигналів детектувати кодову цифрову послідовність. Отримане в результаті числового експерименту співвідношення сигнал/шум доводить теоретичну можливість передавання даних за допомогою ФВ сигналів та здатність такого каналу зв'язку працювати за наявності високих рівнів білого шуму.

Проведений числовий експеримент дає підґрунтя для подальших досліджень та створення натурального прототипу передавача та приймача фрактальних сигналів.

Напрямок подальших досліджень. За допомогою побудованої імітаційної моделі дослідити вплив завад різних типів на сигнали типу фрактальний вейвлет в каналі передачі даних. Дослідити характеристики наявних апаратних засобів, необхідних для створення прототипів передавача та детектора фрактальних сигналів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Попов А.О., Твердохлібов В.В. Загальні тенденції розвитку засобів радіоелектронної боротьби // Науково-технічний журнал «Озброєння та військова техніка». – 2014. – № 4 – С. 4 – 11.
2. Жук О.В., Байдур О.В., Ткаченко Д.В., Яровий О.В. Явище стохастичного резонансу як основа для побудови нових пристроїв передачі даних в бездротових сенсорних мережах. // “Молодий вчений” – № 2 (54) – 2018. – С. 20 – 24
3. Fan-Yi Lin; Yuh-Kwei Chao; Tsung-Chieh Wu Effective Bandwidths of Broadband Chaotic Signals // IEEE Journal of Quantum Electronics – Volume: 48 – Issue: 8 – 2012. – Pp. 1010-1014.
4. Bruno Romeira, Fanqi Kong, Wangzhe Li, José M L Figueiredo, Julien Javaloyes, Jianping Yao Broadband Chaotic Signals and Breather Oscillations in an Optoelectronic Oscillator Incorporating a Microwave Photonic Filter // Journal of Lightwave Technology – Volume: 32 – Issue: 20 – 2014. – Pp. 3933 – 3942.
5. Ю. А. Дмитриев, Л. В. Кузьмин Прием хаотических сигналов с использованием опорного генератора хаоса // Журнал радиоэлектроники – № 1 – 2012. – С. 311 – 315.
6. Дмитриев А.С., Кяргинский Б.Е., Панас А.И., Старков С.О. Прямохаотические схемы передачи информации в сверхвысококачастотном диапазоне // Радиотехника и электроника. – № 2 – Т. 46 – 2001. – С. 224 – 233.
7. Болотов В.Н., Ткач Ю.В. Генерирование сигналов с фрактальными спектрами // Журнал технической физики – т. 76 – вып. 4 – 2006. – С. 91 – 98
8. Пенкин Ю.М., Белогорцева Л.Ю., Холодов В.И. Моделирование излучения фрактального сигнала тонким линейным вибратором // Системы обработки информации – вып. 3 (77) – 2009. – С. 70 – 75.