

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет інфокомунікацій
(повна назва)

Кафедра інформаційно-мережної інженерії
(повна назва)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
Пояснювальна записка

рівень вищої освіти другий (магістерський)

Дослідження властивостей сигналів псевдовипадкових послідовностей для
застосування в інформаційних мережах зв'язку
(тема)

Виконав:
студент 2 курсу, групи ІМІм-23-3
Міщай Д.В.
(прізвище, ініціали)

Спеціальність 172 Телекомунікації та
радіотехніка
(код і повна назва спеціальності)

Тип програми освітньо-професійна
Освітня програма інформаційно-мережна
інженерія
(повна назва освітньої програми)

Керівник доцент Бондар Д.В.
(посада, прізвище, ініціали)

Допускається до захисту

Зав. кафедри _____
(підпис)

Безрук В.М.
(прізвище, ініціали)

2024 р.

Не містить відомостей заборонених до відкритого публікування.

Студент / Міщай Д.В. /

Керівник / Бондар Д.В. /

Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет _____ *інфокомунікацій* _____
Кафедра _____ *інформаційно-мережної інженерії* _____
Рівень вищої освіти _____ *другий (магістерський)* _____
Спеціальність _____ *172 Телекомунікації та радіотехніка* _____
(код і повна назва)
Тип програми _____ *освітньо-професійна* _____
Освітня програма _____ *інформаційно-мережна інженерія* _____
(повна назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри _____
(підпис)
«_____» _____ 20 ____ р.

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

студентові _____ *Мицяю Дмитру Вікторовичу* _____
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи *Дослідження властивостей сигналів псевдовипадкових послідовностей для застосування в інформаційній мережах зв'язку*

затверджена наказом університету від 18 березня 2024 р. № 232-Ст

2. Термін подання студентом роботи до екзаменаційної комісії 16 червня 2023 р.

3. Вихідні дані до роботи _____

Огляд методу утворення цифрового потоку та широкосмугових шумоподібних сигналів; Опис генерування сім'ї m -послідовностей; Метод кодового розподілу каналів на основі використання шумоподібних двійкових послідовностей;

Комп'ютерна модель пристрою мктоду; Результати випробувань комп'ютерної моделі.

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі _____
Вступ;

1. Принцип побудови двійкового інформаційного потоку передачі даних;

2. Формування псевдовипадкових двійкових послідовностей;

3. Способи використання псевдовипадкових двійкових послідовностей для передачі даних;

4. Дослідження особливостей використання псевдовипадкових двійкових послідовностей для передачі інформації

Висновки.

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій (п.5 включається до завдання за рішенням випускової кафедри) _____

Слайди презентації: оглядові слайди; слайди пояснення способу; слайди розробки структури; слайди макету; слайди результатів випробування.

6. Консультанти розділів роботи (п.6 включається до завдання за наявності консультантів згідно з наказом, зазначеним у п.1)

Найменування розділу	Консультант (посада, прізвище, ім'я, по батькові)	Позначка консультанта про виконання розділу	
		підпис	дата
Основна частина	доцент Бондар Д.В.		

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Ознайомлення з завданням	18.03	
2	Пошук джерел за темою та ознайомлення	19.03 – 31.03	
3	Розробка оглядової частини	01.04 – 14.04	
4	Розробка методу генерування двійкових послідовностей	15.04 – 25.04	
5	Розробка методу утворення та розділення групового потоку	26.04 – 10.05	
6	Створення та випробування комп'ютерної моделі методу	11.05 – 20.05	
7	Розробка та виконання текстової частини	21.05 – 31.05	
8	Розробка графічної частини	01.06 – 15.06	
9	Надання пояснювальної записки на рецензування та для захисту	16.06	

Дата видачі завдання 18 березня 2024 р.

Студент _____
(підпис)

Керівник роботи _____
(підпис)

доцент Бондар Д.В.
(посада, прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: сторінок – 60, рисунків – 37, таблиць 1, джерел – 13, додатків – 2.

СИСТЕМА ПЕРЕДАЧІ, ДВІЙКОВИЙ ІНФОРМАЦІЙНИЙ ПОТІК, МЕТОД РОЗПОДІЛУ КАНАЛІВ, ШУМОПОДІБНИЙ СИГНАЛ, ПСЕВДОВИПАДКОВА ДВІЙКОВА ПОСЛІДОВНІСТЬ, М-ПОСЛІДОВНІСТЬ, КОРЕЛЯЦІЙНА ФУНКЦІЯ.

Розглянуто принцип перетворення безперервних інформаційних сигналів в цифрову форму та використання для їхньої передачі вседовипадкових двійкових послідовностей. Розглянуто спосіб формування m-послідовностей та запропоновано метод використання їх при побудові групового інформаційного потоку системи передачі.

Розроблено та побудовано комп'ютерну модель для дослідження особливостей використання псевдовипадкових двійкових послідовностей для передачі інформації. Проведено комп'ютерне моделювання. Отримано результати, які підтверджують коректність виконаної роботи.

THE ABSTRACT

Explanatory slip: pages – 60, figures – 37, tables – 1, sources – 13, appendices – 2.

TRANSMISSION SYSTEM, BINARY INFORMATION FLOW, CHANNEL ALLOCATION METHOD, NOISE-LIKE SIGNAL, PSEUDO-RANDOM BINARY SEQUENCE, M-SEQUENCE, CORRELATION FUNCTION.

The principle of converting continuous information signals into digital form and using completely random binary sequences for their transmission is considered. The method of forming m-sequences is considered and a method of using them in the construction of a group information flow of a transmission system is proposed.

A computer model was developed and built to study the peculiarities of using pseudorandom binary sequences for information transmission. Computer simulation was carried out. Results were obtained that confirm the correctness of the work performed.

ЗМІСТ

	С.
Перелік умовних скорочень.....	7
Вступ.....	8
1 Принцип побудови двійкового інформаційного потоку передачі даних.....	9
2 Формування псевдовипадкових двійкових послідовностей	11
2.1 Загальні відомості про m -послідовності	11
2.2 Комп'ютерна модель генератора m -послідовності.....	14
3 Спосіб обробки псевдовипадкових двійкових послідовностей для передачі інформації.....	18
4 Дослідження особливостей використання псевдовипадкових двійкових послідовностей для передачі інформації.....	26
4.1 Використання m -послідовностей	27
4.2 Моделювання методу кодового розподілу каналів	29
Висновки.....	46
Перелік джерел.....	47
Додаток А Слайди презентації	49
Додаток Б Тези доповіді на XXVIII міжнародному молодіжному форумі "радіоелектроніка та молодь у XXI столітті"	58

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

АКФ	–	автокореляційна функція;
ВКФ	–	взаємна кореляційна функція;
КФ	–	кореляційна функція;
ПАКФ	–	періодична автокореляційна функція;
ПВКФ	–	періодична взаємна кореляційна функція;
ШСС	–	широкосмуговий сигнал;
DSSS	–	direct sequence spread spectrum.

ВСТУП

Сучасна телекомунікаційна галузь продовжує розширювати свою присутність в багатьох сферах суспільного господарства завдяки стрімкому розвитку науки та техніки. Стрімкий прогрес обумовлений досягненнями промислових технологій в галузі мікроелектроніки та комп'ютерної техніки. Потужність та швидкодія сучасних електронно обчислювальних пристроїв дозволяє не тільки підсилити наукові розрахунки але й проводити складне математичне моделювання та керування різноманітними пристроями та процесами.

Сучасні телекомунікації ґрунтуються та широко застосовують цифрові методи зв'язку та обробки інформації. Цифрова технологія розгортає перед інженерами величезний перелік методів обробки та передавання інформації. основу цифрової обробки складає двійкова арифметика та двійкова форма уявлення сигналів.

Розроблені технічні пристрої здатні перевести в двійковий стан будь-яку інформацію, але це не означає що всі двійкові сигнали одноманітні. Серед них можна виділити важливий клас рекурентних двійкових послідовностей, серед яких слід приділити увагу так званим псевдовипадковим послідовностям максимальної довжини. Ці послідовності часто називають m -послідовностями. Вони привабливі тим, що мають статистичні характеристики аналогічні послідовностям суто випадковим, а також мають здатність до розширення спектру інформаційних сигналів.

Псевдовипадкові послідовності за рахунок широкого спектру мають кореляційні функції дуже зручної форми. Саме це дозволяє відновлювати та розпізнавати сигнал цієї послідовності на фоні інших сигналів.

Псевдовипадкові послідовності знаходять застосування в багатьох областях цифрової техніки і слід вважати, що коло їхнього використання ще не завершено. Тому виникає пропозиція з'ясувати чи можна широкий клас m -послідовностей пристосувати для розділення інформаційних каналів в системі багатоканального зв'язку. Цю проблему має сенс розглядати в прив'язці до методу кодового розподілу каналів.

Саме цьому питанню присвячена дана робота.

1 ПРИНЦИП ПОБУДОВИ ДВІЙКОВОГО ІНФОРМАЦІЙНОГО ПОТОКУ ПЕРЕДАЧІ ДАНИХ

Передача інформації в сучасних телекомунікаціях ґрунтується на кодуванні повідомлень у вигляді двійкових електричних сигналів. Двійковій формі інформаційного сигналу передують процедури дискретизації безперервного сигналу та квантування. Теоретичною базою дискретизації є теорема відліків, яка визначає обмеження на інтервали часу через які треба обирати миттєві значення первинного інформаційного сигналу з метою їхньої подальшої обробки та передавання в канал зв'язку. На практиці теоретичні відліки набувають форми коротко тривалих імпульсів, амплітуди яких пропорційна миттєвим значенням сигналів, утворюючи сигнал амплітудно-імпульсної модуляції $s_{AIM}(t)$. Потім на основі утворюється двійковий сигнал $s_{дв}(t)$ (рис. 1.1).

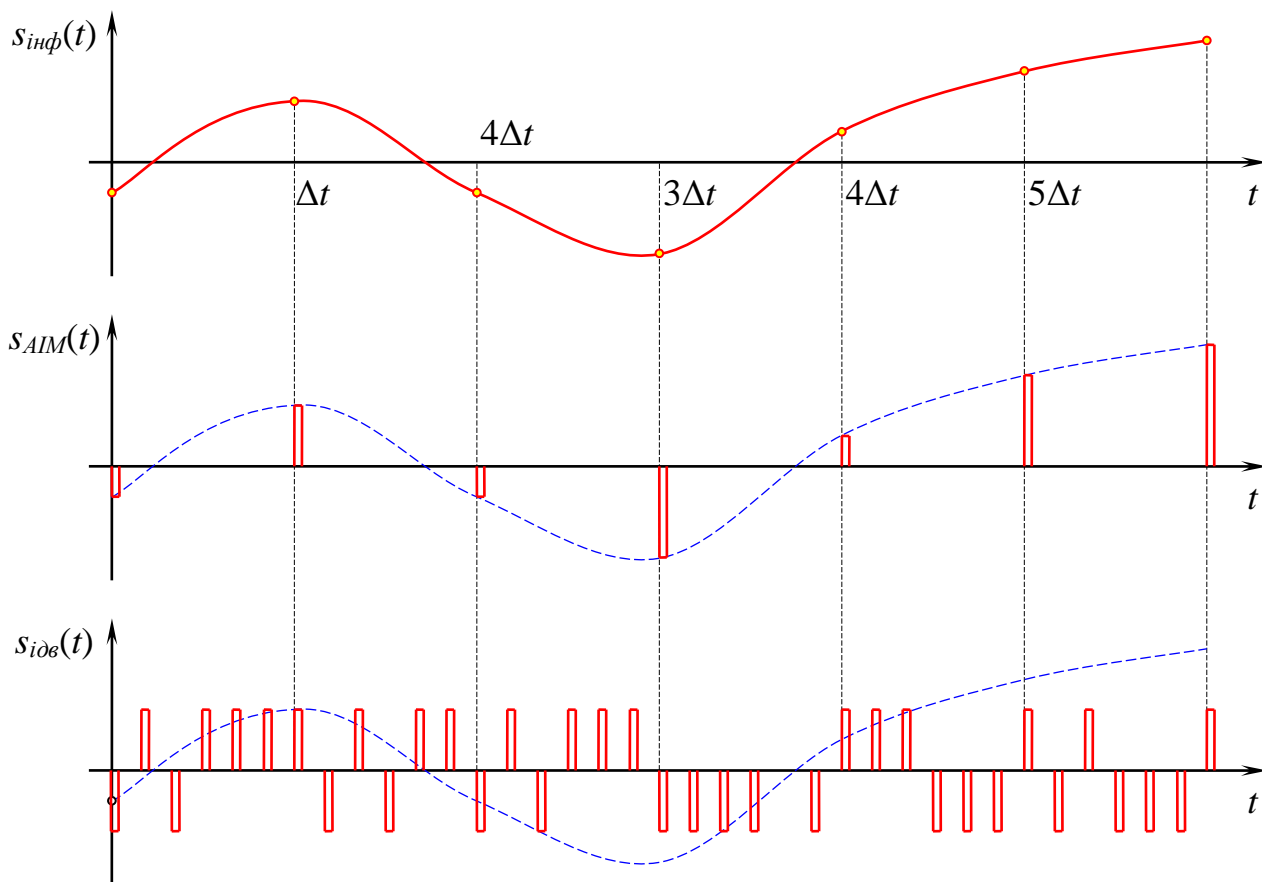


Рисунок 1.1 – Послідовність перетворення інформаційного сигналу в двійковий двохполярний сигнал

Інтервал часу, який має назву інтервалу дискретизації, повинен згідно з теоремою відліків задовольняти умові:

$$\Delta t \leq \frac{1}{2F_g},$$

F_g – верхня частота ефективної смуги частот спектральної функції інформаційного сигналу. На практиці треба обирати величину інтервалу дискретизації обирати більше за вказане теоретичне значення.

Величина зворотна до інтервалу дискретизації має назву частоти дискретизації та визначається за виразом:

$$F_d = \frac{1}{\Delta t}.$$

Таким чином імпульсна послідовність $s_{AIM}(t)$ є відображенням відліків інформаційного сигналу. Крім того амплітуди імпульсів повинні отримувати значення одного з рівнів квантування, яких є найближчим до величини відліку. Це досягається в наслідок виконання процедури квантування.

Відлік являє собою відображення миттєвого значення сигналу на висоту (або площу) прямокутного імпульсу. Далі треба цей імпульс відобразити в сукупність двійкових імпульсів однакової висоти та $s_{ob}(t)$, що є реалізацією числа в двійковій системі числення.

Двійковий сигнал тепер можна передати по каналу зв'язку та на боці прийому відновити в початковій аналоговій формі. Але саме в каналі двійковий сигнал зазнає впливу викривлень та завад. Тому потрібні певні заходи для захисту інформаційного потоку.

З цією метою для передачі двійкових потоків застосовують широкосмугові сигнали. Це реалізується за рахунок розширення первинного двійкового потоку псевдовипадковими послідовностями. Цей метод має назву методу прямого розширення спектру (DSSS – direct sequence spread spectrum).

Метод DSSS також застосовується при кодовому розподілі каналів (CDMA Code Division Multiple Access) для формування групового в телекомунікаційній системі.

2 ФОРМУВАННЯ ПСЕВДОВИПАДКОВИХ ДВІЙКОВИХ ПОСЛІДОВНОСТЕЙ

Передача інформації виконується за посередництва сигнали, які обираються з множини представлених одиницями та нулями. Вимога забезпечення широкосмугового призводить до використанні сигналів, які виглядали б як випадкові. При цьому такі сигнали треба створювати цілком детермінованим способом. Пояснення тут цілком зрозуміле, оскільки випадкова послідовність двійкових сигналів є непередбачуваною і тому нема способу наповнити її інформацією, а тим більше потім цю інформацію вилучити. Вихід з цієї проблеми полягає в тому, що потрібен сигнал, який не є випадковим, а сигнал який має шумові статистичні особливості, хоча кожне його значення є детермінованим та наперед передбаченим. Такі сигнали класифікують як псевдовипадкові.

Середь переваг псевдовипадкових сигналів одне з центральних місць займає можливість забезпечення методу розподілу абонентських каналів за формою сигналу, або як це визначається за кодом. Також мають місце добра завадозахищеність від перешкод вузького спектрального діапазону та великого рівня потужності, та гарна здатність до боротьбі з багатопроміневою на боці прийому.

В даний час знаходять широку застосування такі псевдовипадкові послідовності як: m-послідовності, послідовності Голда та послідовності Касамі.

2.1 Загальні відомості про m-послідовності

M-послідовності відносять до класу рекурентних кодів, в основу формування яких покладено використання рекурентного виразу для розрахунку наступного елемента послідовності. рекурентний вираз формується з додавання деякої сукупності попередньо отриманих елементів послідовності, зважених деякими коефіцієнтами.

$$f_i = b_1 f_{i-1} \oplus_1 f_{i-2} \oplus_1 \dots \oplus_1 f_{i-n}, \quad (2.1)$$

де b_k ($k=1..n$) – коефіцієнти рекурсії, що можуть приймати тільки або одиничне, або нульове значення.

Вираз (2.1) показує, що i -й елемент рекурентної послідовності розраховується в результаті лінійного перетворення сукупності попередньо сформованих елементів в кількості n . Параметр n називають порядком рекурентного співвідношення.

На основі виразу (2.1) можна запропонувати узагальнену структурну схему генератора рекурентної двійкової послідовності (рис. 2.1)

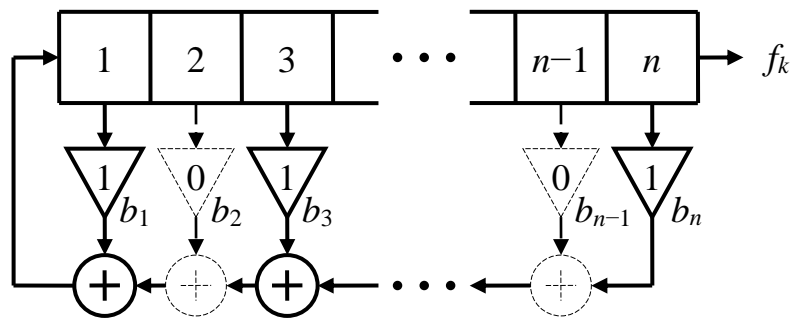


Рисунок 2.1 – Узагальнена структура схема генератора рекурентної двійкової послідовності

Генератор складається з двійкового регістру зсуву, перемножувачів на коефіцієнти b_k та суматорів за модулем 2.

Двійковий n -розрядний регістр може знаходитися в 2^n станах. Тому максимально можлива довжина послідовності не може перевищувати означеної величини. Однак стан коли всі розряди регістру знаходяться в нулі є забороненим, оскільки генератор з огляду на його побудову не зможе вийти з цього стану. В разі цього максимально можлива довжина послідовності не може перевищувати величини $2^n - 1$. Також слід зауважити, що не будь-який набір коефіцієнтів b_k забезпечить генерування двійкової послідовності максимальної довжини.

Послідовності з періодом $2^n - 1$ називають послідовностями максимальної довжини, або m -послідовностями. Для генерування m -послідовностей може існувати не одна кількість наборів коефіцієнтів b_k . Кількість таких наборів для заданої глибини рекурсії n може розраховуватися за формулою:

$$K = \frac{\varphi(2^n - 1)}{n},$$

де $\varphi(N)$ – функція Ейлера, яка визначає кількість взаємно простих чисел в інтервалі $[1; \dots N - 1]$.

Враховуючи обмежений склад значень коефіцієнтів b_k , можна спростити структурну схему генератора m -послідовності (рис. 2.2).

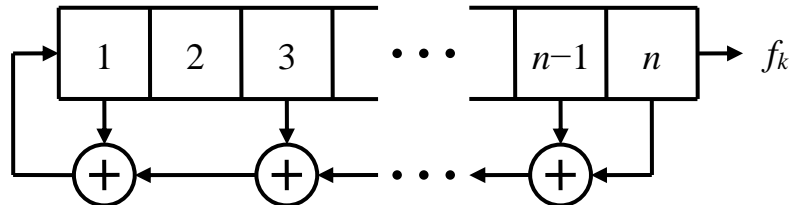


Рисунок 2.2 – Узагальнена структура схема генератора m -послідовності

Розглянемо два приклади генераторів m -послідовності, побудованих на основі регістру з трьома розрядами.

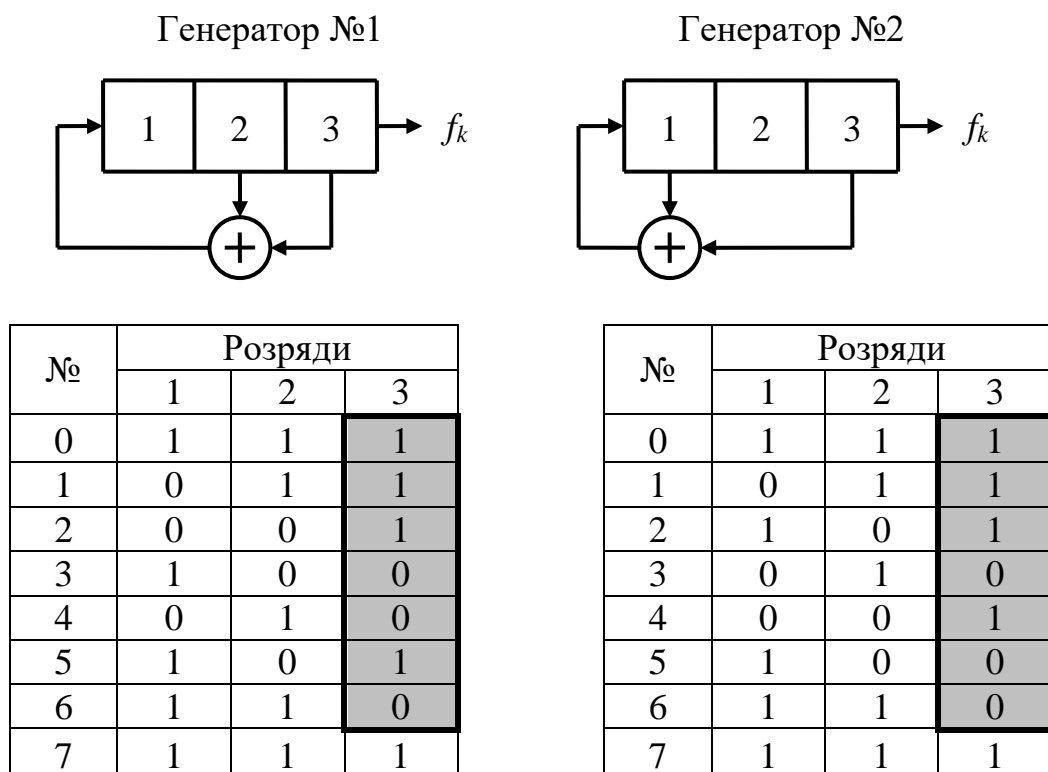


Рисунок 2.3 – Приклади генераторів m -послідовності, побудованих на основі регістру з трьома розрядами

2.2 комп'ютерна модель генератора m-послідовності

Моделювання процесів застосування m-послідовностей можна виконати за допомогою програмно-математичного пакету MathCad. Для цього слід розробити декілька програмних модулів, які називаються макросами, та застосувати їх в належному порядку.

Означені макроси виглядають наступним чином.

Макрос заповнює регістр одиницями.
N - довжина регістру.

$$\text{genSeqOne}(N) := \left\{ \begin{array}{l} \text{for } i \in 0..N \\ \quad x_i \leftarrow 1 \\ \text{return } x \end{array} \right.$$

Макрос реалізує правий зсув розрядів регістру.
x - початковий вміст регістру;
x₀ - нове значення вхідного розряду регістру.

$$\text{registerShift}(x, x_0) := \left\{ \begin{array}{l} N \leftarrow \text{rows}(x) - 1 \\ \text{for } i \in N..1 \\ \quad x_i \leftarrow x_{i-1} \\ x_0 \leftarrow x_0 \\ \text{return } x \end{array} \right.$$

Макрос генерує всі стани регістру M-послідовності.
x - початковий вміст регістру генератора (окрім всіх нулів);
y - масив з індексами виводів регістру згідно генеруючим поліномом.

$$\text{genMSeq}(x, y) := \left\{ \begin{array}{l} N \leftarrow 2^{\text{rows}(x)} - 2 \\ M \leftarrow \text{rows}(y) - 1 \\ \text{for } i \in 0..N \\ \quad \left\{ \begin{array}{l} z^{(i)} \leftarrow x \\ x_0 \leftarrow 0 \\ \text{for } j \in 0..M \\ \quad x_0 \leftarrow x_0 \oplus x_{(y_j)} \\ x \leftarrow \text{registerShift}(x, x_0) \end{array} \right. \\ \text{return } z \end{array} \right.$$

Макрос генерує всі стани регістру М-послідовності з вмістом -1 та +1.
x - початковий вміст регістру генератора (окрім всіх нулів);
y - масив з індексами виводів регістру згідно з генеруючим поліномом.

$$\text{genMSeqMod}(x, y) := \left| \begin{array}{l} N \leftarrow 2^{\text{rows}(x)} - 2 \\ M \leftarrow \text{rows}(y) - 1 \\ \text{for } i \in 0..N \\ \quad \left| \begin{array}{l} z^{(i)} \leftarrow x \\ x_0 \leftarrow 1 \\ \text{for } j \in 0..M \\ \quad x_0 \leftarrow x_0 \cdot x(y_j) \\ x \leftarrow \text{registerShift}(x, x_0) \end{array} \right. \\ \text{return } z \end{array} \right.$$

Макрос генерує всі стани регістру М-послідовності з вмістом -1 та +1 для всіх можливих М-послідовностей задаваної довжини.
n - обрана довжина регістру генератора М-послідовності;
sq - масив з індексами виводів регістру згідно з генеруючим поліномом для всіх можливих М-послідовностей задаваної довжини.

$$\text{allregisterMseq}(n, sq) := \left| \begin{array}{l} N \leftarrow \text{rows}(sq) \\ x \leftarrow -\text{genSeqOne}(n - 1) \\ \text{for } i \in 0..N - 1 \\ \quad z_i \leftarrow \text{genMSeqMod}(x, sq_i) \\ \text{return } z \end{array} \right.$$

Макрос генерує всі можливі М-послідовності з вмістом -1 та +1 для задаваної довжини регістру.
m - обрана довжина регістру генератора М-послідовності;
zFull - масив всіх станів регістру генератора М-послідовностей задаваної довжини.

$$\text{allMseq}(m, zFull) := \left| \begin{array}{l} N \leftarrow \text{rows}(zFull) - 1 \\ \text{for } n \in 0..N \\ \quad z^{(n)} \leftarrow (zFull_n^T)^{(m-1)} \\ \text{return } z \end{array} \right.$$

Наведені вище макроси дозволяють:

- провести ініціалізацію послідовного регістру генератора послідовності;
- згенерувати всі стани регістру генератора;
- згенерувати всі m-послідовності відповідно до обраної глибини рекурсії.

Проведемо моделювання згідно з умовами рис. 2.3

Задати довжину регістру генератора $m := 3$

Створити масив виводів регістру у відповідності до породжуючого поліному $sq := [(1 \ 2)^T \ (0 \ 2)^T]^T$
Ініціалізувати початковий стан регістру генератора M-послідовності

$x := \text{genSeqOne}(m - 1)$

Згенерувати всі стани регістра для першої M-послідовності

$\text{reg}_1 := \text{genMSeq}(x, sq_0)$

Згенерувати всі стани регістра для другої M-послідовності

$\text{reg}_2 := \text{genMSeq}(x, sq_1)$

Згенерувати першу M-послідовність $z_1 := (\text{reg}_1^T)^{\langle \text{rows}(\text{reg}_1) - 1 \rangle}$

$z_1^T = (1 \ 1 \ 1 \ 0 \ 0 \ 1 \ 0)$

Згенерувати другу M-послідовність $z_2 := (\text{reg}_2^T)^{\langle \text{rows}(\text{reg}_2) - 1 \rangle}$

$z_2^T = (1 \ 1 \ 1 \ 0 \ 1 \ 0 \ 0)$

$n := 0..2^m - 1$

Графіки всіх можливих M-послідовностей

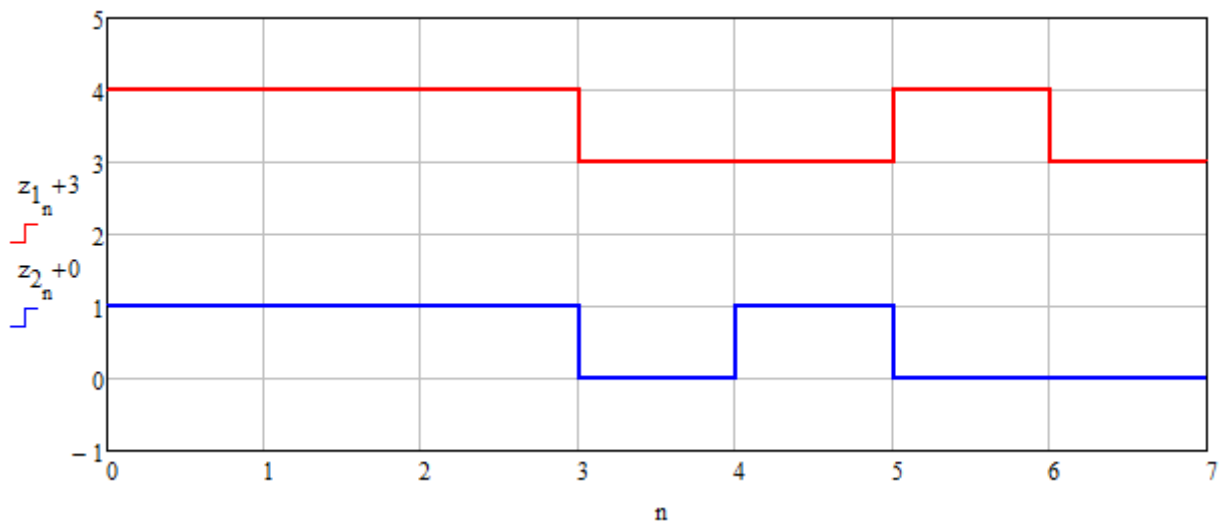


Рисунок 2.4 – Графіки всіх можливих m-послідовностей, побудованих на основі регістру з трьома розрядами

Для використання m-послідовностей в системах телекомунікацій треба змінити абетку сигналів з $\{1; 0\}$ на $\{-1; 1\}$. Це можна зробити наступним чином.

Згенерувати всі стани регістра для всіх можливих M-послідовностей $zFull := \text{allregisterMseq}(m, sq)$

Згенерувати всі можливі M-послідовностей $z := \text{allMseq}(m, zFull)$

Графіки всіх можливих M-послідовностей

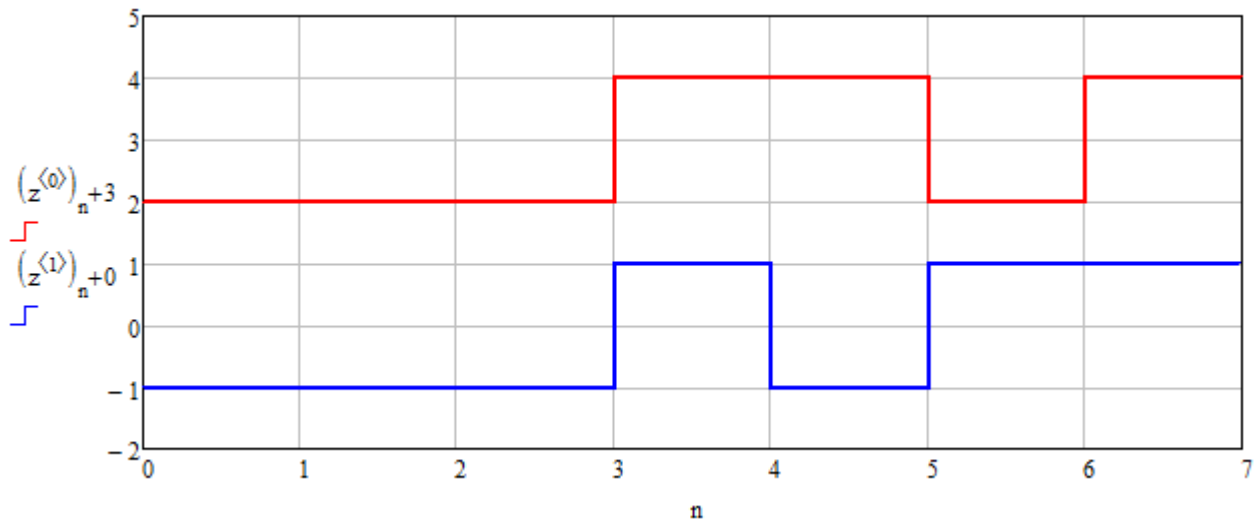


Рисунок 2.5 – Графіки всіх можливих m -послідовностей, побудованих на основі регістру з трьома розрядами

Після побудови комп'ютерних моделей m -послідовностей та їхніх генераторів слід уважно дослідити кореляційні властивості послідовностей та надати спосіб застосування в системі розподілу інформаційних каналів.

3 СПОСІБ ОБРОБКИ ПСЕВДОВИПАДКОВИХ ДВІЙКОВИХ ПОСЛІДОВНОСТЕЙ ДЛЯ ПЕРЕДАЧІ ІНФОРМАЦІЇ

Обробка та виявлення широкосмугових сигналів (ШСС) здійснюються на основі розрахунків їхніх кореляційних функцій (КФ), які надають можливість кількісного розрахунку ступеню схожості сигналів один на одного.

Таким чином розрізняють два типи КФ: автокореляційна функція (АКФ) та взаємна кореляційна функція (ВКФ). В загальному випадку співвідношення для розрахунку КФ сигналів s_1 та s_2 мають вигляд:

$$\begin{aligned} \text{АКФ} \quad B_s(\tau) &= \int_{-\infty}^{*\infty} s(t)s(t-\tau)dt; \\ \text{ВКФ} \quad B_{s_1s_2}(\tau) &= \int_{-\infty}^{*\infty} s_1(t)s_2(t-\tau)dt, \end{aligned}$$

де τ – величина взаємної часової затримки сигналів один відносно одного.

Слід відзначити дві важливих властивості АКФ:

– АКФ завжди парна функція, що відображається виразом:

$$B_s(\tau) = B_s(-\tau);$$

– АКФ завжди має додатний найбільший з можливих максимум.

Важливою властивістю ВКФ є те, що при розрахунку зміна порядку сигналів призводить до появи дзеркального відображення функції відносно осі ординат, що відображається виразом:

$$B_{s_1s_2}(\tau) = B_{s_2s_1}(-\tau).$$

Якщо сигнал є періодичною функцією, то поняття КФ для нього треба модифікувати, а саме розглядати сигнал не на необмеженому інтервалі часу, а на інтервалі періоду. Потім отриману КФ слід доповнити періодично нескінченно в обидва боки осі часу. Звідси випливає, що КФ періодичних сигналів з однаковими величинами періодів є також періодичними функціями з тією ж величиною періоду.

В нашому випадку сигнал має вигляд періодичної послідовності імпульсів однакової амплітуди. Кожен з цих елементарних імпульсів вважається кодовим символом. з огляду на таку форму сигналів КФ може розраховуватися як різниця між кількістю символів, що співпали за величиною, та кількістю символів, що не співпали, в процесі порівняння одного повного періоду послідовності з її циклічно зсунутою на τ копією.

Для здійснення подальшого процесу моделювання та аналізу необхідно мати макроси розрахунку КФ. Програмний код цих макросів наведено далі.

Макрос розраховує автокореляційну функцію послідовності.
 x -обробляема послідовність.

```
AKF(x) :=
  N ← rows(x) - 1
  for i ∈ 0..N - 0
    yi ← 0
  xx ← stack(y, x)
  y ← stack(x, y)
  x ← xx
  for i ∈ 0..2·(N + 1)
    r ← 0
    for j ∈ 0..2·N + 1
      r ← r + xj·yj
    zi ← r
    y ← registerShift(y, yrows(y)-1)
    qi ← y
  return z
```

Макрос розраховує взаємкореляційну функцію послідовностей.

x-зразкова послідовність;

y-послідовність, що порівнюється.

$$\text{VKF}(x, y) := \left| \begin{array}{l} N \leftarrow \text{rows}(x) - 1 \\ \text{for } i \in 0.. N - 0 \\ \quad z_i \leftarrow 0 \\ \quad y \leftarrow \text{stack}(y, z) \\ \quad x \leftarrow \text{stack}(z, x) \\ \quad \text{for } i \in 0.. 2 \cdot (N + 1) \\ \quad \quad \left| \begin{array}{l} r \leftarrow 0 \\ \text{for } j \in 0.. 2 \cdot N + 1 \\ \quad r \leftarrow r + x_j \cdot y_j \\ z_i \leftarrow r \\ y \leftarrow \text{registerShift}(y, y_{\text{rows}(y)-1}) \\ q \leftarrow y \end{array} \right. \\ \text{return } z \end{array} \right.$$

Макрос розраховує періодичну автокореляційну функцію послідовності.

x-обробляема послідовність.

$$\text{AKFCicl}(x) := \left| \begin{array}{l} N \leftarrow \text{rows}(x) - 1 \\ y \leftarrow x \\ \text{for } i \in 0.. N \\ \quad \left| \begin{array}{l} r \leftarrow 0 \\ \text{for } j \in 0.. N \\ \quad r \leftarrow r + x_j \cdot y_j \\ z_i \leftarrow r \\ y \leftarrow \text{registerShift}(y, y_{\text{rows}(y)-1}) \end{array} \right. \\ \text{return } z \end{array} \right.$$

Макрос розраховує періодичну взаємкореляційну функцію послідовностей.

x -зразкова послідовність;
 y -послідовність, що порівнюється.

```
VKFCicl(x,y) :=
  N ← rows(x) - 1
  for i ∈ 0..N
    r ← 0
    for j ∈ 0..N
      r ← r + xj·yj
    zi ← r
    y ← registerShift(y, yrows(y)-1)
  return z
```

Макрос підраховує скільки разів у досліджуваному векторі зустрічається певна величина.
 x -досліджуваний вектор.

```
calcValue(x) :=
  N ← rows(x) - 1
  x ← sort(x)
  j ← 0
  y0,0 ← x0
  y0,1 ← 1
  for i ∈ 1..N
    yj,1 ← yj,1 + 1 if yj,0 = xi
    otherwise
      j ← j + 1
      yj,0 ← xi
      yj,1 ← 1
  return y
```

Випробуємо ці макроси на сигналах, параметри яких наведені на рис. 2.3.

Розрахувати АКФ другої M -послідовності $AKF_2 := AKF_z^{(1)}$

$$AKF_1^T = \begin{array}{c|cccccccccccccccc} & 0 & 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 & 8 & 9 & 10 & 11 & 12 & 13 & 14 \\ \hline 0 & 0 & -1 & 0 & -1 & 0 & -1 & 0 & 7 & 0 & -1 & 0 & -1 & 0 & -1 & 0 \end{array}$$

Розрахувати АКФ другої M -послідовності $AKF_2 := AKF_z^{(1)}$

$$AKF_2^T = \begin{array}{c|cccccccccccccccc} & 0 & 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 & 8 & 9 & 10 & 11 & 12 & 13 & 14 \\ \hline 0 & 0 & -1 & -2 & -1 & 0 & 1 & 0 & 7 & 0 & 1 & 0 & -1 & -2 & -1 & 0 \end{array}$$

$n := 0..rows(AKF_1) - 1$

Графік АКФ першої M-послідовності

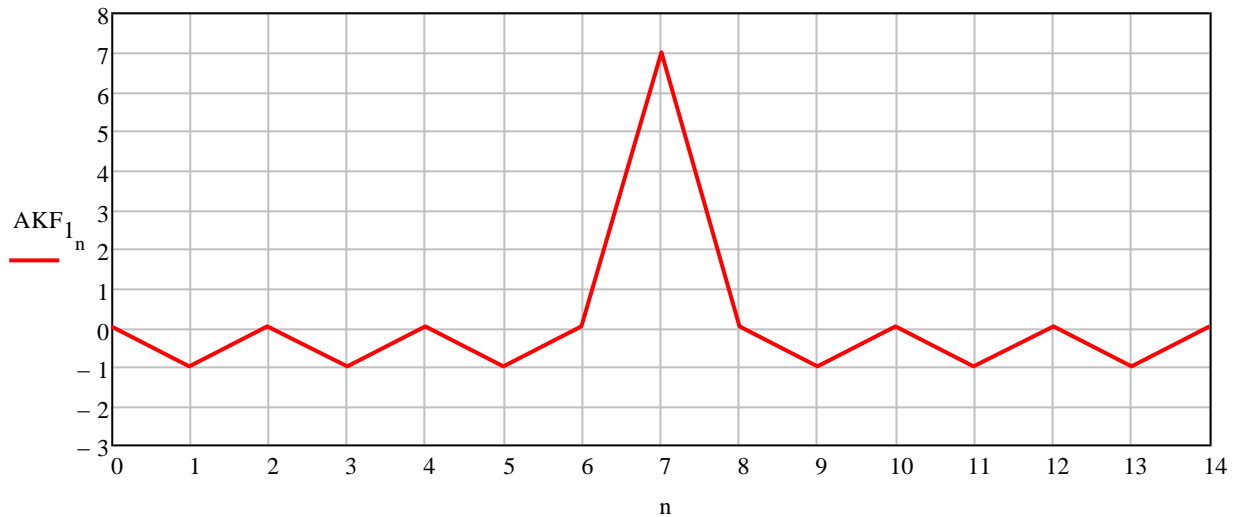


Рисунок 3.1 – Графік АКФ першої M-послідовності

Графік АКФ другої M-послідовності

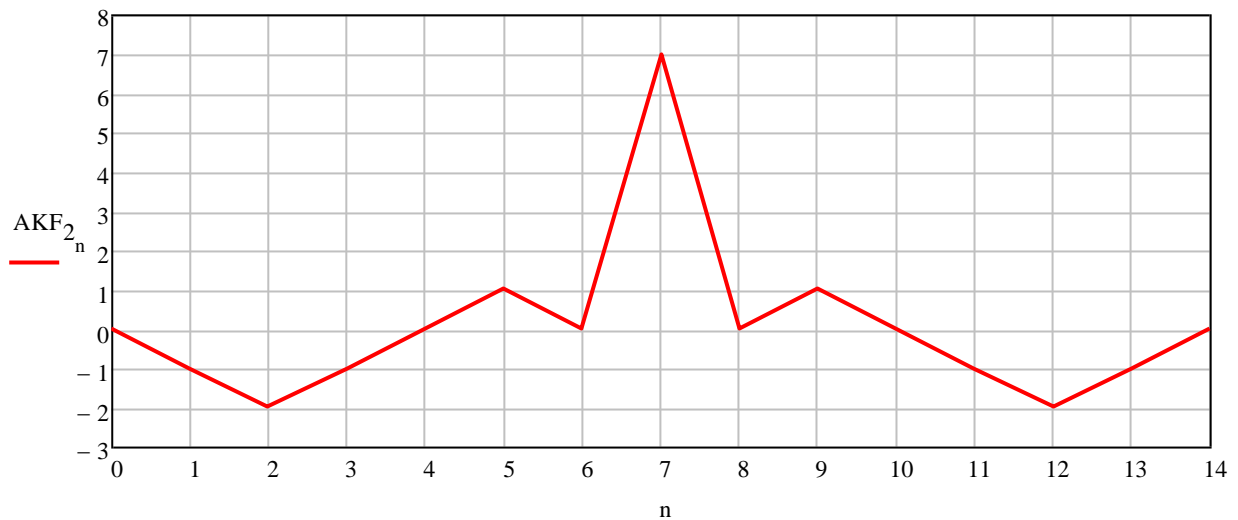


Рисунок 3.2 – Графік АКФ другої M-послідовності

З'ясуємо величини та кількість піків АКФ першої M-послідовності $\text{calcValue}(\text{AKF}_1)^T = \begin{pmatrix} -1 & 0 & 7 \\ 6 & 8 & 1 \end{pmatrix}$

З'ясуємо величини та кількість піків АКФ другої M-послідовності $\text{calcValue}(\text{AKF}_2)^T = \begin{pmatrix} -2 & -1 & 0 & 1 & 7 \\ 2 & 4 & 6 & 2 & 1 \end{pmatrix}$

Розрахувати ВКФ першої та другої M-послідовностей $\text{VKF}_{12} := \text{VKF}_{(z^{(0)}, z^{(1)})}$

$$\text{VKF}_{12}^T = \begin{array}{c|cccccccccccccccc} & 0 & 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 & 8 & 9 & 10 & 11 & 12 & 13 & 14 \\ \hline 0 & 0 & -1 & -2 & -1 & 0 & 3 & 0 & 3 & 4 & -3 & 0 & -1 & 0 & -1 & 0 \end{array}$$

Розрахувати ВКФ другої та першої М-послідовностей $VKF_{21} := VKF(z^{\langle 1 \rangle}, z^{\langle 0 \rangle})$

$$VKF_{12}^T =$$

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
	0	-1	-2	-1	0	3	0	3	4	-3	0	-1	0	-1	0

Графіки ВКФ двох М-послідовностей

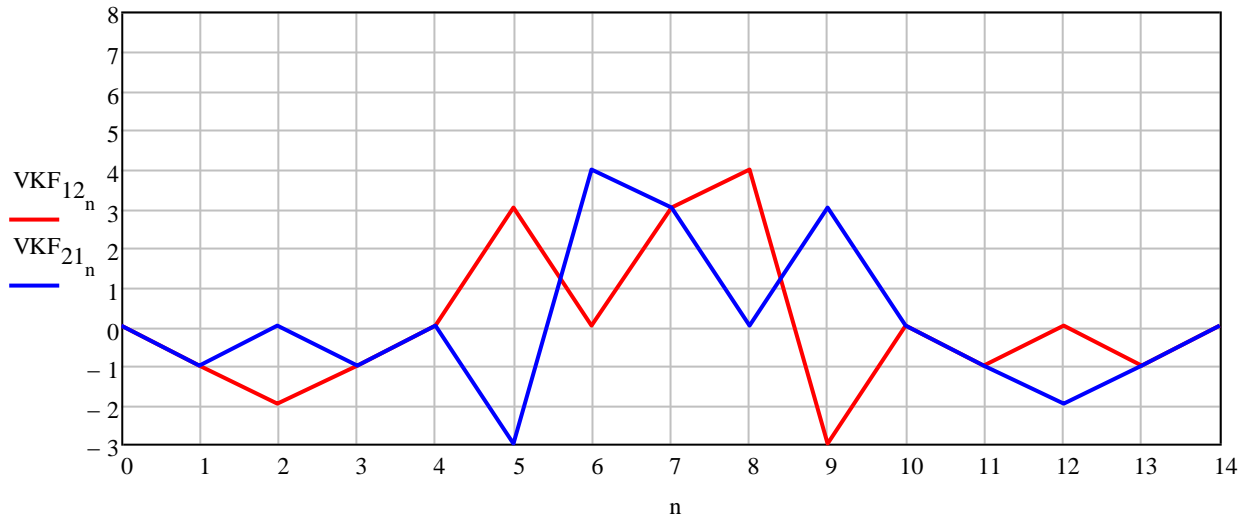


Рисунок 3.3 – Графіки ВКФ двох М-послідовностей

З'ясуємо величини та кількість піків ВКФ першої та другої М-послідовностей

$$\text{calcValue}(VKF_{12})^T = \begin{pmatrix} -3 & -2 & -1 & 0 & 3 & 4 \\ 1 & 1 & 4 & 6 & 2 & 1 \end{pmatrix}$$

З'ясуємо величини та кількість піків АКФ другої та першої М-послідовностей

$$\text{calcValue}(VKF_{21})^T = \begin{pmatrix} -3 & -2 & -1 & 0 & 3 & 4 \\ 1 & 1 & 4 & 6 & 2 & 1 \end{pmatrix}$$

Розрахувати ПАКФ першої М-послідовності $AKFCic_1 := AKFCic_1(z^{\langle 0 \rangle})$

$$AKFCic_1^T = (7 \ -1 \ -1 \ -1 \ -1 \ -1 \ -1)$$

Розрахувати ПАКФ другої М-послідовності $AKFCic_2 := AKFCic_1(z^{\langle 1 \rangle})$

$$AKFCic_2^T = (7 \ -1 \ -1 \ -1 \ -1 \ -1 \ -1)$$

$$n := 0.. \text{rows}(AKFCic_1) - 1$$

Графік ПАКФ першої M-послідовності

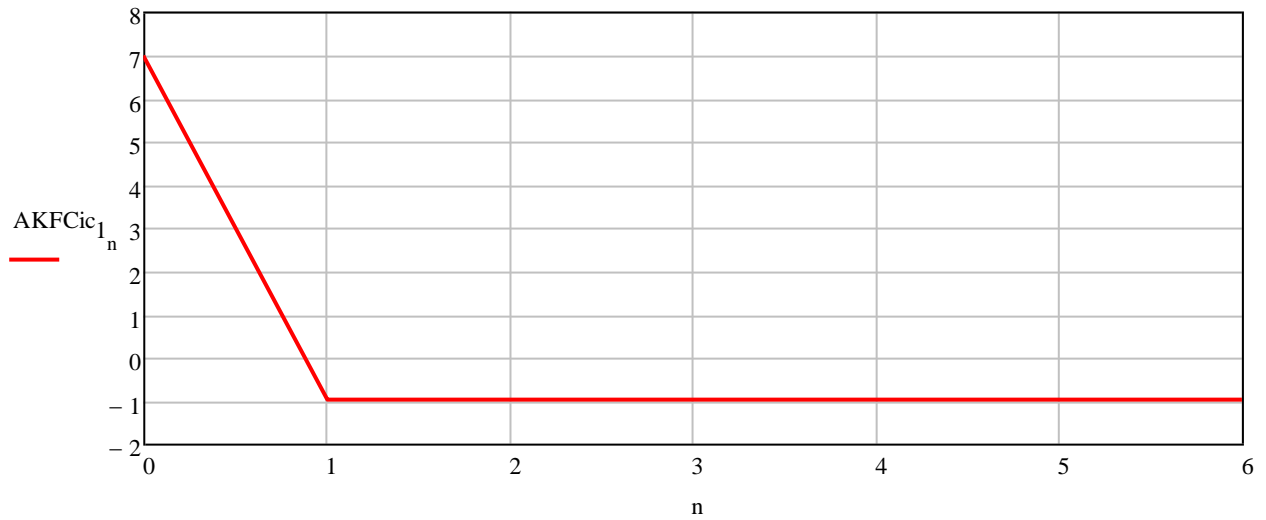


Рисунок 3.4 – Графік ПАКФ першої M-послідовності

Графік ПАКФ другої M-послідовності

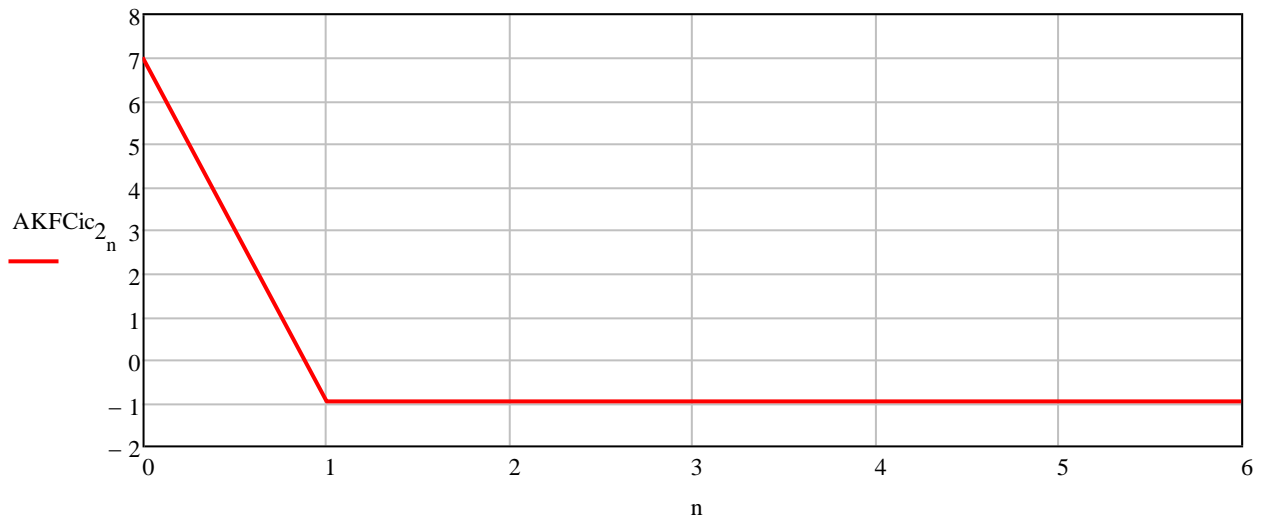


Рисунок 3.5 – Графік ПАКФ другої M-послідовності

З'ясуємо величини та кількість піків ПАКФ першої M-послідовності $\text{calcValue}(\text{AKFCic}_1)^T = \begin{pmatrix} -1 & 7 \\ 6 & 1 \end{pmatrix}$

З'ясуємо величини та кількість піків ПАКФ другої M-послідовності $\text{calcValue}(\text{AKFCic}_2)^T = \begin{pmatrix} -1 & 7 \\ 6 & 1 \end{pmatrix}$

Розрахувати ПВКФ першої та другої M-послідовностей $\text{VKFCic}_{12} := \text{VKFCic}_1(\langle z^0 \rangle, \langle z^1 \rangle)$

$$\text{VKFCic}_{12}^T = (3 \ 3 \ -5 \ -1 \ -1 \ 3 \ -1)$$

Розрахувати ПВКФ другої та першої М-послідовностей $\text{VKFCic}_{21} := \text{VKFCic}_1(z^{\langle 1 \rangle}, z^{\langle 0 \rangle})$

$$\text{VKFCic}_{21}^T = (3 \ -1 \ 3 \ -1 \ -1 \ -5 \ 3)$$

Графіки ПВКФ двох М-послідовностей

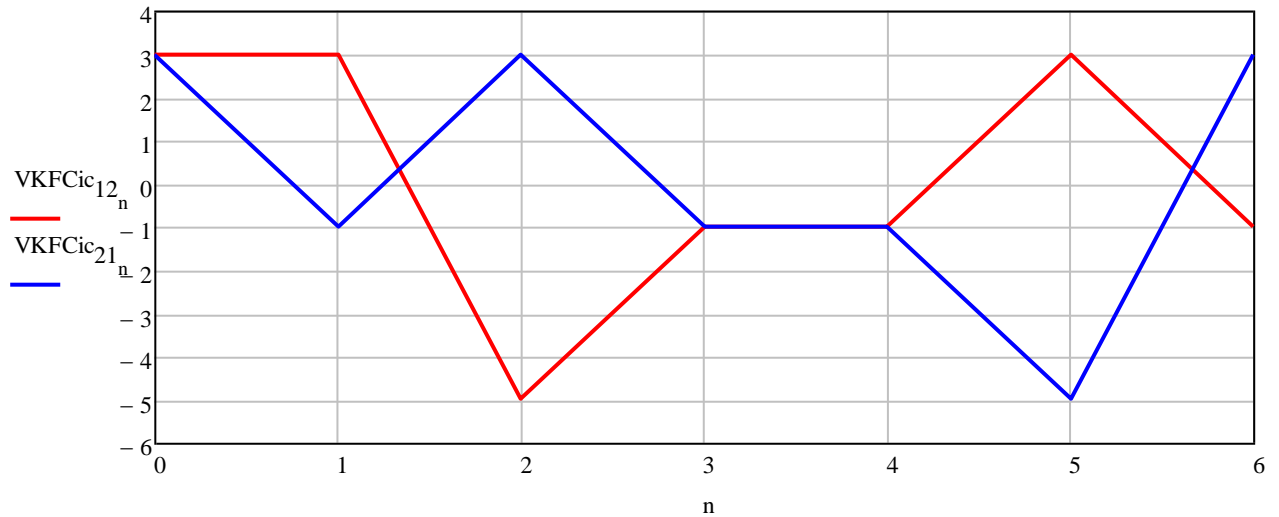


Рисунок 3.6 – Графіки ПВКФ двох М-послідовностей

З'ясуємо величини та кількість піків ПВКФ першої та другої М-послідовностей

$$\text{calcValue}(\text{VKFCic}_{21})^T = \begin{pmatrix} -5 & -1 & 3 \\ 1 & 3 & 3 \end{pmatrix}$$

З'ясуємо величини та кількість піків ПАКФ другої та першої М-послідовностей

$$\text{calcValue}(\text{VKFCic}_{12})^T = \begin{pmatrix} -5 & -1 & 3 \\ 1 & 3 & 3 \end{pmatrix}$$

Отримані макроси розрахунку КФ псевдовипадкових послідовностей будуть використані в подальших дослідженнях.

4 ДОСЛІДЖЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ ВИКОРИСТАННЯ ПСЕВДОВИПАДКОВИХ ДВІЙКОВИХ ПОСЛІДОВНОСТЕЙ ДЛЯ ПЕРЕДАЧІ ІНФОРМАЦІЇ

Проведемо дослідження особливостей використання псевдовипадкових двійкових послідовностей для передачі інформації на прикладі m -послідовностей при реалізації метода кодового розподілу каналів. Дослідження буде спиратися на моделювання в середовищі пакету MathCad, в якому є достатньо засобів для адекватного моделювання.

Основою побудови групового сигналу в даному дослідженні становить метод прямого розширення спектру (DSSS – direct sequence spread spectrum) інформаційного двійкового сигналу. Суть цього методу полягає в тому, що кожен імпульс інформаційного потоку заміщується шумоподібною послідовністю також двійкових символів. Це можна реалізувати за допомогою блоку перемноження сигналів (рис. 4.1)

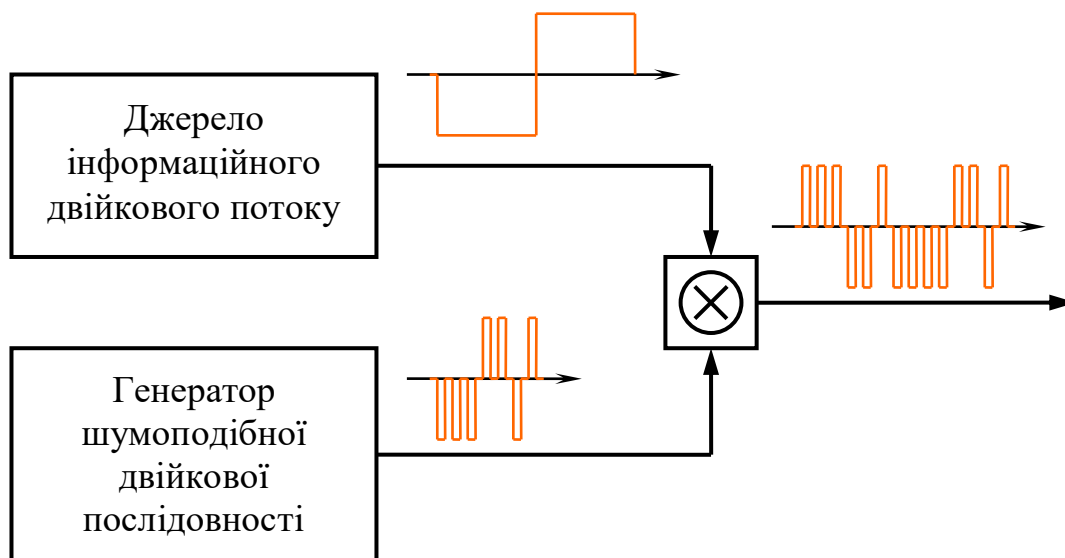


Рисунок 4.1 – Схема апаратного способу реалізації метода DSSS

Слід зауважити, що двійкові імпульси повинні бути двохполярні. Це необхідно як для подальшої кореляційної обробки сигналів так і для передачі сигналу в каналі зв'язку де треба забезпечити нульовий рівень постійної спектральної складової групового сигналу.

При кодовому розподілі каналів кожному абоненту надається своя кодова послідовність. Кількість абонентських каналів визначається кількістю послідовностей в множені, яка призначена для побудови сигналу групового каналу системи зв'язку. Наприклад, в стандарті мобільного зв'язку CDMA2000 в побудові групового сигналу можна використати 64 послідовності Уолша довжиною в 64 імпульсних позиції. Однак передача абонентського трафіку забезпечена тільки 55 послідовностями. Інші 9 послідовностей відведені під службові канали.

Таким чином доцільно було б розглянути відповідну сім'ю послідовностей та з'ясувати їхні властивості.

4.1 Використання m -послідовностей

Розглянемо множину m -послідовностей, період повторення яких складає 31 двійкову позицію. Послідовність такої довжини генерується за допомогою регістру зсуву об'ємом на п'ять розрядів, охопленого лінійним зворотним зв'язком відповідної структури.

Структура зворотного зв'язку визначається породжуючим поліномом m -послідовності. Для даного типу послідовностей існує всього шість поліномів [], вигляд яких наведено в табл. 4.1.

Таблиця 4.1 – Породжуючі поліноми m -послідовності з періодом $N = 63$

№	Породжуючий поліном
1	$h(x) = x^5 + x^2 + 1$
2	$h(x) = x^5 + x^4 + x^3 + x^2 + 1$
3	$h(x) = x^5 + x^4 + x^2 + x + 1$
4	$h(x) = x^5 + x^3 + x^2 + x + 1$
5	$h(x) = x^5 + x^4 + x^3 + x + 1$
6	$h(x) = x^5 + x^3 + 1$

На підґрунті породжуючих поліномів можна скласти схеми генераторів m -послідовностей, які наведені на рис. 4.2. Всі генератори за основу мають регістр зсуву на п'ять розрядів. Зворотний зв'язок складається з суматорів за модулем 2.

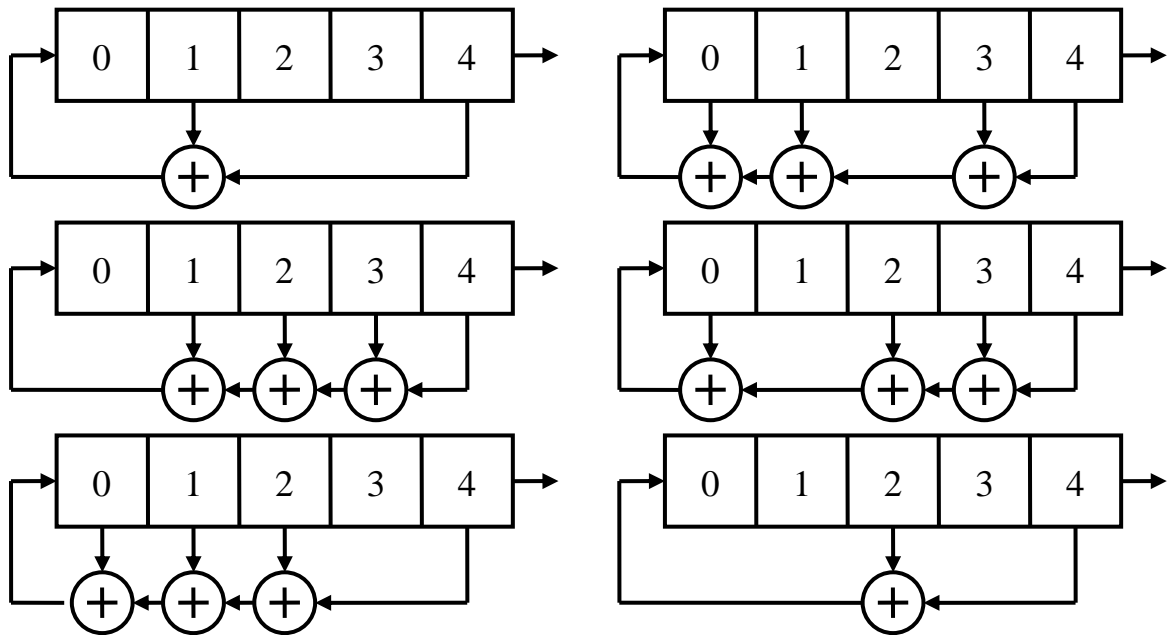


Рисунок 4.2 – Схеми генераторів m -послідовностей

На наступному етапі досліджень слід вивчити властивості кореляційних функцій даної сім'ї m -послідовностей. В даному випадку слід розглядати періодичні АКФ (ПАКФ) та періодичні ВКФ (ПВКФ). З точки зору визначення значення інформаційного біту, що передається за допомогою певної m -послідовності, значення мають величини головного піку ПАКФ та бічні піки ПАКФ та ПВКФ. Всі піки ПВКФ слід вважати бічними. Оскільки в сім'ї є 6 послідовностей, то і ПАКФ може бути тільки 6. Кількість ПВКФ є розміщенням по два елементи з шістьох та дорівнює:

$$A_6^2 = \frac{6!}{(6-2)!} = \frac{6!}{4!} = \frac{6 \cdot 5 \cdot 4!}{4!} = 6 \cdot 5 = 30.$$

Оскільки ВКФ кількісно характеризує "схожість/несхожість" двох послідовностей одна на одну, то має місце властивість симетрії. Тобто перша послідовність "схожа/несхожа" на другу як друга "схожа/несхожа" на першу. Тому кількість можливих ПВКФ можна зменшити в два рази до 15 примірників.

Відповідно слід дослідити 21 КФ.

4.2 Моделювання методу кодового розподілу каналів

Дослідження починається з генерування шістьох m -послідовностей за допомогою розроблених в другому розділі макросів.

Задати довжину регістру генератора $\underline{m} := 5$

Створити масив виводів регістру у відповідності до породжуючого поліному

$$sq := \left[(1 \ 4)^T \ (1 \ 2 \ 3 \ 4)^T \ (0 \ 1 \ 3 \ 4)^T \ (0 \ 1 \ 2 \ 4)^T \ (0 \ 2 \ 3 \ 4)^T \ (2 \ 4)^T \right]^T$$

Згенерувати всі стани регістра для всіх можливих M -послідовностей $zFull := allregisterMseq(m, sq)$

Згенерувати всі можливі M -послідовності $z := allMseq(m, zFull)$

$$n := 0..2^m - 1$$

Графіки всіх можливих M -послідовностей

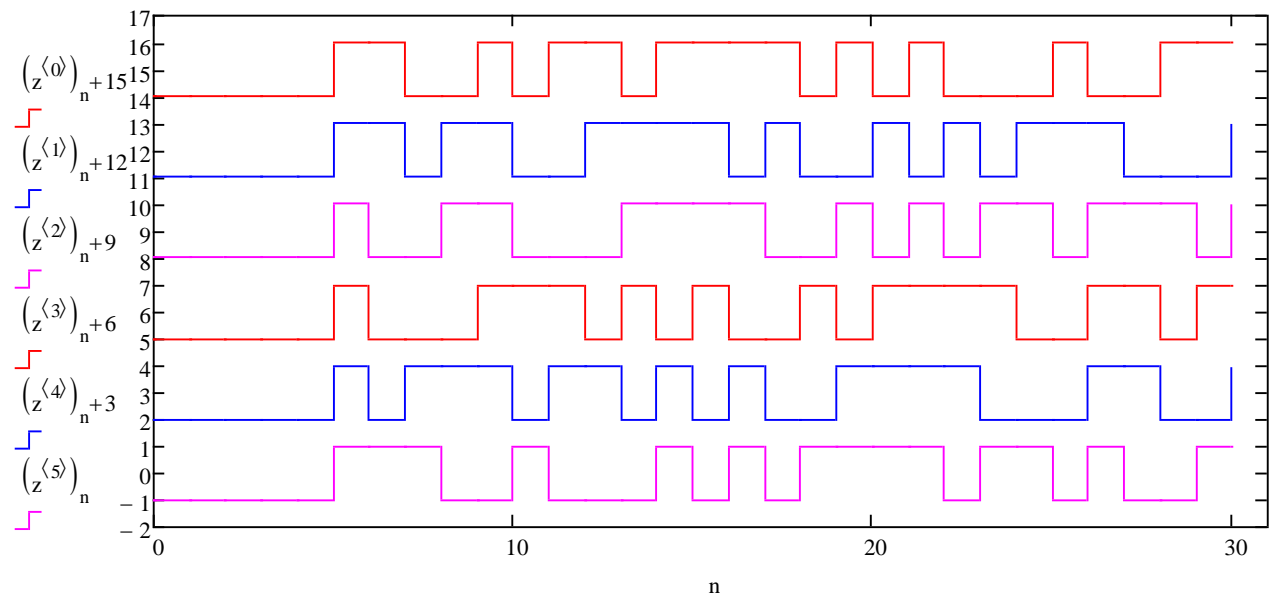


Рисунок 4.3 – Графіки всіх m -послідовностей сім'ї ($n = 5, N = 31$)

Наступним етапом йде розрахунок ПАКФ кожної M -послідовності з сім'ї.

Розрахувати періодичну автокореляційну функцію першої M -послідовності $AKFCirc_0 := AKFCicl(z^{(0)})$

Графіки всіх ПАКФ першої M-послідовності

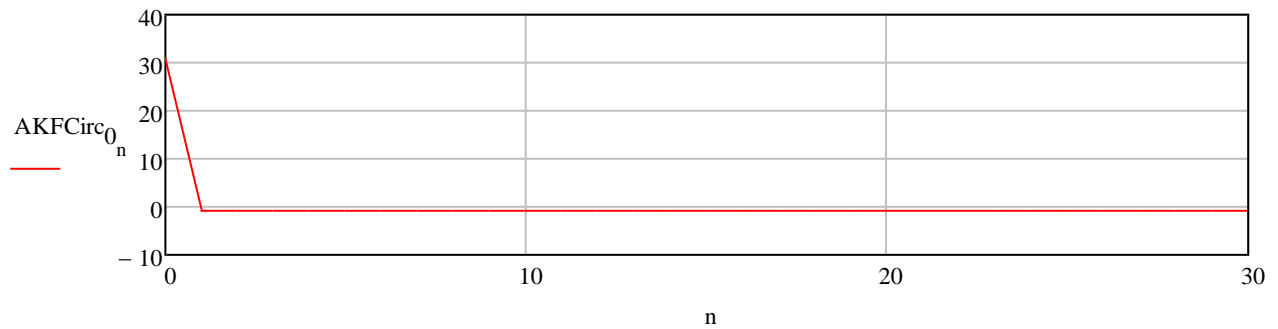


Рисунок 4.4– Графік ПАКФ першої m-послідовностей сім'ї ($n = 5, N = 31$)

Оскільки всі m-послідовності даної сім'ї складаються однакової кількості однакових імпульсних сигналів, то це означає, що вони мають однаковий енергетичний спектр. Цей факт в свою чергу означає, що всі m-послідовності даної сім'ї повинні мати однакові ПАКФ.

Цей факт підтверджується наступними виразами з файлу пакету MathCad.

Доказ того, що ПАКФ всіх M-послідовностей даної сім'ї однакові

$$\sum_{i=0}^{\text{rows}(\text{AKFCirc}_0)-1} \left(\text{AKFCirc}_0 - \text{AKFCicl}(z^{(1)}) \right)_i = 0$$

Доказ того, що ПАКФ всіх M-послідовностей даної сім'ї однакові

$$\sum_{i=0}^{\text{rows}(\text{AKFCirc}_0)-1} \left(\text{AKFCirc}_0 - \text{AKFCicl}(z^{(2)}) \right)_i = 0$$

Доказ того, що ПАКФ всіх M-послідовностей даної сім'ї однакові

$$\sum_{i=0}^{\text{rows}(\text{AKFCirc}_0)-1} \left(\text{AKFCirc}_0 - \text{AKFCicl}(z^{(3)}) \right)_i = 0$$

Доказ того, що ПАКФ всіх M-послідовностей даної сім'ї однакові

$$\sum_{i=0}^{\text{rows}(\text{AKFCirc}_0)-1} \left(\text{AKFCirc}_0 - \text{AKFCicl}(z^{(4)}) \right)_i = 0$$

Доказ того, що ПАКФ всіх M-послідовностей даної сім'ї однакові

$$\sum_{i=0}^{\text{rows}(\text{AKFCirc}_0)-1} \left(\text{AKFCirc}_0 - \text{AKFCicl}(z^{(5)}) \right)_i = 0$$

З графіку ПАКФ видно, що ПАКФ має один пік, який є головним величиною 31. Інші значення ПАКФ дорівнюють -1 .

З'ясуємо величини та кількість піків АКФ М-послідовності $\text{calcValue}(\text{AKFCirc}_0) = \begin{pmatrix} -1 & 30 \\ 31 & 1 \end{pmatrix}$

Тепер прийшла черга розрахунку всіх можливих ПВКФ між m -послідовностями сім'ї.

Розрахувати всі можливі ПВКФ між М-послідовностями сім'ї $\text{arrVKFCicMseq}_0 := \text{arrVKFCic}(z, 0)$

Графіки ПВКФ першої М-послідовності з іншими М-послідовностями сім'ї

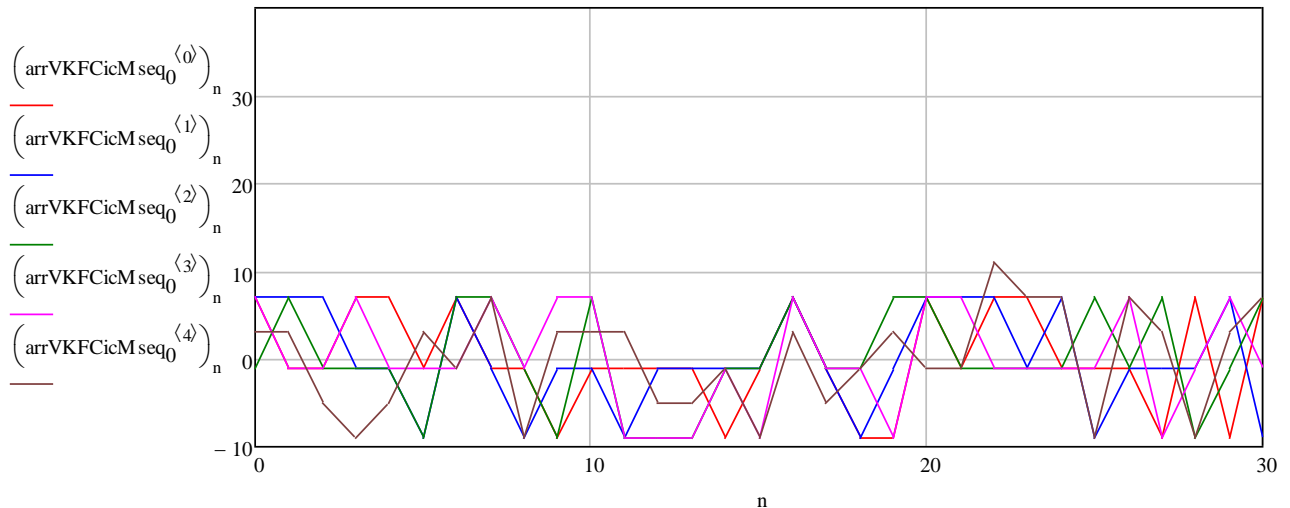


Рисунок 4.5– Графік ПСКФ першої m -послідовності з іншими m -послідовностями сім'ї ($n = 5, N = 31$)

Визначимо величини та кількості піків в кожній ПВКФ.

З'ясуємо величини та кількість піків ПВКФ М-послідовності $\text{calcValue}(\text{VKFCicl}(z^{\langle 0 \rangle}, z^{\langle 1 \rangle})) = \begin{pmatrix} -9 & 6 \\ -1 & 15 \\ 7 & 10 \end{pmatrix}$

З'ясуємо величини та кількість піків ПВКФ М-послідовності $\text{calcValue}(\text{VKFCicl}(z^{\langle 0 \rangle}, z^{\langle 2 \rangle})) = \begin{pmatrix} -9 & 6 \\ -1 & 15 \\ 7 & 10 \end{pmatrix}$

З'ясуємо величини та кількість піків ПВКФ М-послідовності $\text{calcValue}(\text{VKFCicl}(z^{\langle 0 \rangle}, z^{\langle 3 \rangle})) = \begin{pmatrix} -9 & 6 \\ -1 & 15 \\ 7 & 10 \end{pmatrix}$

З'ясуємо величини та кількість піків ПВКФ М-послідовності $\text{calcValue}(\text{VKFCicl}(z^{\langle 0 \rangle}, z^{\langle 4 \rangle})) = \begin{pmatrix} -9 & 6 \\ -1 & 15 \\ 7 & 10 \end{pmatrix}$

З'ясуємо величини та кількість піків ПВКФ М-послідовності $\text{calcValue}(\text{VKFCic1}(z^{\langle 0 \rangle}, z^{\langle 5 \rangle})) = \begin{pmatrix} -9 & 5 \\ -5 & 5 \\ -1 & 5 \\ 3 & 10 \\ 7 & 5 \\ 11 & 1 \end{pmatrix}$

Розрахувати всі можливі ПВКФ між М-послідовностями сім'ї $\text{arrVKFCicMseq}_1 := \text{arrVKFCic}(z, 1)$

Графіки ПВКФ другої М-послідовності з іншими М-послідовностями сім'ї

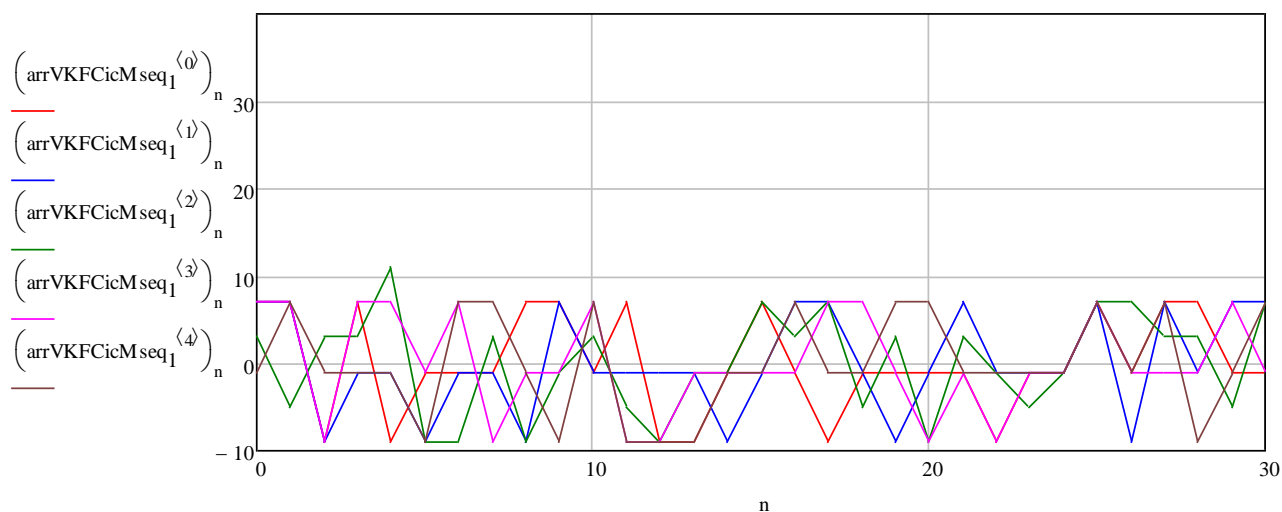


Рисунок 4.6– Графік ПВКФ другої m-послідовності з іншими m-послідовностями сім'ї (n = 5, N = 31)

Визначимо величини та кількості піків в кожній ПВКФ.

З'ясуємо величини та кількість піків ПВКФ М-послідовності $\text{calcValue}(\text{VKFCic1}(z^{\langle 1 \rangle}, z^{\langle 2 \rangle})) = \begin{pmatrix} -9 & 6 \\ -1 & 15 \\ 7 & 10 \end{pmatrix}$

З'ясуємо величини та кількість піків ПВКФ М-послідовності $\text{calcValue}(\text{VKFCic1}(z^{\langle 1 \rangle}, z^{\langle 3 \rangle})) = \begin{pmatrix} -9 & 5 \\ -5 & 5 \\ -1 & 5 \\ 3 & 10 \\ 7 & 5 \\ 11 & 1 \end{pmatrix}$

З'ясуємо величини та кількість піків ПВКФ М-послідовності $\text{calcValue}(\text{VKFCic1}(z^{\langle 1 \rangle}, z^{\langle 4 \rangle})) = \begin{pmatrix} -9 & 6 \\ -1 & 15 \\ 7 & 10 \end{pmatrix}$

З'ясуємо величини та кількість піків ПВКФ М-послідовності $\text{calcValue}(\text{VKFCic1}(z^{\langle 1 \rangle}, z^{\langle 5 \rangle})) = \begin{pmatrix} -9 & 6 \\ -1 & 15 \\ 7 & 10 \end{pmatrix}$

Розрахувати всі можливі ПВКФ між М-послідовностями сім'ї $\text{arrVKFCicMseq}_2 := \text{arrVKFCic}(z, 2)$

Графіки ПВКФ третьої М-послідовності з іншими М-послідовностями сім'ї

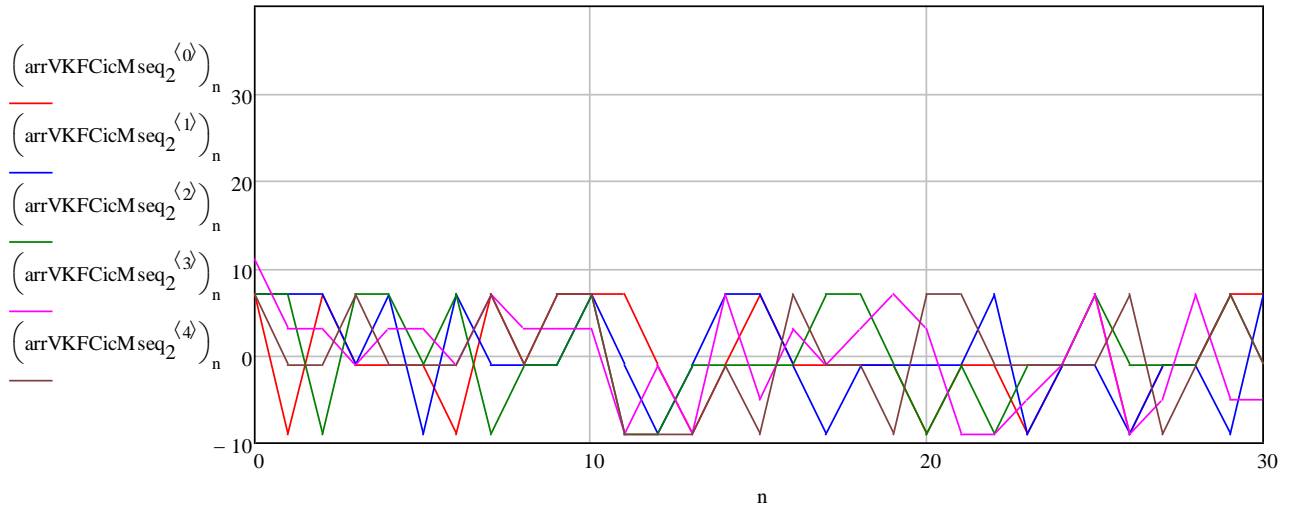


Рисунок 4.7– Графік ПВКФ третьої m-послідовності з іншими m-послідовностями сім'ї ($n = 5, N = 31$)

Визначимо величини та кількості піків в кожній ПВКФ.

З'ясуємо величини та кількість піків ПВКФ М-послідовності $\text{calcValue}(\text{VKFCic1}(z^{\langle 2 \rangle}, z^{\langle 3 \rangle})) = \begin{pmatrix} -9 & 6 \\ -1 & 15 \\ 7 & 10 \end{pmatrix}$

З'ясуємо величини та кількість піків ПВКФ М-послідовності $\text{calcValue}(\text{VKFCic1}(z^{\langle 2 \rangle}, z^{\langle 4 \rangle})) = \begin{pmatrix} -9 & 5 \\ -5 & 5 \\ -1 & 5 \\ 3 & 10 \\ 7 & 5 \\ 11 & 1 \end{pmatrix}$

З'ясуємо величини та кількість піків ПВКФ М-послідовності $\text{calcValue}(\text{VKFCic1}(z^{\langle 2 \rangle}, z^{\langle 5 \rangle})) = \begin{pmatrix} -9 & 6 \\ -1 & 15 \\ 7 & 10 \end{pmatrix}$

Розрахувати всі можливі ПВКФ між М-послідовностями сім'ї $\text{arrVKFCicMseq}_3 := \text{arrVKFCic}(z, 3)$

Графіки ПБКФ четвертої M-послідовності з іншими M-послідовностями сім'ї

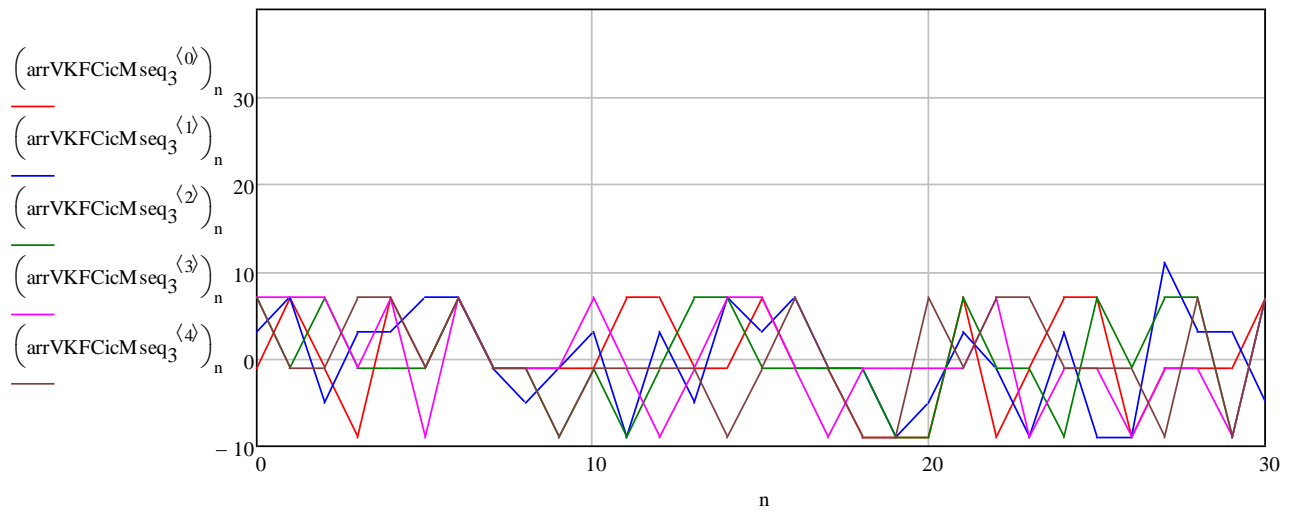


Рисунок 4.8– Графік ПБКФ четвертої m -послідовності з іншими m -послідовностями сім'ї ($n = 5, N = 31$)

З'ясуємо величини та кількість піків ПБКФ M -послідовності $\text{calcValue}(\text{VKFCicI}(z^{\langle 3 \rangle}, z^{\langle 4 \rangle})) = \begin{pmatrix} -9 & 6 \\ -1 & 15 \\ 7 & 10 \end{pmatrix}$

З'ясуємо величини та кількість піків ПБКФ M -послідовності $\text{calcValue}(\text{VKFCicI}(z^{\langle 3 \rangle}, z^{\langle 5 \rangle})) = \begin{pmatrix} -9 & 6 \\ -1 & 15 \\ 7 & 10 \end{pmatrix}$

Розрахувати всі можливі ПБКФ між M -послідовностями сім'ї $\text{arrVKFCicMseq}_4 := \text{arrVKFCic}(z, 4)$

Графіки ПВКФ п'ятої M-послідовності з іншими M-послідовностями сім'ї

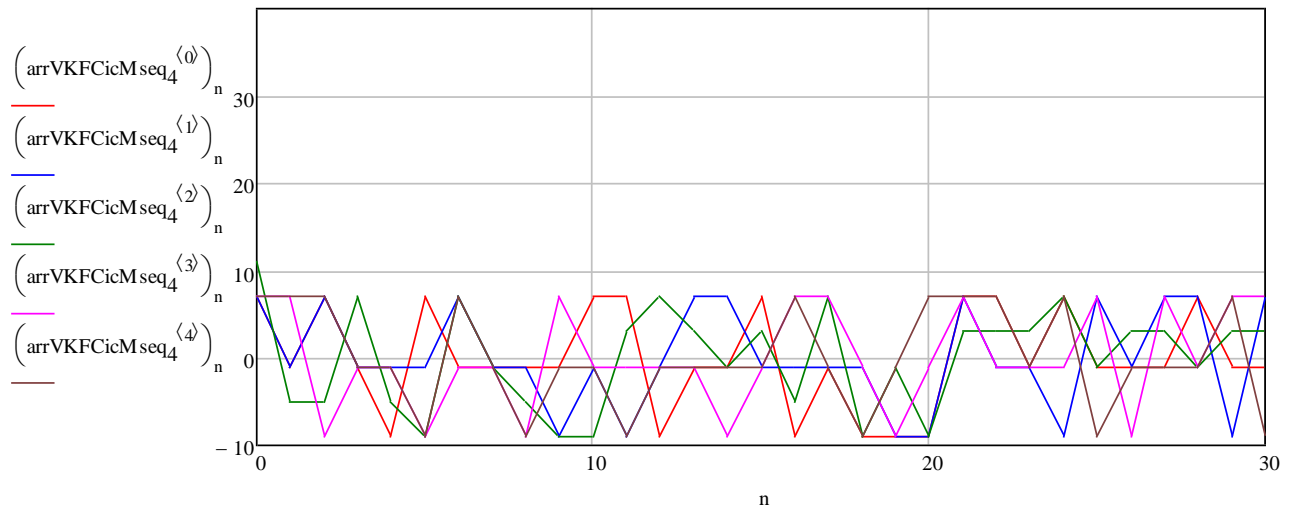


Рисунок 4.9– Графік ПВКФ п'ятої m -послідовності з іншими m -послідовностями сім'ї ($n = 5, N = 31$)

З'ясуємо величини та кількість піків ПВКФ M -послідовності $\text{calcValue}(\text{VKFCicI}(z^{\langle 4 \rangle}, z^{\langle 5 \rangle})) = \begin{pmatrix} -9 & 6 \\ -1 & 15 \\ 7 & 10 \end{pmatrix}$

Розрахувати всі можливі ПВКФ між M -послідовностями сім'ї $\text{arrVKFCicMseq}_5 := \text{arrVKFCic}(z, 5)$

Графіки ПВКФ шостої M-послідовності з іншими M-послідовностями сім'ї

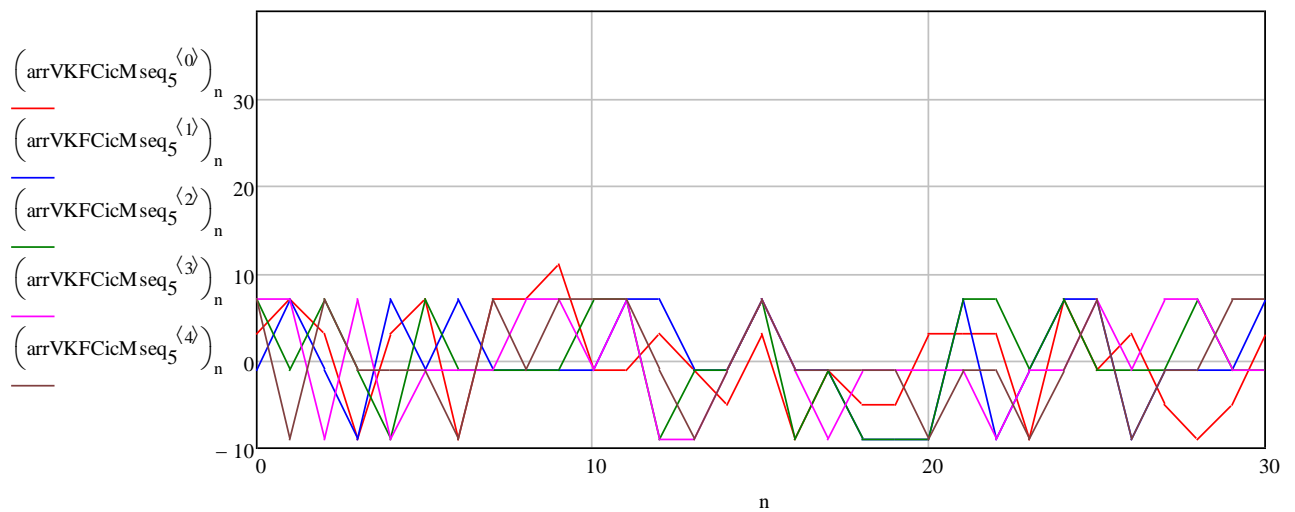


Рисунок 4.10– Графік ПВКФ шостої m -послідовності з іншими m -послідовностями сім'ї ($n = 5, N = 31$)

Аналіз отриманих КФ показує:

- всі ПАКФ мають всього один пік, який є головним, величиною 31, всі інші значення дорівнюють -1 ;
- всього 6 ПВКФ з 30 можливих мають наступний набір величин піків: $-9; -5; -1; 3; 7; 11$ в кількостях відповідно: 5; 5; 5; 10; 5; 1;
- інші 24 ПВКФ з 30 можливих мають наступний набір величин піків: $-9; -1; 7$ в кількостях відповідно: 6; 15; 10.

З огляду на подальшу кореляційну обробку треба звернути увагу на перші елементи в масивах ПВКФ:

$$\text{З'ясуємо перші в масиві значення ПВКФ } \left(\text{arrVKFCicMseq}_0^T \right)^{\langle 0 \rangle^T} = (7 \ 7 \ -1 \ 7 \ 3)$$

$$\text{З'ясуємо перші в масиві значення ПВКФ } \left(\text{arrVKFCicMseq}_1^T \right)^{\langle 0 \rangle^T} = (7 \ 7 \ 3 \ 7 \ -1)$$

$$\text{З'ясуємо перші в масиві значення ПВКФ } \left(\text{arrVKFCicMseq}_2^T \right)^{\langle 0 \rangle^T} = (7 \ 7 \ 7 \ 11 \ 7)$$

$$\text{З'ясуємо перші в масиві значення ПВКФ } \left(\text{arrVKFCicMseq}_3^T \right)^{\langle 0 \rangle^T} = (-1 \ 3 \ 7 \ 7 \ 7)$$

$$\text{З'ясуємо перші в масиві значення ПВКФ } \left(\text{arrVKFCicMseq}_4^T \right)^{\langle 0 \rangle^T} = (7 \ 7 \ 11 \ 7 \ 7)$$

$$\text{З'ясуємо перші в масиві значення ПВКФ } \left(\text{arrVKFCicMseq}_5^T \right)^{\langle 0 \rangle^T} = (3 \ -1 \ 7 \ 7 \ 7)$$

Видно, що всі ці значення не дорівнюють нулю, в більшості додатні та за абсолютною величиною значно менше величини головного піку ПАКФ досліджуваних m -послідовностей. Однак їхня сума вже наближається до величини головного піку (31): 23 та 39.

Оскільки далі треба буде проводити виявлення певної m -послідовності із повної їхньої суміші, то треба проаналізувати суму всіх КФ для кожної m -послідовності

Розрахуємо суму всіх КФ відповідної M -послідовності
 $\text{arrAllVKFCicMSeq}_0 := \text{arrAllVKF}(\text{arrVKFCicMseq}_0) + \text{AKFCirc}_0$

Розрахуємо суму всіх КФ відповідної M -послідовності
 $\text{arrAllVKFCicMSeq}_1 := \text{arrAllVKF}(\text{arrVKFCicMseq}_1) + \text{AKFCirc}_0$

Розрахуємо суму всіх КФ відповідної M -послідовності
 $\text{arrAllVKFCicMSeq}_2 := \text{arrAllVKF}(\text{arrVKFCicMseq}_2) + \text{AKFCirc}_0$

Розрахуємо суму всіх КФ відповідної M -послідовності
 $\text{arrAllVKFCicMSeq}_3 := \text{arrAllVKF}(\text{arrVKFCicMseq}_3) + \text{AKFCirc}_0$

Розрахуємо суму всіх КФ відповідної M-послідовності
 $\text{arrAllVKFCicMSeq}_4 := \text{arrAllVKF}(\text{arrVKFCicMseq}_4) + \text{AKFCirc}_0$

Розрахуємо суму всіх КФ відповідної M-послідовності
 $\text{arrAllVKFCicMSeq}_5 := \text{arrAllVKF}(\text{arrVKFCicMseq}_5) + \text{AKFCirc}_0$

Графіки сумарних КФ M-послідовностей

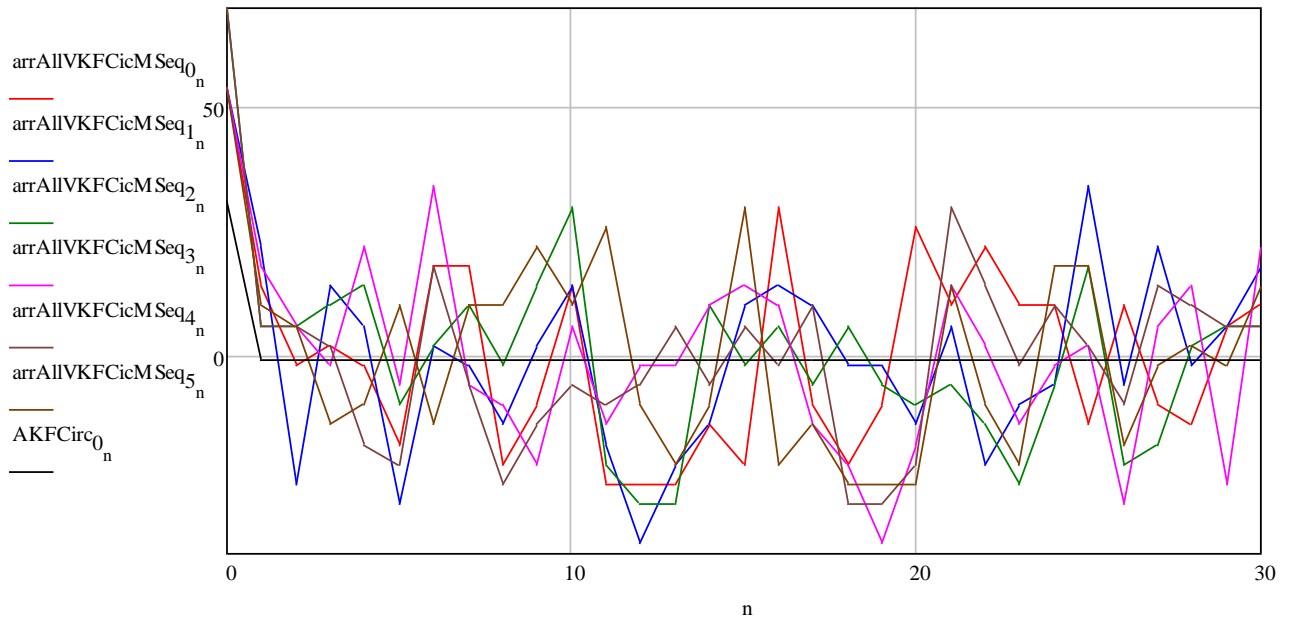


Рисунок 4.11– Графік сумарних КФ M-послідовностей ($n = 5, N = 31$)

В результаті досліджень маємо наступні пари максимальних та мінімальних значень піків сумарних ВКФ m-послідовностей: (54; -26); (54; -38); (70; -30); (54; -38); (70; -30); (54; -26). При цьому максимальні значення відповідають головному піку ПАКФ.

Отримані результати свідчать про те, що, використовуючи метод DSSS, можна виділяти з групового сигналу певний абонентський канал з огляду на головні піки сумарної КФ.

Проведемо моделювання цього процесу.

На початку задамо тестові інформаційні сигнали:

$$\text{Визначити вміст тестових інформаційних каналів } x := \begin{bmatrix} \begin{pmatrix} 0 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 \end{pmatrix} \\ -2 \cdot \end{bmatrix} + 1^T$$

Створемо множину розширяючих каналних m -послідовностей.

Задати довжину регістру генератора $m := 5$

Створити масив виводів регістру у відповідності до породжуючого поліному

$sq := [(1\ 4)^T\ (1\ 2\ 3\ 4)^T\ (0\ 1\ 3\ 4)^T\ (0\ 1\ 2\ 4)^T\ (0\ 2\ 3\ 4)^T\ (2\ 4)^T]^T$

Згенерувати всі стани регістра для всіх можливих M -послідовностей $zFull := allregisterMseq(m, sq)$

Згенерувати всі можливі M -послідовностей $z := allMseq(m, zFull)$

Сформувати розширений інформаційний сигнал $y := seqExpOne(x, z)$

Сформувати розширений інформаційний сигнал $p := seqExpTwo(y)$

$n := 0..rows(p) - 1$

Графіки всіх розширених інформаційних потоків

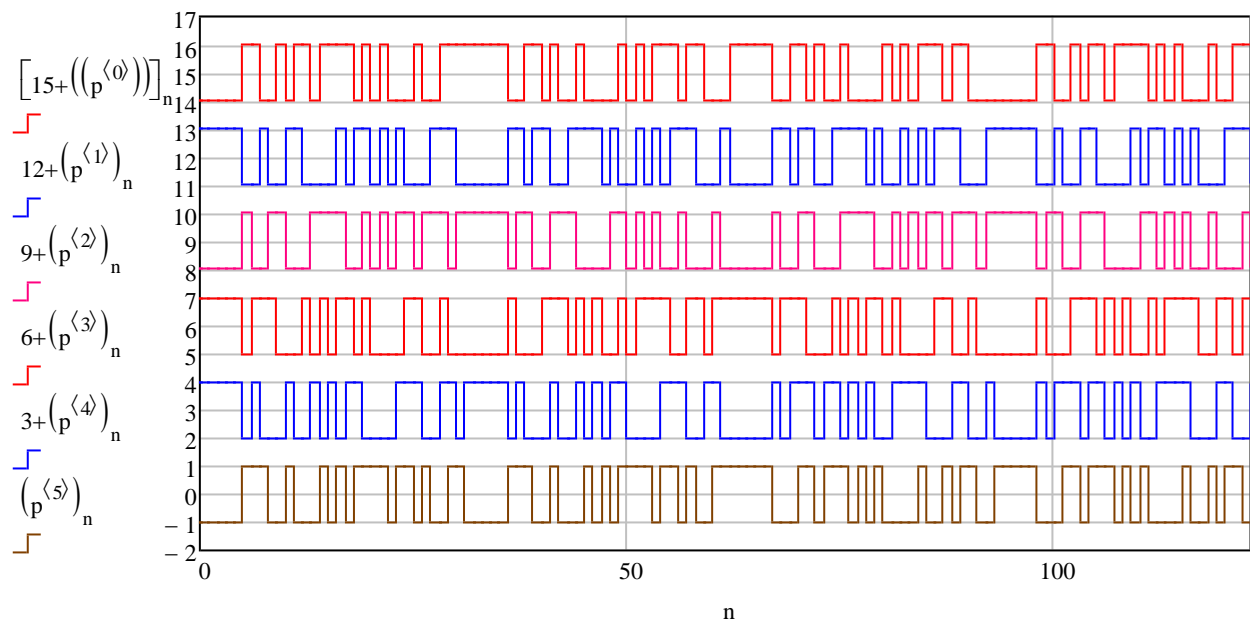


Рисунок 4.12– Графік розширених інформаційних потоків

Сформувати груповий сигнал $pAll := \sum_{i=0}^{cols(p)-1} p^{<i>}$

Графік потоку групового каналу

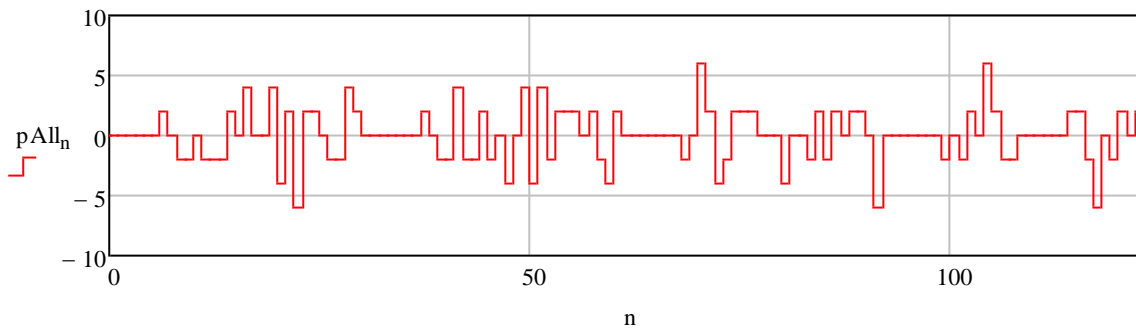


Рисунок 4.13– Графік потоку групового каналу

Тепер слід промоделювати процес розділення інформаційних каналів.

Розрахувати номер інформаційного каналу $j := 0$

Розрахувати ПАКФ першої M-послідовності $\underline{AKF} := VKFCircCDMA(p^{(j)}, z^{(j)})$

Графік ПАКФ першого інформаційного каналу

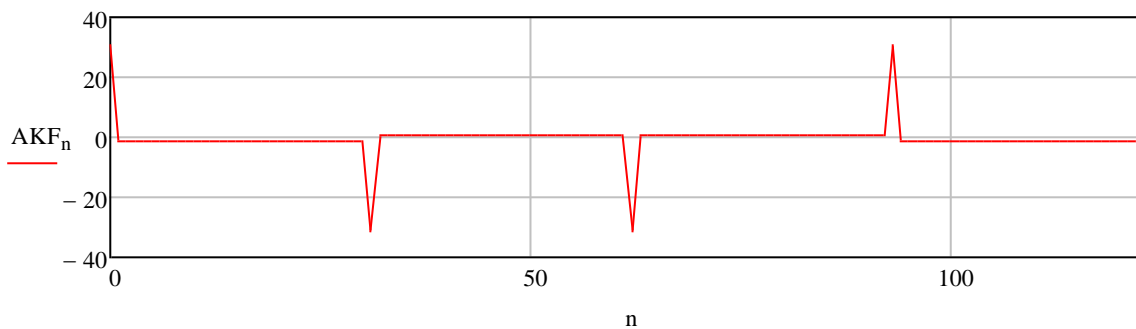


Рисунок 4.14– Графік ПАКФ першого інформаційного каналу

Розрахувати ПВКФ першої M-послідовності з груповим сигналом $\underline{VKF} := VKFCircCDMA(pAll, z^{(j)})$

Графіки ПВКФ першого інформаційного каналу

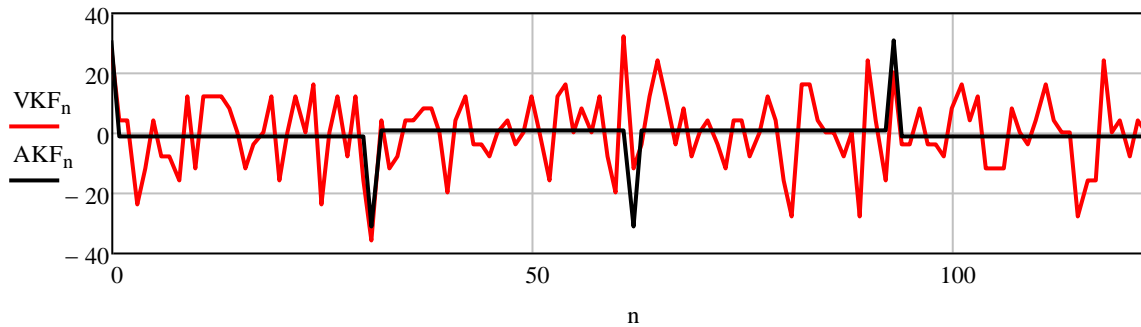


Рисунок 4.15– Графік ПВКФ першого інформаційного каналу

Розпізнати інформаційні символи

$$\text{stack}\left(\text{recognize}\left(\text{AKF}, x, z^{\langle j \rangle}\right)^T, \text{recognize}\left(\text{VKF}, x, z^{\langle j \rangle}\right)^T\right) = \begin{pmatrix} -31 & 31 & 31 & -31 & -31 & 31 \\ -36 & 32 & 28 & -36 & -12 & 20 \end{pmatrix}$$

З'ясувати кількість піків мінімальної та максимальної величини в ПВКФ групового сигналу

$$\text{stack}\left(\text{sort}(\text{VKF})^T, \text{reverse}(\text{sort}(\text{VKF}))^T\right) =$$

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	-36	-28	-28	-28	-24	-24	-20	-20	-16	-16
1	32	28	24	24	24	20	16	16	16	...

Розрахувати номер інформаційного каналу $j := 1$

Розрахувати ПАКФ другої M-послідовності $\text{AKF} := \text{VKFCircCDMA}\left(p^{\langle j \rangle}, z^{\langle j \rangle}\right)$

Графік ПАКФ другого інформаційного каналу

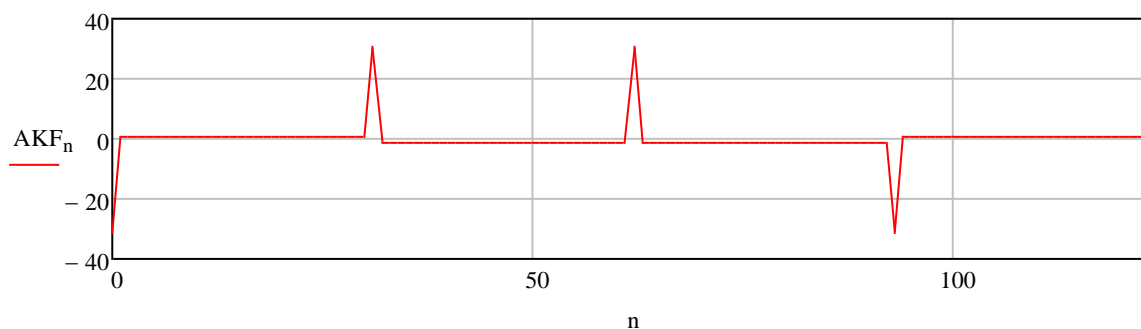


Рисунок 4.16– Графік ПАКФ другого інформаційного каналу

Розрахувати ПВКФ другої M-послідовності з груповим сигналом $\text{VKF} := \text{VKFCircCDMA}\left(p_{\text{All}}, z^{\langle j \rangle}\right)$

Графік ПВКФ другого інформаційного каналу

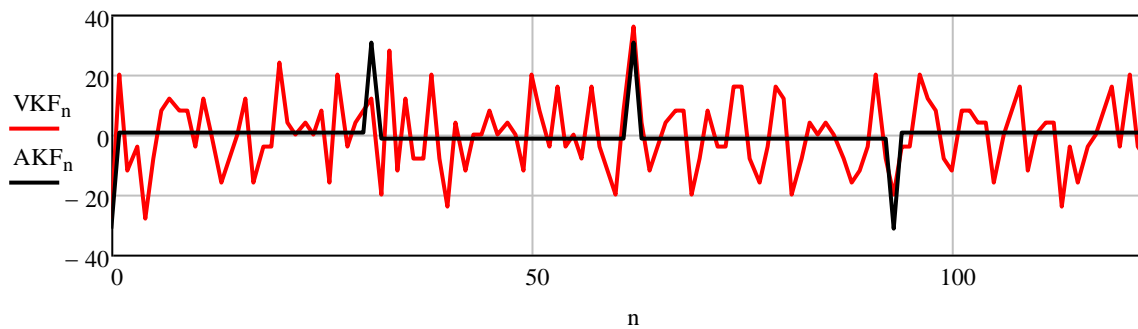


Рисунок 4.17– Графік ПВКФ другого інформаційного каналу

Розпізнати інформаційні символи

$$\text{stack}\left(\text{recognize}\left(\text{AKF}, x, z^{\langle j \rangle}\right)^T, \text{recognize}\left(\text{VKF}, x, z^{\langle j \rangle}\right)^T\right) = \begin{pmatrix} -31 & 31 & -31 & 31 & 31 & -31 \\ -28 & 36 & -28 & 12 & 36 & -20 \end{pmatrix}$$

З'ясувати кількість піків мінімальної та максимальної величини в ПВКФ групового сигналу

$$\text{stack}\left(\text{sort}(\text{VKF})^T, \text{reverse}(\text{sort}(\text{VKF}))^T\right) =$$

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	-28	-28	-24	-24	-20	-20	-20	-20	-20	-16
1	36	28	24	20	20	20	20	20	20	...

Розрахувати номер інформаційного каналу $j_{\text{in}} := 2$

Розрахувати ПАКФ третьої M-послідовності $\text{AKF} := \text{VKFCircCDMA}\left(p^{\langle j \rangle}, z^{\langle j \rangle}\right)$

Графік ПАКФ третього інформаційного каналу

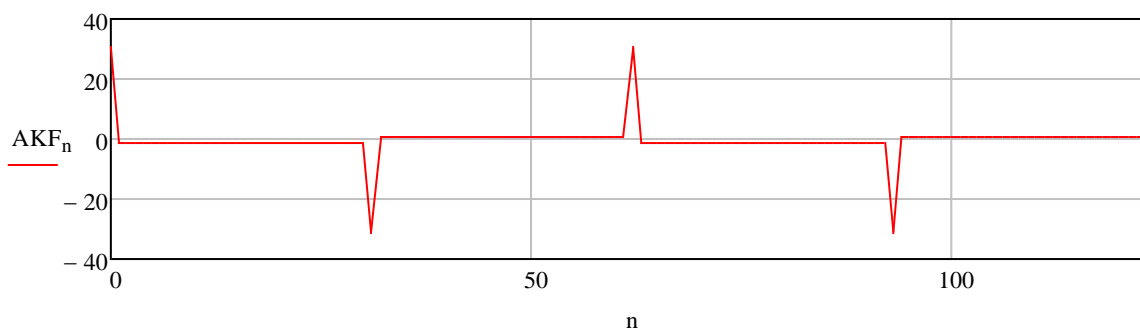


Рисунок 4.18– Графік ПАКФ третього інформаційного каналу

Розрахувати ПВКФ третьої M-послідовності з груповим сигналом $\text{VKF} := \text{VKFCircCDMA}\left(p_{\text{All}}, z^{\langle j \rangle}\right)$

Графік ПВКФ третього інформаційного каналу

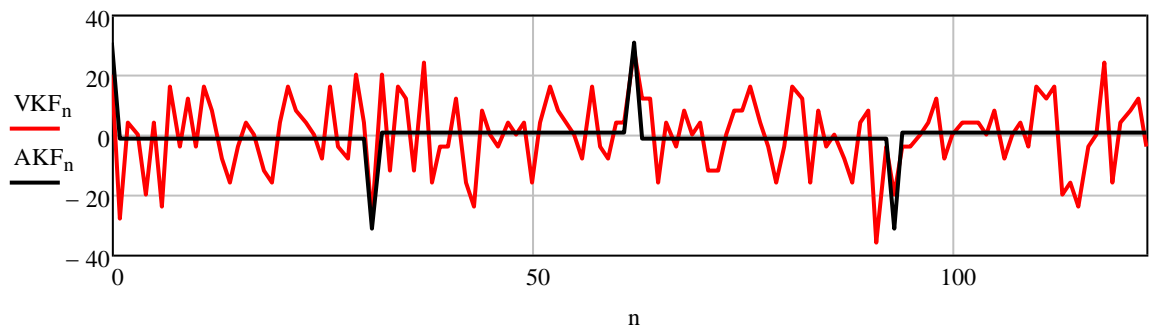


Рисунок 4.19– Графік ПВКФ третього інформаційного каналу

Розпізнати інформаційні символи

$$\text{stack}\left(\text{recognize}\left(\text{AKF}, x, z^{\langle j \rangle}\right)^T, \text{recognize}\left(\text{VKF}, x, z^{\langle j \rangle}\right)^T\right) = \begin{pmatrix} -31 & 31 & 31 & -31 & 31 & -31 \\ -36 & 28 & 20 & -28 & 28 & -20 \end{pmatrix}$$

З'ясувати кількість піків мінімальної та максимальної величини в ПВКФ групового сигналу

$$\text{stack}\left(\text{sort}(\text{VKF})^T, \text{reverse}(\text{sort}(\text{VKF}))^T\right) =$$

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	-36	-28	-28	-24	-24	-24	-20	-20	-20	-16
1	28	24	24	20	20	20	16	16	16	...

Розрахувати номер інформаційного каналу $j_{\text{ch}} := 3$

Розрахувати ПАКФ четвертої M-послідовності $\text{AKF} := \text{VKFCircCDMA}\left(p^{\langle j \rangle}, z^{\langle j \rangle}\right)$

Графік ПАКФ четвертого інформаційного каналу

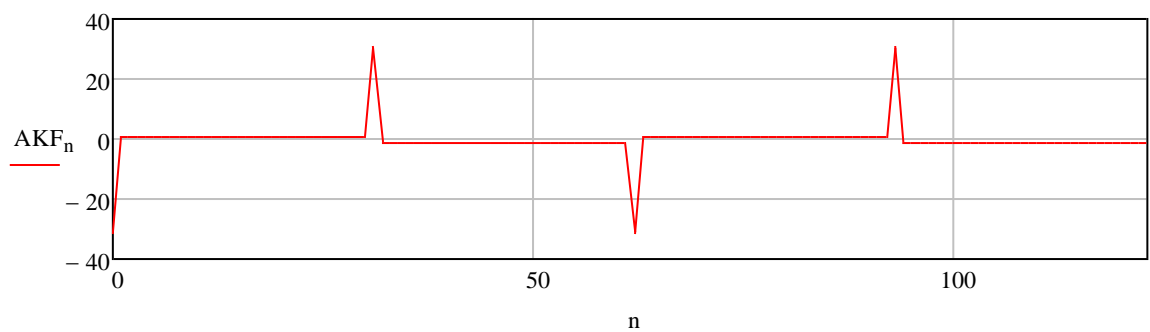


Рисунок 4.20– Графік ПАКФ четвертого інформаційного каналу

Розрахувати ПВКФ четвертої M-послідовності з груповим сигналом $\text{VKF} := \text{VKFCircCDMA}\left(p_{\text{All}}, z^{\langle j \rangle}\right)$

Графік ПВКФ четвертого інформаційного каналу

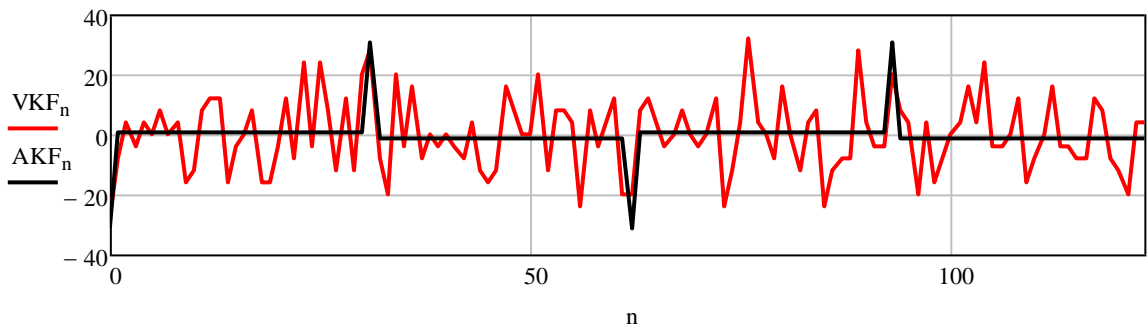


Рисунок 4.21– Графік ПВКФ четвертого інформаційного каналу

Розпізнати інформаційні символи

$$\text{stack}\left(\text{recognize}\left(\text{AKF}, x, z^{\langle j \rangle}\right)^T, \text{recognize}\left(\text{VKF}, x, z^{\langle j \rangle}\right)^T\right) = \begin{pmatrix} -31 & 31 & -31 & 31 & -31 & 31 \\ -28 & 32 & -28 & 28 & -20 & 20 \end{pmatrix}$$

З'ясувати кількість піків мінімальної та максимальної величини в ПВКФ групового сигналу

$$\text{stack}\left(\text{sort}(\text{VKF})^T, \text{reverse}(\text{sort}(\text{VKF}))^T\right) =$$

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	-28	-24	-24	-24	-20	-20	-20	-20	-20	-16
1	32	28	28	24	24	24	20	20	20	...

Розрахувати номер інформаційного каналу $j_{\text{ch}} := 4$

Розрахувати ПАКФ п'ятої M-послідовності $\text{AKF} := \text{VKFCircCDMA}\left(p^{\langle j \rangle}, z^{\langle j \rangle}\right)$

Графік ПАКФ п'ятого інформаційного каналу

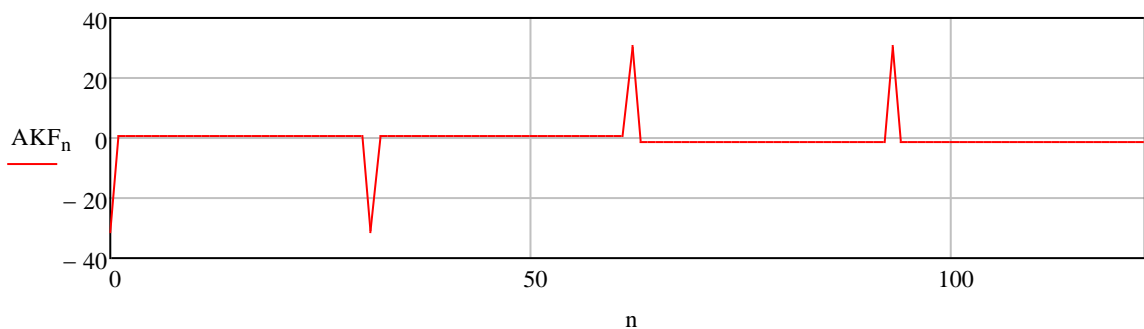


Рисунок 4.22– Графік ПАКФ п'ятого інформаційного каналу

Розрахувати ПВКФ п'ятогої M-послідовності з груповим сигналом $\text{VKF} := \text{VKFCircCDMA}\left(p_{\text{All}}, z^{\langle j \rangle}\right)$

Графік ПВКФ п'ятого інформаційного каналу

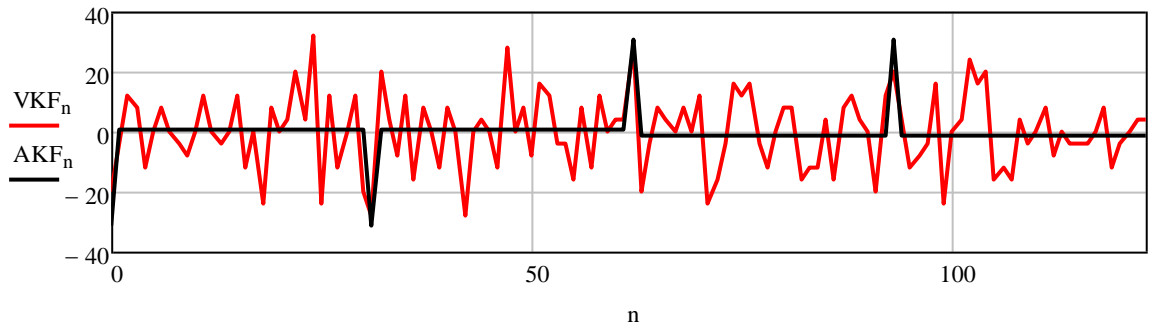


Рисунок 4.23 – Графік ПВКФ п'ятого інформаційного каналу

Розпізнати інформаційні символи

$$\text{stack}\left(\text{recognize}\left(\text{AKF}, x, z^{\langle j \rangle}\right)^T, \text{recognize}\left(\text{VKF}, x, z^{\langle j \rangle}\right)^T\right) = \begin{pmatrix} -31 & 31 & -31 & -31 & 31 & 31 \\ -28 & 32 & -20 & -28 & 28 & 20 \end{pmatrix}$$

З'ясувати кількість піків мінімальної та максимальної величини в ПВКФ групового сигналу

$$\text{stack}\left(\text{sort}(\text{VKF})^T, \text{reverse}(\text{sort}(\text{VKF}))^T\right) =$$

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	-28	-28	-24	-24	-24	-24	-20	-20	-20	-20
1	32	28	28	24	20	20	20	20	16	...

Розрахувати номер інформаційного каналу $j_{\lambda} := 5$

Розрахувати ПАКФ шостої M-послідовності $\text{AKF} := \text{VKFCircCDMA}\left(p^{\langle j \rangle}, z^{\langle j \rangle}\right)$

Графік ПАКФ шостого інформаційного каналу

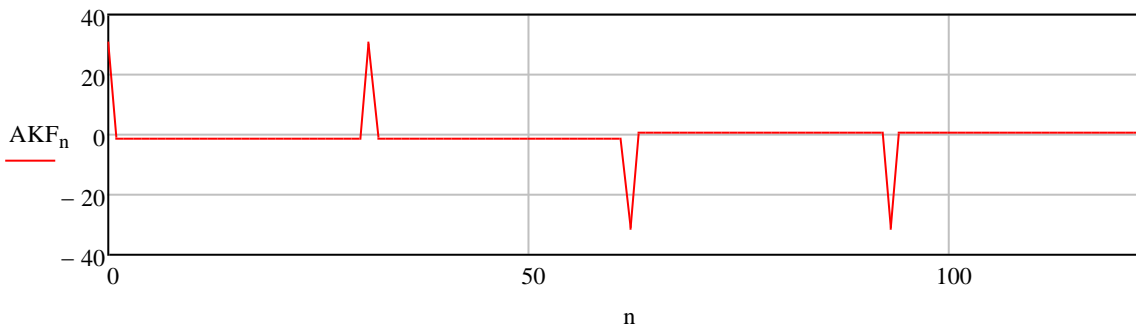


Рисунок 4.24– Графік ПАКФ шостого інформаційного каналу

Розрахувати ПВКФ шостої M-послідовності з груповим сигналом $\text{VKF} := \text{VKFCircCDMA}\left(p_{\text{All}}, z^{\langle j \rangle}\right)$

Графік ПВКФ шостого інформаційного каналу

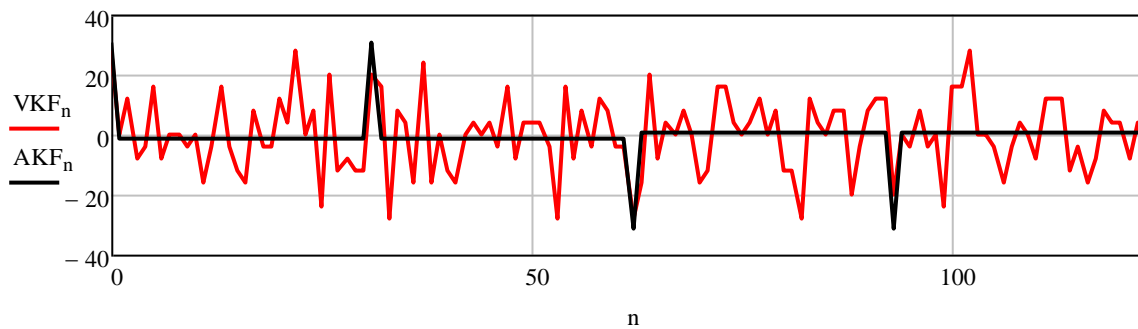


Рисунок 4.25– Графік ПВКФ шостого інформаційного каналу

Розпізнати інформаційні символи

$$\text{stack}\left(\text{recognize}\left(\text{AKF}, x, z^{\langle j \rangle}\right)^T, \text{recognize}\left(\text{VKF}, x, z^{\langle j \rangle}\right)^T\right) = \begin{pmatrix} -31 & 31 & 31 & 31 & -31 & -31 \\ -28 & 28 & 28 & 20 & -28 & -20 \end{pmatrix}$$

З'ясувати кількість піків мінімальної та максимальної величини в ПВКФ групового сигналу

$$\text{stack}\left(\text{sort}(\text{VKF})^T, \text{reverse}(\text{sort}(\text{VKF}))^T\right) =$$

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	-28	-28	-28	-28	-24	-24	-20	-20	-16	-16
1	28	28	28	24	20	20	20	16	16	...

Успішне виділення абонентського каналу буде спостерігатися в разі наявності в ПВКФ групового сигналу додатних та від'ємних піків величиною ± 31 на перших позиціях розширюючих послідовностей: 0;31;62;93. Наразі це в повному обсязі не має місця.

Отримані результати моделювання свідчать про те, що при використанні всіх кодових m -послідовностей сім'ї з $(n=5, N=31)$ має місце велика міжсимвольна інтерференція. В наслідок цього не вдається в повному обсязі виділити абонентський сигнал з сигналу групового каналу. А це означає, що використання сім'ї m -послідовностей $(n=5, N=31)$ для реалізації метода кодового розподілу каналів не є можливим.

ВИСНОВКИ

Цифрова технологія формування інформаційних потоків ґрунтується на застосування двійкових сигналів, двійкових кодів та двійкових послідовностей. Означені двійкові послідовності повинні задовольняти певним вимогам в залежності від способу та місцю застосування.

Розглянуті в роботі m -послідовності мають широке застосування при формуванні інформаційних потоків в телекомунікаційних мережах. Вони дозволяють покращити умови надійної передачі інформації, а також реалізувати нескладні алгоритми шифрування даних.

Ці двійкові послідовності привабливі простими способами генерування, за рахунок використання простих рекурентних співвідношень. Також відновлення m -послідовності з вихідного сигналу каналу зв'язку значно простіше виконати, застосовуючи методи кореляційної обробки сигналів.

Перелік напрямків застосування m -послідовностей ще не вичерпаний, тому в роботі була виконана спроба побудувати на основі сім'ї m -послідовностей алгоритм складання групового сигналу багатоканальної системи зв'язку з кодовим розподілом каналів.

За результатами виконаної роботи можна зробити низку висновків.

1) m -послідовності належать до класу двійкових рекурентних періодичних послідовностей;

2) m -послідовності з певним періодом повторення утворюють сім'ю послідовностей, розмір якої пропорційній функції Ейлера від величини періоду;

3) m -послідовності мають статистичні властивості дуже подібні до статистичних властивостей послідовностей шуму;

4) m -послідовності мають АКФ дуже подібну до АКФ білого шуму;

5) АКФ m -послідовностей однієї сім'ї ідентичні;

6) використання m -послідовностей малої величини періоду значно утруднює до неможливості застосування їх в якості кодів абонентів в методі кодового розподілу каналів;

7) можливо значне збільшення періоду m -послідовностей та суттєве обмеження кількості примірників з сім'ї дозволить створити умови для формування групового сигналу багатоканальної системи передачі з кодовим розподілом каналів.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ

1. Прокис Дж. Цифровая связь [Текст]. – М.: Радио и связь, 2000. – 800 с. 1988, – 272 с.
2. Скляр Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение [Текст]. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2003. – 1104 с.
3. Феер К. Беспроводная цифровая связь. Методы модуляции и расширения спектра [Текст]. – М.: Радио и связь, 2000. – 520 с.
4. Цифровые и аналоговые системы передачи. В.И. Иванов, В.Н. Гордиенко, Г.Н. Попов [Текст]. – М.: Радио и связь, 1996. – 369 с.
5. Баскаков С.И. Радиотехнические цепи и сигналы [Текст]. – М.: Высш. шк., 1988 – 448 с.
6. Прикладная теория кодирования: Учеб.-метод. комплекс для студ. спец. 1-39 01 01 «Радиотехника»/ Сост. Р.П. Богуш, А.В. Курилович; Под общей редакцией Р.П. Богуша. – Новополюк: ПГУ, 2005. – 256 с.
7. Основы теории передачи информации. Ч. 1. Экономное кодирование /В.И. Шульгин. – Учеб. пособие. – Харьков: Нац. аэрокосм. ун-т «Харьк. авиац. ин-т», 2003
8. Основы теории передачи информации. Ч. 2. Помехоустойчивое кодирование /В.И. Шульгин. – Учеб. пособие. – Харьков: Нац. аэрокосм. ун-т «Харьк. авиац. ин-т», 2003
9. Варакин Л.Е. Системы связи с шумоподобными сигналами. – М.: Ралио и связь, 1985. – 384 с., ил.
10. Шумоподобные сигналы в системах передачи информации/В.Б. Пестряков, В.П. Афанасьев, В.Л. Гурвич и др.; Под ред. В.Б. Пестрякова. – М.: Сов. ралио, 1973. – 424 с.
11. Телекоммуникационные системы и сети. Т. 1, Б.И. Крук, В.Н. Попантонопуло, В.П. Шувалов [Текст]. – Новосибирск: Наука, 1998. – 415 с.
12. Скалин Ю.В. Цифровые системы передачи [Текст]. – М.: Радио и связь, 6. Телекоммуникационные системы и сети. Т. 2, Г.П. Катунин, Г.В. Мамчев, В.Н. Попантонопуло, В.П. Шувалов [Текст]. – Новосибирск: ЦЭРИС, 2000. – 387 с.
13. Методичні вказівки до дипломного проектування бакалаврів для студентів усіх форм навчання напряму 6.05903 «Телекомунікації» по кафедрі

«Мережі зв'язку» [Текст] / Упоряд. В.В.Ємельянов, Ю.М. Бідний, І.А. Філіппенко. – Харків: ХНУРЕ, 2009. – 36 с.