

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
Національний університет «Запорізька політехніка»

Інформаційної безпеки та електронних комунікацій

(повне найменування інституту, факультету)

Інформаційних технологій та телекомунікацій

(повне найменування кафедри )

## Пояснювальна записка

до дипломного проекту (роботи)

Магістр

(ступінь вищої освіти)

на тему РОЗРОБКА МЕТОДІВ ШИФРУВАННЯ ВІДЕОПОТОКУ ПРИ  
ПЕРЕДАВАННІ АНАЛОГОВИМИ ПЕРЕДАВАЧАМИ

Виконав: студентка \_ 6 \_ курсу, групи БКз-512М

Спеціальності 172 Телекомунікації та

радіотехніка

(код і найменування спеціальності)

Освітня програма (спеціалізація)

Інтелектуальні технології мікросистемної  
радіоелектронної техніки

Керівник

Євген ОГРЕНИЧ

(прізвище та ініціали)

Рецензент

Андрій КОРОТУН

(прізвище та ініціали)

2023

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
**Національний університет «Запорізька політехніка»**  
 (повне найменування закладу вищої освіти)

Факультет інформаційної безпеки та електронних комунікацій

Кафедра Інформаційних технологій електронних засобів

Ступінь вищої освіти Магістр

Спеціальність 172 Телекомунікації та радіотехніка  
 (код і найменування)

Освітня програма (спеціалізація): Інтелектуальні технології мікросистемної радіоелектронної техніки  
 (назва освітньої програми (спеціалізації))

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри ІТЕЗ к.т.н, доц.

О.Ю.МАЛИЙ  
 « 22 » листопада 2023 року

**З А В Д А Н Н Я**  
**НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТА(КИ)**

Юлія КЛИМЕНКО

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проєкту (роботи) Розробка методів шифрування відеопотоку при передаванні аналоговими передачами

керівник проєкту (роботи) Євген ОГРЕНИЧ, к.ф.-м.н, доцент  
 каф.ІТЕЗ

( прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти від «21» листопада 2023 року № 448

2. Строк подання студентом проєкту (роботи) «27» грудня 2023 року

3. Вихідні дані до проєкту (роботи) \_\_\_\_\_

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Вступ, 1. Теоритичні основи передачі аналогового відеосигналу, 2. Дослідження типів шифрування аналогового сигналу, 3. Розробка схеми та конструкції системи хаотичного шифрування.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, кількість слайдів) \_\_\_\_\_

## 6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	прийняв виконане завдання
<b>1</b>	<b>Євген ОГРЕНИЧ</b>	<b>15.10.23</b>	
<b>2</b>	<b>Євген ОГРЕНИЧ</b>	<b>17.11.23</b>	
<b>3</b>	<b>Євген ОГРЕНИЧ</b>	<b>07.12.23</b>	
<b>нормоконтроль</b>	<b>Ірина ПОСПЕЄВА</b>	<b>19.12.23</b>	

7. Дата видачі завдання «04» \_\_вересня\_\_\_\_ 2023\_року.

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
<b>1</b>	Аналіз теоритичних основ передачі аналогового відеосигналу	<b>9.10.23</b>	
<b>2</b>	Постановка задач	<b>11.10.23</b>	
<b>3</b>	Дослідження типів шифрування аналогового сигналу	<b>12.10.23</b>	
<b>4</b>	Розробка схеми та конструкції системи хаотичного шифрування	<b>20.10.23</b>	
<b>5</b>	Оформлення пояснювальної записки та документів	<b>01.12.23</b>	
<b>6</b>	Нормоконтроль та рецензування	<b>07.12.23</b>	
<b>7</b>	Оформлення ПЗ та захист дипломного проекту	<b>23.12.23</b>	

Студентка

\_\_\_\_\_

(підпис)

**Юлія КЛИМЕНКО**

(прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи)

\_\_\_\_\_

(підпис)

**Євген ОГРЕНИЧ**

(прізвище та ініціали)

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до магістерської роботи: 64 сторінок, 38 рисунків, 16 джерел, 3 таблиці.

АНАЛОГОВИЙ СИГНАЛ, БЕЗДРОТОВЕ ПЕРЕДАВАННЯ, МОДУЛЯЦІЯ, ВІДЕОРЯДОК, ШИФРУВАННЯ, ГЕНЕРАТОР, ХАОС, СИНХРОНІЗАЦІЯ

Мета роботи – розробка та впровадження ефективних методів шифрування відеопотоку для забезпечення конфіденційності та захисту даних при їх передаванні аналоговими передавачами. З урахуванням розповсюдження аналогових систем передачі відеосигналів у різних сферах, від відеоспостереження до телевізійного мовлення, важливо розробити методи шифрування, що враховують особливості цих систем та забезпечують високий рівень захисту.

У першому розділі розглядається теоритичні основи та недоліки їх вразливості аналогового відеосигналу.

У другому розділі розглядається методи та дослідження шифрування, частотні та часові перетворення аналогового сигналу, математичні та алгоритмічні засади шифрування.

У третьому розділі розглядається схема конструкції системи хаотичного шифрування, вибір функціональних елементів системи та розробка схеми на конструкції хаотичного скремблера.

## ЗМІСТ

Реферат .....	4
Вступ.....	6
<b>1 ТЕОРИТИЧНІ ОСНОВИ ПЕРЕДАЧІ АНАЛОГОВОГО ВІДЕОСИГНАЛУ .....</b>	<b>8</b>
1.1 Бездротове передавання аналогового відео .....	8
1.2 Недоліки та вразливості аналогового відео.....	19
1.3 Постановка задач.....	21
<b>2 ДОСЛІДЖЕННЯ ТИПІВ ШИФРУВАННЯ АНАЛОГОВОГО СИГНАЛУ .....</b>	<b>23</b>
2.1 Огляд можливих методів шифрування аналогового сигналу .....	23
2.2 Математичні та алгоритмічні засади шифрування аналогового сигналу .	25
2.2.1 Частотні перетворення аналогового сигналу .....	25
2.2.2 Часові перетворення аналогового сигналу.....	28
2.3 Математичні та алгоритмічні моделі шифрування аналогового сигналу з використанням генератора хаотичних сигналів .....	31
<b>3 РОЗРОБКА СХЕМИ ТА КОНСТРУКЦІЇ СИСТЕМИ ХАОТИЧНОГО ШИФРУВАННЯ.....</b>	<b>40</b>
3.1 Вибір функціональних елементів системи. ....	40
3.2 Розробка схеми та конструкції хаотичного склемблера .....	51
3.3 Розробка схеми та конструкції хаотичного дескремблера .....	54
3.4 Принцип дії системи хаотичного шифрування.....	57
<b>ВИСНОВКИ.....</b>	<b>62</b>
Перелік джерел посилання .....	63

## ВСТУП

В сучасному інформаційному суспільстві, де збільшується обсяг передаваної інформації, захист конфіденційності та цілісності даних стає надзвичайно актуальним завданням. Однією з ключових областей, що вимагає надійного захисту, є передача аналогових відеосигналів (аналогове телебачення).

Це телебачення, знайоме кожному, яке застали ще батьки наших батьків. Воно транслюється незакодованим способом, його основою виступає аналоговий сигнал, і приймає його звичайний, знайомий нам з дитинства, аналоговий телевізор. В даний час у багатьох країнах здійснюється процес оцифровки аналогового сигналу, а стало бути, ефірного телебачення. Аналоговим сигналом є отримані дані, які ми бачимо, чуємо і сприймаємо, як світ, який нас оточує. Цей метод генерування, обробки, передачі і запису сигналів – традиційний і поки дуже поширений. Дані перетворюються в електромагнітні коливання, які відображають частоту і інтенсивність явищ за принципом повної відповідності.

Історично методи шифрування інформації розвивалися крок в крок із розвитком техніки передачі, зберігання та обробки інформації.

По-перше, поява та широке впровадження перших систем телефонного зв'язку, носієм інформації у яких був спочатку лише аналоговий сигнал (оскільки природа мовного сигналу аналогова), обумовило потребу в розробці методів шифрування цього виду сигналів.

По-друге, поява та широке впровадження систем документованого зв'язку, першим представником якого можна вважати телеграфний зв'язок. На сьогоднішній день відомо два способи шифрування аналогового сигналу – це:

- зворотне перетворення характеристик аналогового сигналу з використанням ключа, що визначає його характеристики, яке отримало назву аналогового шифрування чи скремблювання;

- попереднє зворотнє перетворення аналогового сигналу в цифрову форму, до якого потім застосовуються звичайні методи шифрування дискретного сигналу.

У даній пояснювальній записці розглядається сутність, методологія та можливі переваги шифрування аналогових відеосигналів, а також проводиться огляд сучасних підходів до розв'язання цієї проблеми.

# 1 ТЕОРИТИЧНІ ОСНОВИ ПЕРЕДАЧІ АНАЛОГОВОГО ВІДЕОСИГНАЛУ

## 1.1 Бездротове передавання аналогового відео

Передавання аналогового відео - це процес передачі відеосигналу у формі, яка не є цифровою. Це може відбуватися за допомогою аналогових технологій, таких як аналогове телебачення (PAL, NTSC, SECAM), композитний сигнал, компонентне відео, S-Video та інші.

Як і усі аналогові телевізійні стандарти, PAL є адаптованим і сумісним із старішим монохромним (чорно-білим) телемовленням. В адаптованих аналогових стандартах кольорового телемовлення додатковий сигнал колірності передається у кінці спектру монохромного телесигналу таблиця 1.

Таблиця 1- Стандарт PAL

Система	PAL B, G,H	PAL I	PAL D	PAL N	PAL M
Рядки	625	625	625	625	525
Кадри	50	50	50	50	60
Частота рядкової розгортки	15,625 кГц	15,625 кГц	15,625 кГц	15,625 кГц	15,750 кГц
Частота кадрової розгортки	50 Гц	50 Гц	50 Гц	50 Гц	60 Гц
Частота несучої колірної компоненти	4,433618 МГц	4,433618 МГц	4,433618 МГц	3,582056 МГц	3,575611 МГц
Смуга пропускання відео	5,0 МГц	5,5 МГц	6,0 МГц	4,2 МГц	4,2 МГц
Частота несучої звуку	5,5 МГц	6,0 МГц	6,5 МГц	4,5 МГц	4,5 МГц

Як відомо із фізіології зору людини, відчуття кольору складається із трьох основних складових: червоного (R), зеленого (G) і синього (B) кольорів. Таку колірну модель позначають аббревіатурою RGB. Через переважання у середньостатистичній телевізійній картинці зеленої складової кольору і для уникнення надлишкового кодування, як додатковий сигнал колірності використовують різницеві сигнали R-Y та B-Y (де Y — загальна яскравість монохромного телесигналу). У системі PAL використовують так звану колірну модель YUV ( $U = R - Y$ ,  $V = B - Y$ ).

Обидва додаткових сигнали колірності у стандарті PAL передаються одночасно у квадратурній модуляції (різновид амплітудної модуляції), типова частота піднесучої сигналу — 4433618,75 Гц (4,43 МГц). При цьому кожен різницевий сигнал кольору повторяють у наступному рядку з поворотом фази з частотою 15,625 кГц на 180 градусів, завдяки чому декодер PAL повністю усуває фазові помилки (типові для системи колірності NTSC). Для усунення фазової помилки декодер складає поточний і попередній рядки із пам'яті (у аналогових телевізійних приймачах використовується лінія затримки). Таким чином, об'єктивно, кольорове телевізійне зображення у стандарті PAL має вдвічі меншу роздільну здатність по-вертикалі, ніж монохромне зображення. Суб'єктивно через більшу чутливість ока до яскравісної складової, на середньостатистичних телевізійних картинках таке погіршення майже не помітне. Застосування цифрової обробки сигналу ще більше згладжує цей недолік.

Застосування квадратурної модуляції є відмінною особливістю стандарту PAL від стандарту SECAM, повторення різницевих колірних сигналів у протифазі відрізняє його від NTSC, а колірна модель YUV відрізняє стандарт PAL від всіх аналогових систем.

Телевізійний кадр стандарту PAL має 576 активних рядків (всього їх у кадрі 625, але частина із них — службові), при цьому кожен рядок має 720 незалежних відліків (а максимально досяжна роздільна здатність обмежена 700 точками). Таким чином, телевізійний кадр є матрицею формату 720x576. Кожен кадр складається із полів (field) — парних (нижніх) і непарних (верхніх) рядків (черезрядкова розгортка), щоб зменшити мерехтіння, викликане швидким потемнінням люмінофору електронно-променевої трубки телеекрану. Непарні рядки формують непарне поле, парні рядки — парне поле. Всього у сигналі стандарту PAL 25 кадрів (50 полів).

Перший кольоровий стандарт телебачення має відносно високу частоту кадрів — 30 на секунду. Це знижує мерехтіння зображень та робить менш помітними шуми. До недоліків можна зарахувати кількість рядків розгортки,

лише 525, що призводить до зниження вертикальної чіткості та до помітності рядкової структури на великих екранах.

Відео в стандарті NTSC відображається з частотою 29,97 кадрів в секунду. Ця частота була обрана для відповідності частоті електромережі в Північній Америці, яка становить 60 Гц. NTSC використовує систему кодування кольорів, відому як композитне відео, де яскравість (люмінесценція) та інформація про кольори (хромінанс) об'єднуються в один сигнал. Ця система кодування дозволяє передавати інформацію про кольори разом із сигналом чорно-білого зображення.

Основні характеристики стандарту NTSC наведені у таблиці 2.

Таблиця 2 - Основні характеристики стандарту NTSC

Система	NTSC М
Рядки	525
Кадри	60
Частота рядкової розгортки	15,734 кГц
Частота кадрової розгортки	60 Гц
Частота несної колірної компоненти	3,579545 МГц
Смуга пропускання відео	4,2 МГц
Частота несучої звуку	4,5 МГц

Як і усі аналогові телевізійні стандарти, SECAM є адаптованим і сумісним із старішим монохромним (чорно-білим) телемовленням. В адаптованих стандартах кольорового телемовлення додатковий сигнал колірності передається у високочастотній області спектру монохромного телесигналу.

Основні характеристики стандарту SECAM наведені у таблиці 3.

Таблиця 3 - Основні характеристики стандарту SECAM

Система	SECAM B, G,H	SECAM D, K,K1,L
Рядки/Розгортка	625/50	625/50
Частота рядків	15,625 кГц	15,625 кГц
Частота кадрів	50 Гц	50 Гц
Смуга пропускання відео	5,0 МГц	6,0 МГц
Частота несучої звуку	5,5 МГц	6,5 МГц

Як відомо із фізіології зору людини, відчуття кольору складається із трьох основних складових: червоного (R), зеленого (G) і синього (B) кольорів. Таку колірну модель позначають аббревіатурою RGB. Із різних причин замість трьох сигналів основних кольорів передаються монохромний сигнал Y (яскравість) і різноколірні R-Y (Red-Y) і B-Y (Blue-Y). У системі SECAM використовують колірну модель YDbDr (різновид моделі YUV).

Сигнал колірності у стандарті SECAM передається у частотній модуляції (ЧМ), по одній колірній складовій у одному телевізійному рядку по чергово. Як відсутні рядки використовують попередній сигнал R-Y або B-Y відповідно, отримуючи його із пам'яті. У аналогових телеприймачах для реалізації пам'яті використовують лінію затримки, що являє собою сталевий або скляний стрижень.

Отже, кольорове телевізійне зображення у стандарті SECAM має вдвічі меншу роздільну здатність по вертикалі, ніж монохромне зображення.

Але суб'єктивно, через більшу чутливість ока до складової яскравості, на середньостатистичних телевізійних картинках таке погіршення майже не помітне. Застосування цифрової обробки сигналу ще більше згладжує цей недолік.

Застосування частотної модуляції, почергової передачі колірної сигналу і колірної моделі YDbDr є відмінною особливістю SECAM від інших телевізійних аналогових стандартів (PAL та NTSC).

Аналогове телебачення - це оригінальна технологія телебачення, яка використовує аналогові сигнали для передавання відео та звуку. В аналоговому телевізійному мовленні яскравість, кольори та звук представлені за допомогою амплітуди, фази та частоти аналогового сигналу. Аналогові сигнали змінюються в безперервному діапазоні можливих значень, що означає, що можуть виникати електронний шум і перешкоди. Таким чином, з аналоговим сигналом помірно слабкий сигнал стає сніжним і схильний до перешкод.

Аналогове телебачення може бути бездротовим (наземне телебачення і супутникове телебачення) або може поширюватися кабельною мережею як кабельне телебачення.

Усі системи телемовлення використовували аналогові сигнали до появи цифрового телебачення. Оскільки стислі цифрові сигнали вимагають нижчої смуги пропускання, з 2000-х років у більшості країн світу відбувається перехід на цифрове телебачення з різними крайніми термінами припинення аналогового мовлення.

Найбільш ранніми системами аналогового телебачення були системи механічного телебачення, у яких для сканування зображення використовували диски, що оберталися, з малюнками отворів, пробитих у диску.

Аналогічний диск реконструював зображення в приймачі. Синхронізація обертання диска приймача здійснювалася за допомогою широкомовної передачі синхроімпульсів з інформацією про зображення. У системах камер використовували схожі обертові диски, і для роботи світлового датчика було потрібне дуже яскраве освітлення об'єкта.

Відтворювані зображення цих механічних систем були тьмяними, з дуже низькою роздільною здатністю і сильним шумом в аналоговому телевізійному приймачеві (рисунок 1.1).



Рисунок 1.1 - Шум в аналоговому телевізійному приймачеві

Аналогове телебачення насправді не починалося як галузь доти, доки не було розроблено електронно-променевої трубки (ЕПТ), в якій використовується сфокусований електронний промінь для простежування ліній на люмінофорній поверхні з покриттям. Електронний промінь може проходити по екрану набагато швидше, ніж будь-яка механічна дискова система, що дає змогу одержувати ближче розташовані лінії сканування і набагато вищу роздільну здатність зображення. Крім того, повністю електронна система вимагала набагато меншого обслуговування порівняно з системою з механічним обертанням дисків.

Радіомовні компанії аналогового телебачення кодують свій сигнал, використовуючи різні системи. Офіційні системи передачі називаються: А, В, С, D, E, F, G, H, I, K, K1, L, M і N. Ці системи визначають кількість рядків розгортки, частоту кадрів, ширину каналу, пропускну спроможність відео, поділ відео і звуку. Кольори в цих системах кодуються за допомогою однієї з трьох схем кольорового кодування: NTSC, PAL або SECAM, а потім використовується RF-модуляція для модуляції цього сигналу на несучій дуже високої частоти (VHF) або надвисокої частоти (UHF).

Кожен кадр телевізійного зображення складається з ліній, намальованих на екрані. Лінії різної яскравості; весь набір ліній промальовується досить швидко, щоб людське око сприймало його як одне зображення. Відображається наступний послідовний кадр, що дає змогу зображати рух. Аналоговий телевізійний сигнал містить інформацію про час і синхронізацію, тож приймач може реконструювати двовимірне рухоме зображення з одновимірного сигналу, що змінюється в часі.

Практична телевізійна система повинна приймати яскравість, кольоровість (у колірній системі), синхронізацію (горизонтальну і вертикальну) та транслювати їх по радіопередачі. Система передавання повинна включати засоби вибору телеканалу.

Аналогові телевізійні системи мовлення бувають із різними частотами кадрів і роздільною здатністю. Інші відмінності існують у частоті та модуляції. Монохромні комбінації, які існували у 1950-х роках, стандартизовані Міжнародним союзом електрозв'язку (ITU) у вигляді великих літер від А до N. Коли було запроваджено кольорове телебачення, інформацію про відтінки і насиченість було додано до монохромних сигналів, що ігнорують чорно-білі телевізори. Таким чином було досягнуто зворотної сумісності. Ця концепція вірна для всіх стандартів аналогового телебачення.

#### Відображення зображення

На екрані телевізора з електронно-променевою трубкою (ЕПТ) зображення відображається шляхом сканування променя з електронів по екрану у вигляді горизонтальної діаграми, лінії, відомі як растр. Наприкінці кожного рядка промінь повертається на початок наступного рядка; кінець останнього рядка - це посилення, що повертає у верхню частину екрана (рисунок 1.2). У міру проходження кожної точки інтенсивність променя змінюється, змінюючи яскравість цієї точки.

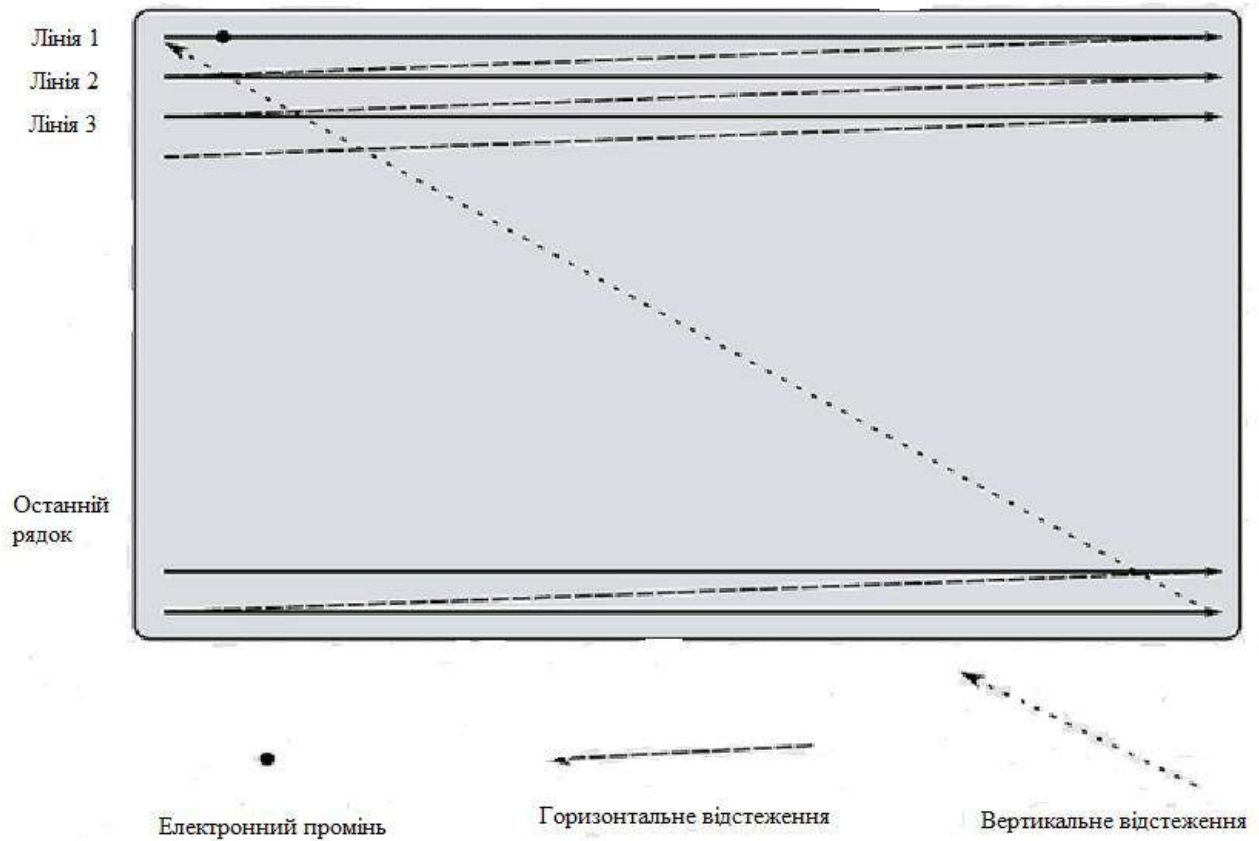


Рисунок 1.2 - Растрове сканування в дещо спрощеному вигляді

Система кольорового телебачення ідентична монохромному, за винятком того, що додатковий сигнал, відомий як кольоровість, керує кольором плями на екрані (рисунок 1.3).

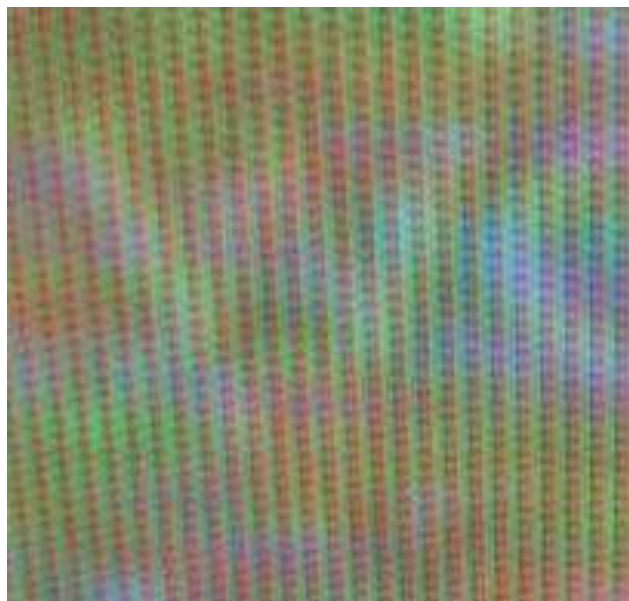


Рисунок 1.3 - Збільшене зображення аналогового кольорового екрана

Коли було розроблено аналогове телебачення, не існувало доступної технології для зберігання будь-яких відеосигналів; сигнал яскравості повинен генеруватися і передаватися в той самий час, коли він відображається на електронно-променевої трубку (ЕПТ). Тому важливо підтримувати растрове сканування в камері (або іншому пристрої для генерації сигналу) в точній синхронізації зі скануванням у телевізорі. Фізика електронно-променевої трубки (ЕПТ) вимагає, щоб точка змістилася назад до початку наступного рядка (горизонтальний відкат) або до початку екрана (вертикальний відкат) протягом кінцевого часового інтервалу. Це має дозволити синхронізація сигналу яскравості.

Людське око має характеристику, звану феноменом Фі. Швидке відображення послідовних сканованих зображень дасть змогу створити очевидну ілюзію плавного руху. Мерехтіння зображення можна частково позбутися, використовуючи покриття електронно-променевої трубки (ЕПТ) люмінофором із тривалим післясвіченням, так що послідовні зображення повільно зникають. Однак повільний люмінофор має негативний побічний ефект, що спричиняє розмиття та розмитість зображення, коли на екрані відбувається велика кількість швидких рухів.

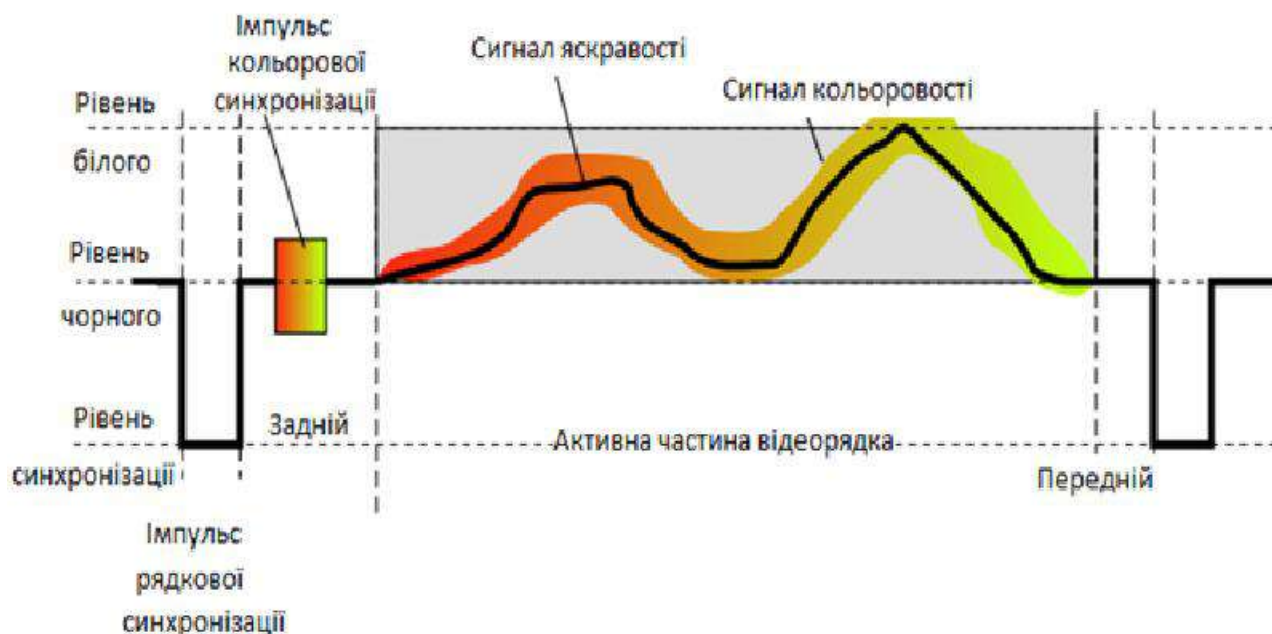
Максимальна частота кадрів залежить від смуги пропускання електроніки та системи передачі, а також кількості горизонтальних рядків розгортки в зображенні. Частота кадрів 25 або 30 герц є задовільним компромісом, тоді як процес чергування двох відеополів зображення на кадр використовується для побудови образу. Цей процес подвоює видиму кількість відеокадрів на секунду і додатково знижує мерехтіння та інші дефекти передачі.

#### Структура відеосигналу

Відеосигнал - основна складова телевізійного сигналу. Являє собою складний широкосмуговий електричний сигнал, що містить закодовану інформацію про телевізійне або факсимільне зображення. Крім того відеосигнал використовується в радіолокації.

Несуча відеосигналу демодулюється для отримання композитного відеосигналу; він містить сигнали яскравості, кольоровості та синхронізації; він

ідентичний формату відеосигналу, який використовують аналогові відеопристрої, як відеомагнітофони або камери відеоспостереження (рисунок 1.4).

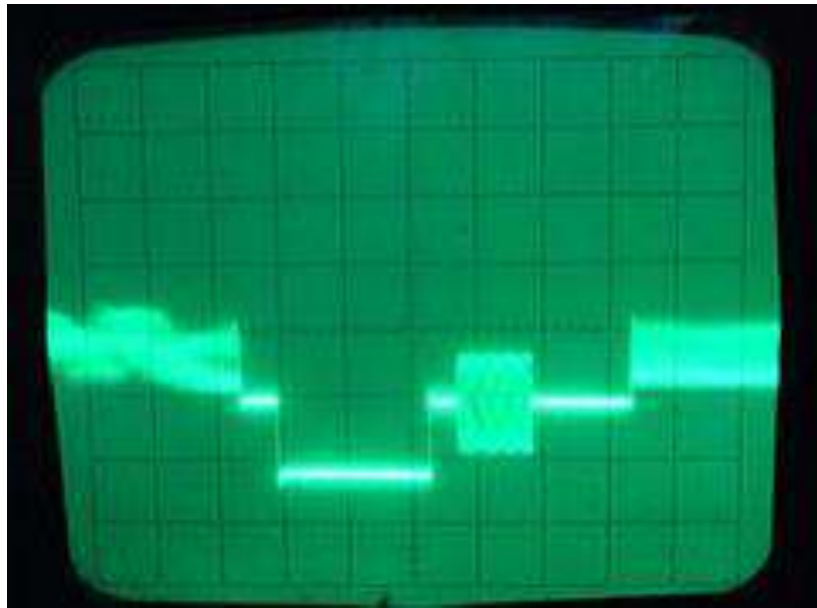


Верхній рівень - "білий"; середній рівень - "чорний"; нижній рівень - "чорніше чорного"; жирна лінія – відеосигнал; кольорова область - сигнал кольоровості

Рисунок 1.4 - Осцилограма одного телевізійного рядка відеосигналу.

Модуляція радіочастотного сигналу інвертована порівняно зі звичайним АМ: мінімальний рівень відеосигналу відповідає максимальній амплітуді несучої та навпаки. Для забезпечення хорошої лінійності (точності), що відповідає доступним витратам на виробництво передавачів і приймачів, носій відео ніколи не відключається повністю.

Кожен рядок відображуваного зображення передається з використанням сигналу, як показано вище. Однаковий базовий формат (з невеликими відмінностями, здебільшого пов'язаними із синхронізацією і кодуванням кольору) використовується для телевізійних систем PAL, NTSC і SECAM. Монохромний сигнал ідентичний кольоровому, за винятком того, що елементи, показані на діаграмі в кольорі відсутні (рисунок 1.5).



Частина відеосигналу PAL. Зліва направо: кінець рядка розгортки відео, передній сигнал запирання, горизонтальний синхронізуючий імпульс, задній сигнал запирання зі спалахом і початок наступного рядка.

Рисунок 1.5 - Колірний спалах і сигнал кольоровості

Передня частина - це короткий (близько 1,5 мікросекунди) період, вставлений між кінцем кожного переданого рядка зображення і переднім фронтом наступного рядка синхроімпульсу. Його мета полягала в тому, щоб дозволити рівням напруги стабілізуватися в старих телевізорах, запобігаючи перешкодам між рядками зображення.

Передній сигнал запирання - це перший компонент інтервалу гасіння по горизонталі, який також містить імпульс рядкової синхронізації та задній сигнал запирання.

Задній сигнал запирання - це частина кожного рядка розгортки між кінцем (наростаючий фронт) рядкового синхроімпульсу та початком активного відео. Він використовується для відновлення еталонного рівня чорного (300 мВ) в аналоговому відео. З погляду опрацювання сигналів, він компенсує час спаду і час встановлення після синхроімпульсу.

У системах кольорового телебачення, таких як PAL і NTSC, цей період також включає сигнал колірної синхронізації. У системі SECAM він містить

опорну піднесучу для кожного послідовного кольорорізностного сигналу, щоб встановити опорний сигнал нульового кольору.

У деяких професійних системах, зокрема супутникових каналах між місцями розташування, звук впроваджується в задню частину відеосигналу, щоб заощадити на оренді другого каналу.

## 1.2 Недоліки та вразливості аналогового відео

Аналогові системи передачі відеосигналів мають деякі недоліки та вразливості порівняно з цифровими системами:

**Низька якість зображення:** Аналогове телебачення має обмежену роздільну здатність, що призводить до менш чіткого зображення порівняно з цифровими форматами.

**Обмежений вибір каналів:** Аналогове телебачення має обмежений потенціал для передачі багатьох каналів через обмежену ширину смуги.

**Вразливість до перешкод:** Аналогове телебачення схильне до зображення засміченої або зі спотвореннями через перешкоди, такі як зовнішні сигнали або погодні умови.

**Витрати енергії та місця:** Системи аналогового телебачення потребують більшого обсягу смуги і, відповідно, більше її кількості енергії для передачі даних.

**Обмежена функціональність:** Аналогове телебачення не має таких можливостей, як цифрове, наприклад, інтерактивність, можливості відтворення контенту у високій роздільній здатності (HD, 4K), а також відсутність можливості супроводжувати додаткові дані разом з відеосигналом.

**Система відстеження і регулювання:** У аналогових системах складніше відстежувати та контролювати перегляд, оскільки вони не мають таких потужних засобів цифрового управління і захисту від несанкціонованого доступу.

Тому багато країн вже перейшли або планують перехід з аналогового телебачення на цифрове (наприклад, стандарт DVB-T, ATSC, ISDB), що дозволяє

отримати кращу якість зображення, більшу кількість доступних каналів та покращену функціональність

Аналогові сигнали можуть піддаватися шумам та спотворенням під час передачі чи зберігання, що може призвести до втрати якості відео. В даний час у багатьох країнах здійснюється процес оцифровки аналогового сигналу, а стало бути, ефірного телебачення.

Для більшості людей відмінність між аналоговим і цифровим сигналом може бути абсолютно неясною. І все ж їх різниця значна і полягає не просто в якості подачі телеефіру.

Аналоговим сигналом є отримані дані, які ми бачимо, чуємо і сприймаємо, як світ, який нас оточує. Цей метод генерування, обробки, передачі і запису сигналів – традиційний і поки дуже поширений. Дані перетворюються в електромагнітні коливання, які відображають частоту і інтенсивність явищ за принципом повної відповідності.

Цифровий сигнал являє собою сукупність координат, які описують електромагнітну хвилю, яка не доступна для сприйняття безпосередньо, без декодування є послідовністю електромагнітних імпульсів.

Можна виділити наступні переваги та недоліки між аналоговим сигналом:

**Простота:** Аналогові системи можуть бути досить простими у використанні та розумінні, особливо в контексті стандартних аналогових систем спостереження чи передачі сигналу.

**Низька затрата обладнання:** Деякі аналогові системи можуть бути менш коштовними у встановленні та підтримці порівняно з цифровими аналогами.

**Менша затрата енергії:** У деяких випадках аналогові системи можуть вимагати менше енергії для роботи, що робить їх привабливими для деяких застосувань.

**Компатибельність:** Деякі старі аналогові пристрої можуть бути сумісними між собою, що дозволяє їх використання без значних змін або модернізацій.

Однак, варто зауважити, що з розвитком технологій, більшість застосувань переходять до цифрових систем через їх більшу точність, стійкість до шумів та

більші можливості обробки і передачі даних. Аналогові системи можуть бути обмеженими у своїх можливостях, особливо у передачі великої кількості даних, зберіганні та стійкості до впливу зовнішніх факторів.

Недоліки аналогових сигналів :

- сигнали чутливі до дії всіляких паразитних сигналів (шумів, наведень, перешкод);
- під час обробки сигналів (під час посилення, фільтрації), через недосконалість і не ідеальність електронних пристроїв, спотворюється форма сигналу;
- під час передавання на великі відстані та під час зберігання сигнал послаблюється;
- шуми, перешкоди і наведення принципово не піддаються точному розрахунку, тому точно описати поведінку будь-яких аналогових пристроїв неможливо;
- під час виготовлення аналогових пристроїв завжди присутня технологічна операція - налаштування пристрою;
- з часом через старіння змінюються параметри електронних компонентів, що входять до складу аналогових пристроїв і, відповідно, змінюються характеристики самих аналогових пристроїв.

### **1.3 Постановка задач**

Розглянувши актуальність питання шифрування аналогових відеосигналів для забезпечення захисту інформації, що передається до споживача, було поставлено задачу створення системи шифрування аналогових відеосигналів з використанням генераторів хаотичних сигналів.

Система шифрування повинна володіти наступними характеристиками:

- простота виконання;
- використання комерційно доступних електронних радіокомпонентів;

- сумісність з найбільш розповсюдженими передавачами аналогових відеосигналів;

- сумісність з найбільш розповсюдженими приймачами аналогових відеосигналів;

- високий рівень захисту від несанкціонованого доступу до інформації;

- спроможністю до модернізації та уніфікації.

Етапами розробки системи шифрування аналогових відеосигналів з використанням генераторів хаотичних сигналів є:

- огляд існуючих методів кодування аналогових відеосигналів;

- оцінка ефективності забезпечення шифрування сигналів;

- вибір функціональних електронних радіокомпонентів, що використовуються в галузі обробки відеосигналів;

- розробка конструктивних рішень для реалізації системи шифрування;

- проведення лабораторних досліджень для оцінки якості шифрування та відтворення аналогових відеосигналів.

## 2 ДОСЛІДЖЕННЯ ТИПІВ ШИФРУВАННЯ АНАЛОВОГО СИГНАЛУ

### 2.1 Огляд можливих методів шифрування аналогового сигналу

Історично методи шифрування інформації розвивалися крок в крок із розвитком техніки передачі, зберігання та обробки інформації.

По-перше, поява та широке впровадження перших систем телефонного зв'язку, носієм інформації у яких був спочатку лише аналоговий сигнал (оскільки природа мовного сигналу аналогова), обумовило потребу в розробці методів автоматизованого шифрування цього виду сигналів.

На сьогоднішній день найпоширенішим шифруванням аналогового сигналу стало зворотне перетворення характеристик аналогового сигналу з використанням ключа, що визначає його характеристики, яке отримало назву скремблювання.

Виходячи з того, що методи скремблювання поки ще використовуються в системах захищеної передачі інформації і, без сумніву, представляють історичний інтерес в криптографії, розглянемо основні принципи їх побудови та питання їх криптографічної стійкості.

Перш ніж перейти до розгляду методів скремблювання, необхідно зупинитися на деяких основних характеристиках аналогових сигналів.

На рисунку 2.1 ми бачимо безперервний у часі електричний сигнал, що змінюється по амплітуді та частоті. Зміна амплітуди, як правило, оцінюється напругою електричного сигналу.

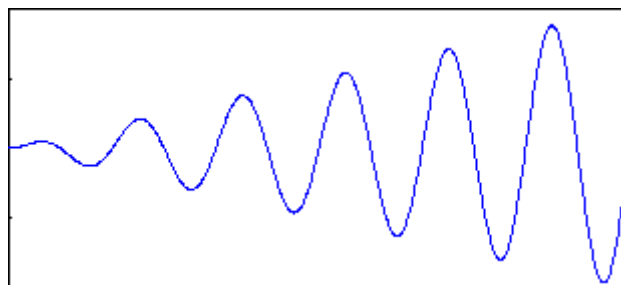


Рисунок 2.1 - Типовий приклад аналогового сигналу

Аналогові або безперервні сигнали характеризуються своїм спектром.

Спектр сигналу – це еквівалентний йому набір синусоїдальних складових. Спектр сигналу розраховується за допомогою розкладання функції, яка виражає залежність форми сигналу від часу, в ряд Фур'є.

Ряд Фур'є – це спосіб представлення довільної складної функції сумою простіших.

Скремблери перетворюють аналоговий сигнал за допомогою зворотної зміни його амплітудних, частотних і часових параметрів у різних комбінаціях, і це є основні складові всіх відомих методів аналогового шифрування.

У сучасній криптографії розглядають три основних підходи до реалізації методів скремблювання, а саме:

1. Скремблювання в частотній області аналогового сигналу:

- частотна інверсія (або інверсія спектру сигналу);
- розподіл смуги частот сигналу на ряд сегментів (піддіпазонів спектру сигналу) та наступним перемішуванням їх (перестановками аналогового сигналу у частотній області), а можливо ще й з додатковою інверсією окремих або всіх із визначених сегментів.

2. Скремблювання в часовій області аналогового сигналу представляє собою процес розбиття сигналу в часі на сегменти (кадри) та перемішування їх (перестановки аналогового сигналу у часі).

3. Скремблювання з використанням генераторів хаотичних сигналів.

При шифруванні усі перестановки сегментів аналогового сигналу в часовій і в частотній областях здійснюються згідно із законом псевдовипадкової послідовності, що виробляється шифратором по ключу для кожного повідомлення окремо. Інакше, це вже будуть не методи шифрування, а методи кодування інформації.

У випадку ж застосування шифрування з використанням генераторів хаотичних сигналів керуються властивостями синхронізації зазначених генераторів.

## **2.2 Математичні та алгоритмічні засади шифрування аналогового сигналу**

В сучасній галузі шифрування відеозв'язку можливе перетворення аналогового сигналу за трьома основними параметрами: за амплітудою, за частотою і за часом. Вважається, що використовувати амплітуду недоцільно, тому що, змінюються в часі загасання каналу та відношення сигнал/шум, що роблять надзвичайно складним точне відновлення амплітуди переданого сигналу на приймальній стороні. Практичне застосування одержало тільки частотне та часове скремблювання, а також їх комбінації. Як вторинні способи скремблювання в цих системах можуть використовуватися обмежені види амплітудного скремблювання.

### **2.2.1 Частотні перетворення аналогового сигналу**

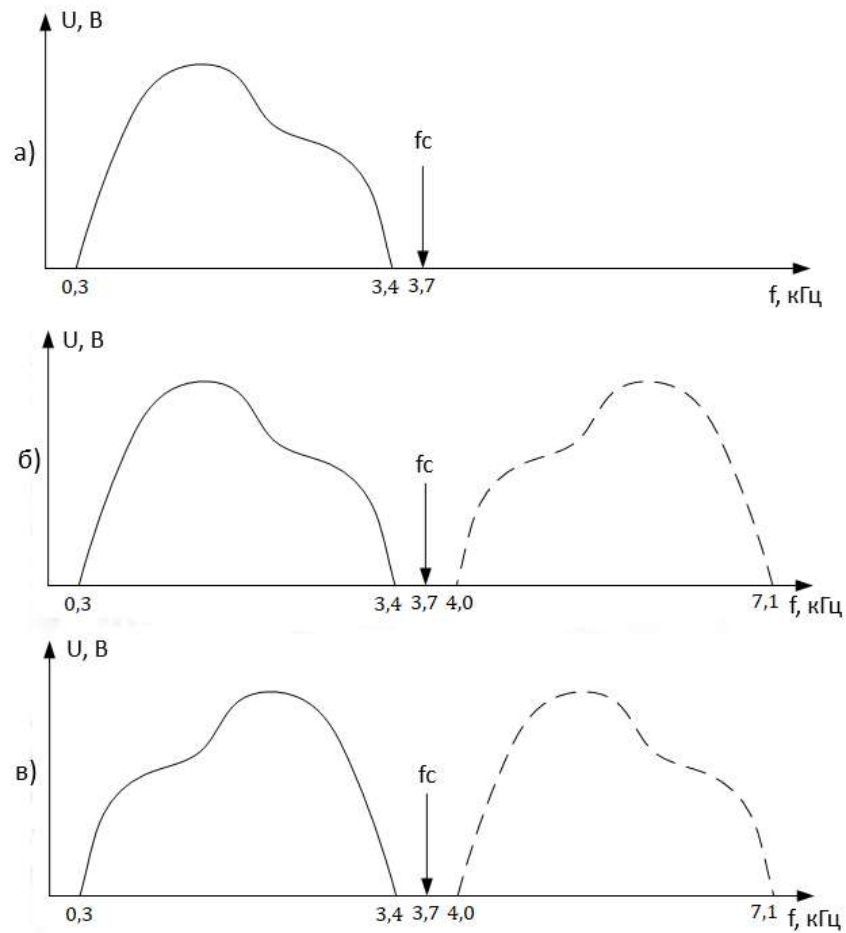
При частотній інверсії перетворення спектру мовного сигналу еквівалентно повороту частотної смуги сигналу навколо деякої середньої частоти. Інвертор - балансний змішувач з частотою на передавальному і приймальному тракці - частота

Спектр сигналу на виході відеокамери інверсується частотою 3700 Гц в інверсний спектр, де маємо нижню і верхню бокову інвертовані зі спектральними складовими. На приймальній частині інвертор спектру на тій же частоті здійснює повторну інверсію і інтерпретує вихідний сигнал з прямим спектром в діапазоні 300-3400 Гц.

Якість відновленого сигналу залежить від:

- типу змішувачів,
- фільтрів, які обмежують смугу частот (нижню бокову)
- корекції на приймальній стороні

Принцип даного перетворення сигналу показаний на рисунку 2.2. При цьому досягається ефект перетворення низьких частот у високі частоти, і навпаки.

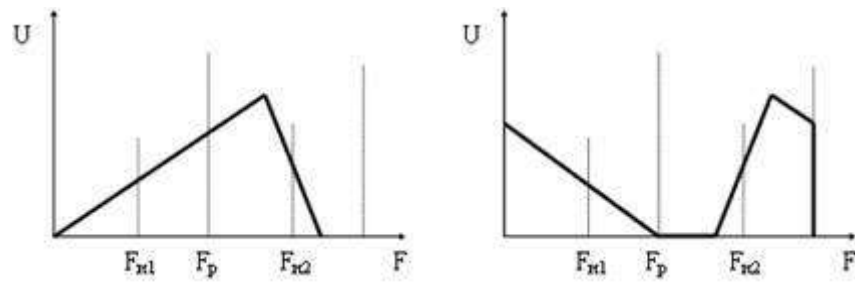


а) аналоговий сигнал; б), в) інверсний сигнал на виході камери

Рисунок 2.2 - Принцип роботи частотного інвертора аналогового сигналу

Даний спосіб забезпечує невисокий рівень закриття, тому що при перехопленні легко встановлюється величина частоти, що відповідає середній точці інверсії в смузі спектру аналогового сигналу.

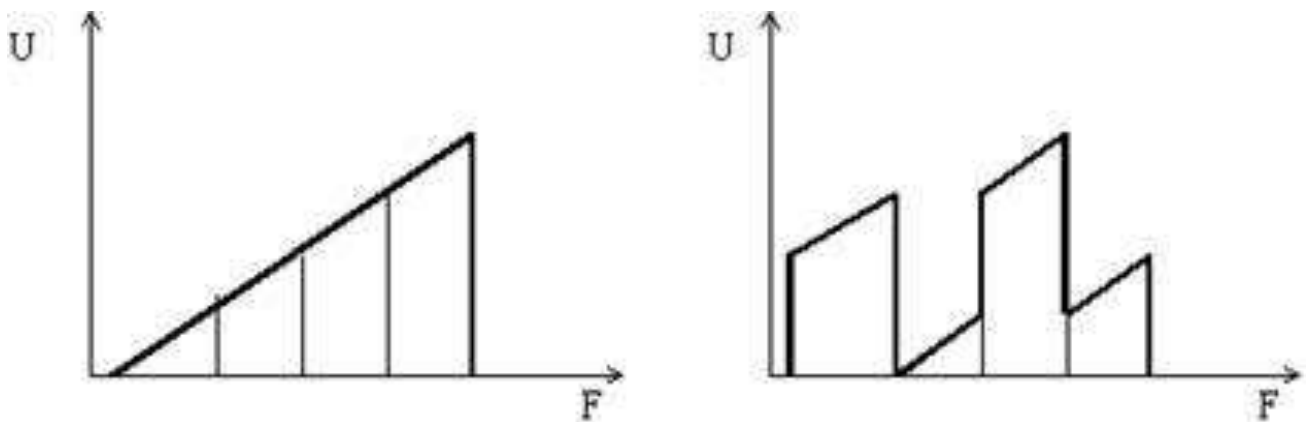
Більш складний у порівнянні з частотної інверсією спосіб перетворення сигналу забезпечує скремблер з розбиттям смуги мовного сигналу на піддіапазони з частотної інверсією сигналу в кожному піддіапазоні (смугозсувний інвертор). Зазвичай використовується розбиття смуги на 2 піддіапазони. Принцип такого частотного перетворення для 2-х піддіапазонів зображений на рисунку 2.3.



а) - вихідний спектр сигналу, б) - спектр сигналу після перетворення,  $F_p$  - частота розбиття спектра сигналу;  $F_{i1}$ ,  $F_{i2}$  - частоти інверсії 1-го і 2-го піддіапазонів.

Рисунок 2.3 - Принцип роботи смугово-зсувного інвертора аналогового сигналу при розбитті спектра сигналу на 2 піддіапазони

Аналоговий спектр можна також розділити на кілька частотних смуг рівної ширини і провести їх перемішування і інверсію по деякому правилу (ключ системи). Так функціонує смуговий скремблер (рисунок 2.4).



а) - вихідний спектр сигналу, б) - спектр сигналу після перетворення

Рисунок 2.4 - Принцип роботи чотирьох смугового скремблера

Зміна ключа системи дозволяє підвищити ступінь закриття, але вимагає введення синхронізації на прийомній стороні системи. Основна частина енергії аналогового сигналу зосереджена в невеликій області низькочастотного спектру, тому вибір варіантів перемішування обмежений і такі системи характеризуються високою залишковою розбірливістю інформації.

Істотне підвищення ступеня закриття сигналу може бути досягнуте шляхом реалізації в смуговому скремблері швидкого перетворення Фур'є (ШПФ) (рисунок 2.5).



Рисунок 2.5 - Схема частотних перестановок телефонного сигналу на основі ШПФ

При цьому кількість припустимих перемішувань частотних смуг значно збільшується, що забезпечує високий ступінь закриття без погіршення якості сигналу. Можна додатково підвищити ступінь закриття шляхом здійснення затримок різних частотних компонентів сигналу на різну величину.

Головним недоліком використання ШПФ є виникнення в системі великої затримки сигналу (до 300 мс), обумовленою необхідністю використання вагових функцій. Це призводить до ускладнень у роботі дуплексних систем зв'язку.

### 2.2.2 Часові перетворення аналогового сигналу

Найпростішим видом часового перетворення є часова інверсія, при якій вихідний сигнал ділиться на послідовність часових сегментів і кожен з них передається інверсно в часі - з кінця до початку. Такі скремблери забезпечують

обмежений рівень закриття, що залежить від тривалості сегментів. Для досягнення нерозбірливості повільної мови необхідно, щоб довжина сегменту становила близько 250 мс. Це означає, що затримка системи буде дорівнювати приблизно 500 мс, що може виявитися неприйнятним для деяких застосувань. Принцип роботи та структурна схема часового інвертора зображені на рисунку 2.6.

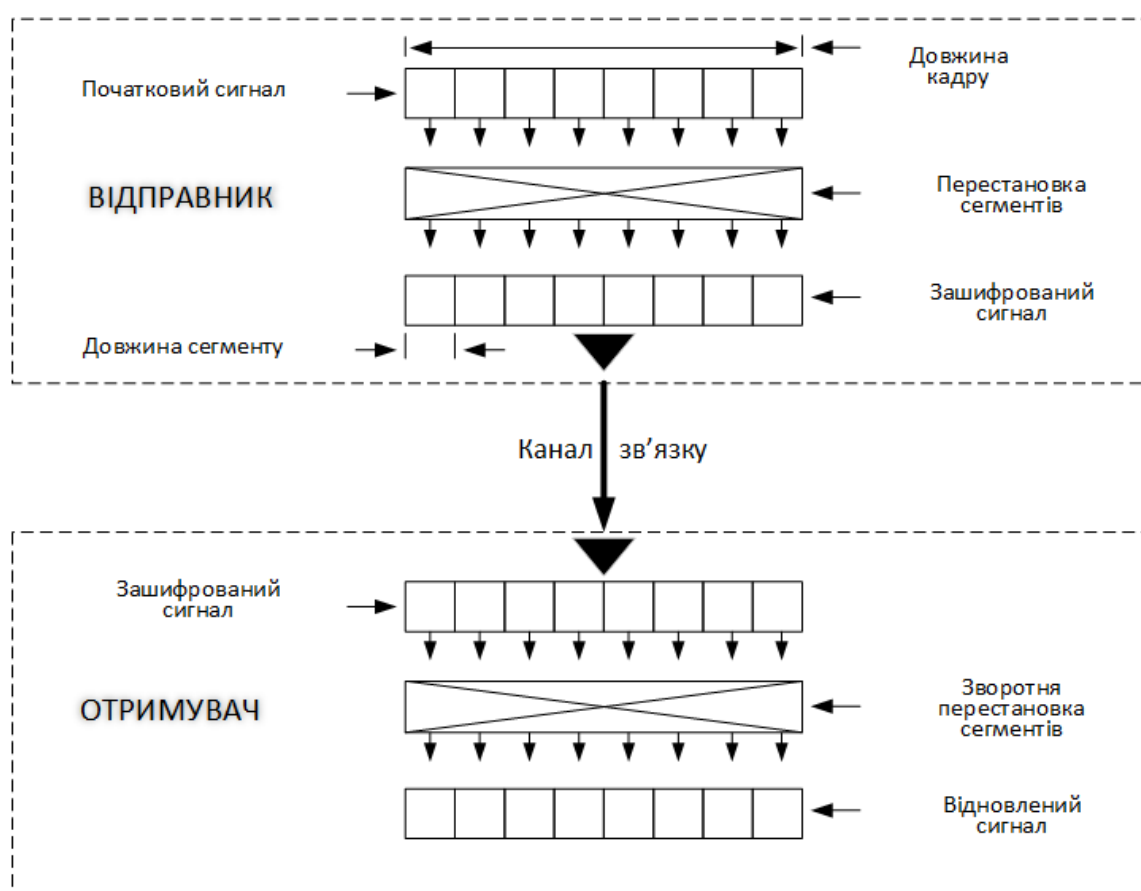
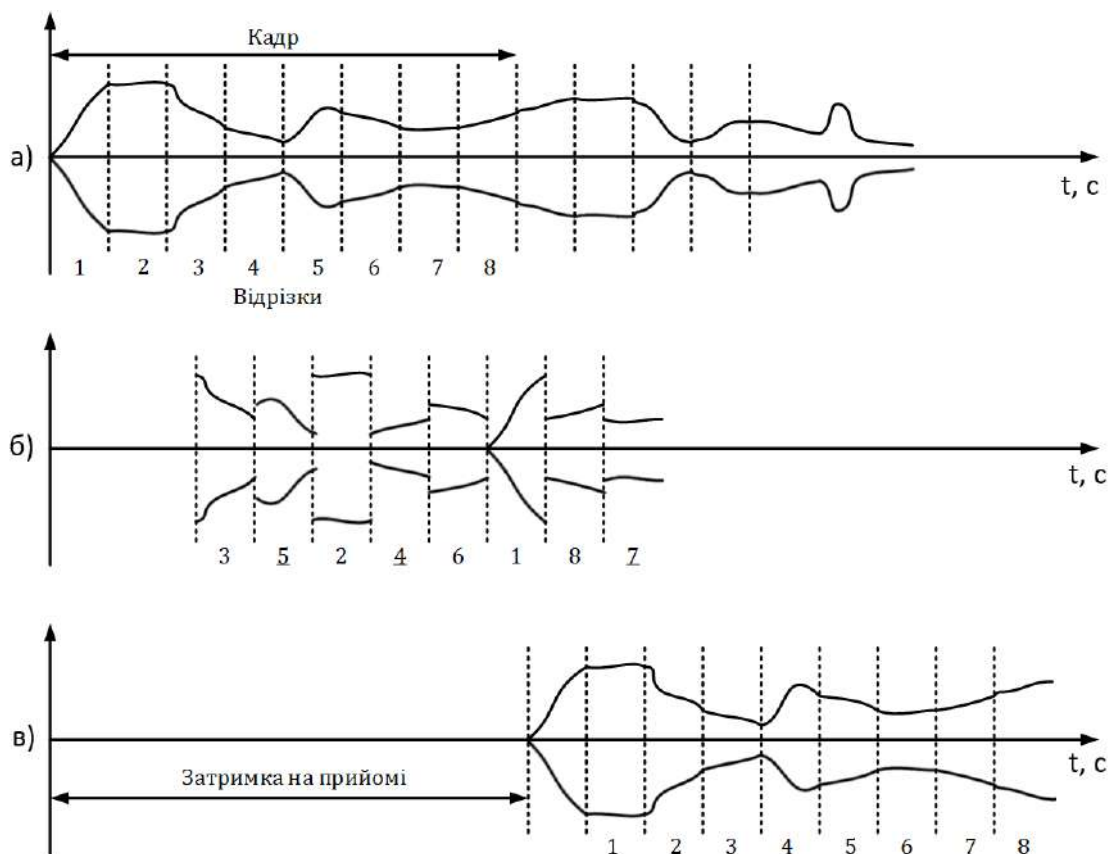


Рисунок 2.6 – Принцип дії та структурна схема скремблювання в часовій області

У скремблер з часовими перестановками аналоговий сигнал ділиться на часові кадри, кожен з яких у свою чергу підрозділяється на сегменти, а потім сегменти аналогового сигналу піддаються перестановці. Принцип роботи такого скремблера з фіксованим вікном і числом часових сегментів у кадрі зображено на рисунку 2.7.



а) аналоговий сигнал; б) зашифрований аналоговий сигнал; в) відновлений аналоговий сигнал

Рисунок 2.7 - Принцип роботи скремблера з часовими перестановками

Головним недоліком скремблера з фіксованим кадром є збільшена величина часу затримки системи, що дорівнює подвоєній тривалості кадру. Цей недолік усувається в скремблерах з перестановкою часових відрізків мовного сигналу з "накрізним вікном". У ньому число комбінацій можливих перестановок обмежено таким чином, що затримка будь-якого відрізка не перевершує встановленого максимального значення. Кожний відрізок вихідного мовного сигналу як би має тимчасове вікно, у середині якого він може займати довільне місце під час скремблювання. Це вікно рухається в часі в міру надходження в нього кожного нового відрізка сигналу. Затримка при цьому знижується до тривалості вікна.

### **2.3 Математичні та алгоритмічні моделі шифрування аналогового сигналу з використанням генератора хаотичних сигналів**

Розглянемо модель шифрування за допомогою внутрішньосмугового хаотичного скремблера для захисту бездротового аналогового відео. У цій системі аналоговий відеосигнал подається на хаотичний генератор, а вихідний сигнал передається через стандартний бездротовий відеоканал. На приймачі дескремблер відокремлює відео від хаотичного сигналу в режимі реального часу. Експериментальні результати показують, що зашифрований сигнал ефективно приховує оригінальне відеозображення, проте дескремблер відновлює оригінальне кольорове відео з достатньою чіткістю і деталізацією. У порівнянні з цифровим шифруванням, хаотичне скремблювання пропонує ефективну, недорогу альтернативу для маскування критично важливого за часом аналогового зв'язку.

Поєднання цифрового відео та сучасних технологій шифрування практично гарантує, що наступне покоління бездротових відеозв'язків буде безпечним. Однак, незахищені аналогові бездротові відеосистеми все ще широко використовуються в багатьох існуючих системах. Для багатьох із цих застарілих систем перехід на захищений цифровий канал зв'язку може бути недоцільним через надмірну вартість і високі вимоги до енергоспоживання. Фактично, сигнали в цих системах продовжуватимуть передаватися у відкритому вигляді, де їх легко виявити і перехопити.

Щоб унеможливити випадкове прослуховування допустиме застосування малопотужного аналогового відеоскремблера на основі синхронізованого хаосу. Ця внутрішньосмугова скремблерна система сумісна з існуючими бездротовими каналами передачі відео, при цьому вона відповідає мінімальним вимогам до вартості та енергоспоживання. Хоча ця технологія не може забезпечити таку ж безпеку, як цифрове шифрування, хаотичне скремблювання забезпечує ефективну модернізацію для критично важливого зв'язку в застарілих системах, де низька вартість і низьке енергоспоживання є критично важливими.

Як показано на рисунку 2.8, хаотичний скремблер розташований між джерелом відеосигналу і радіопередавачем в аналоговому бездротовому відеозв'язку.

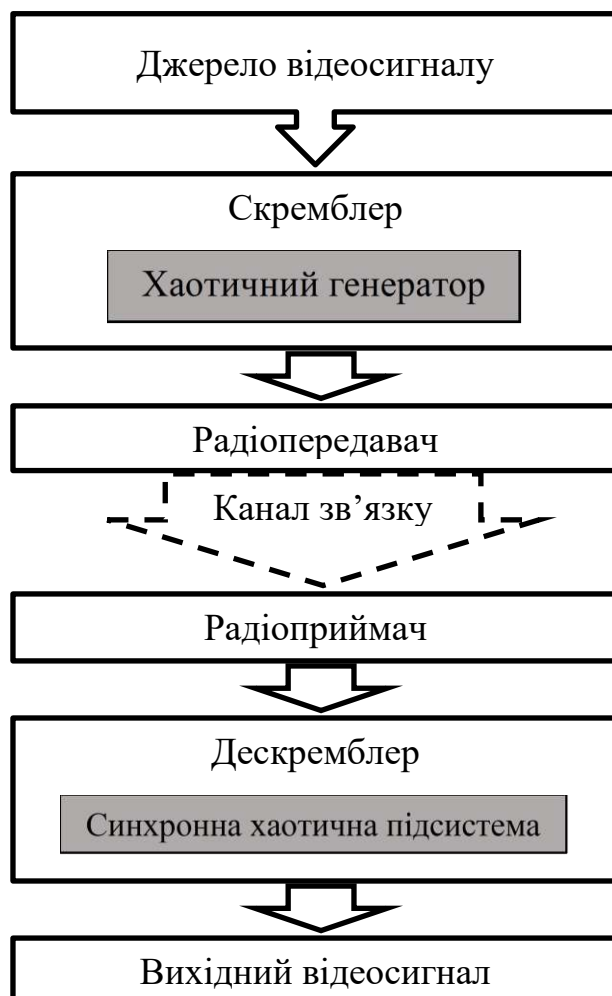


Рисунок 2.8 - Блок-схема хаотичної аналогової системи скремблювання.

Відеосигнал базової смуги пропускається через хаотичний генератор, який перекриває спектральну смугу відеосигналу.

В результаті сигнал нелінійно змішується з випадковими, непередбачуваними хаотичними коливаннями, в результаті чого на виході отримуємо зашумлений скрембльований сигнал. Оскільки скрембльований сигнал міститься в межах смуги пропускання відеосигналу, його можна передавати стандартним аналоговим відеорадіоканалом. Дескремблер розташований відразу після радіоприймача і містить другий хаотичний генератор. Якщо дескремблер

узгоджений зі скремблером, генератори синхронізуються і процес модуляції може бути інвертований, відновлюючи вихідний відеосигнал. Без синхронізації хаотичний сигнал не може бути легко розшифрований, а оригінальна форма відеосигналу залишається прихованою. Хаотичне скремблювання використовує властивості синхронізації зв'язаних нелінійних генераторів.

Відеосигнал керує першим генератором, який знаходиться в передавачі. Типовий хаотичний генератор може бути змодельований нелінійною системою третього порядку за формулою:

$$\frac{dx}{dt} = f(x, y, z) + s(t)$$

$$\frac{dy}{dt} = g(x, y, z)$$

$$\frac{dz}{dt} = h(x, y, z)$$

де  $x$ ,  $y$  і  $z$  - динамічні стани скремблера;

$s(t)$  - вхідний відеосигнал;

$f$ ,  $g$  і  $h$  - функції, що визначають хаотичний потік.

Результуюче коливання є складною, нелінійною комбінацією непередбачуваного хаосу та вхідного відеосигналу. Стан  $x(t)$  - це зашифрований сигнал, який передається замість відеосигналу  $s(t)$ . Для підслуховувача переданий сигнал не схожий на оригінальний вхідний відеосигнал.

Другий генератор розташований на приймачі і формує дескремблер. Він спеціально підібраний так, щоб відповідати першому генератору, і моделюється за формулою:

$$\frac{dY}{dt} = g(x, Y, Z)$$

$$\frac{dZ}{dt} = h(x, Y, Z)$$

$$S(t) = \frac{dx}{dt} - f(x, Y, Z)$$

де  $Y$  і  $Z$  - стани відгуку;

$f$ ,  $g$  і  $h$  - ті самі функції, що й у скремблерному генераторі.

Дескремблер утворює інверсну систему для відновлення модульованого сигналу.

Перші два з цих рівнянь представляють синхронну підсистему, яка відтворює стани скремблера як  $Y(t) \rightarrow y(t)$  і  $Z(t) \rightarrow z(t)$ . Останнє рівняння "інвертує" процес скремблювання, відновлюючи відеосигнал у вигляді  $S(t) \rightarrow s(t)$ .

Якщо дескремблер не відповідає скремблеру, схеми не синхронізуються і відео залишається прихованим. Таким чином, синхронізація покладається на дескремблер, який використовує точно такі ж нелінійні функції  $f$ ,  $g$  і  $h$ , як і скремблер, а параметри цих функцій складають ключ безпеки. Без відповідного дескремблера злоумисник, швидше за все, буде змушений вдатися до складної і дорогої цифрової обробки сигналу, щоб витягти корисну відеоінформацію.

Вперше теоретично зв'язок за допомогою хаотичного шифрування було запропоновано на початку 1990-х років.

Однак практична реалізація таких систем для аналогового відео була ускладнена відсутністю відповідних схем високочастотних хаотичних генераторів.

В основі скремблера лежить хаотична радіочастотна схема, яка підходить для скремблювання відеосигналів і більш швидких сигналів.

Варіант цього генератора використовується в системі скремблера відеосигналів.

Схему конструкції генератора показано на рисунку 2.9.

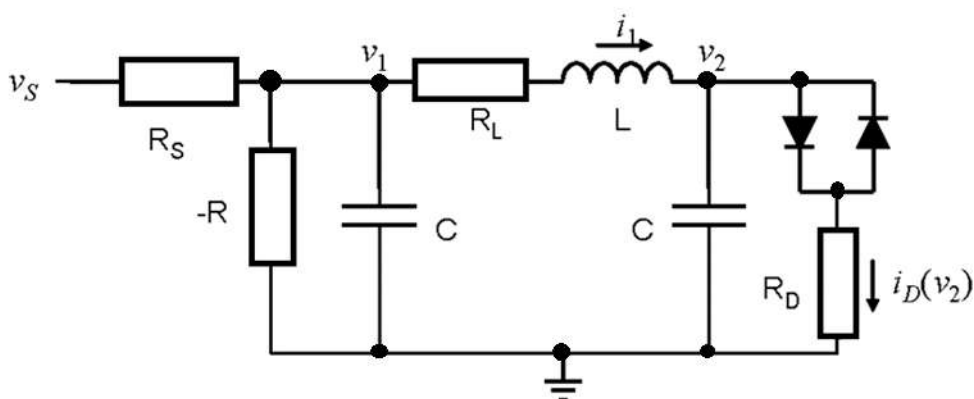


Рисунок 2.9 - Схема хаотичного скремблера з вхідним відеосигналом  $v_S$  та скремблерним виходом  $v_1$ .

Ця схема складається з низки стандартних лінійних компонентів, а також двох діодів, які забезпечують нелінійність, необхідну для хаосу.

Для цієї моделі типовими значеннями, які дають хаотичну динаміку, є конденсатори  $C = 1$  нФ, котушка індуктивності  $L = 22$  пГн, опори  $R_1 = 25$  Ом,  $R_S = 510$  Ом і  $R = 150$  Ом. Ці елементи використовуються як номінальні значення при проектуванні скремблерної системи. Для моделі діода використовуються значення  $V_D = 0,3$  В і  $R_D = 40$  Ом.

Єдиним активним компонентом є від'ємний резистор. Схема моделюється за формулою:

$$C \frac{dv}{dt} = \frac{v_1}{R} - i_1 + \frac{v_S - v_1}{R_S}$$

$$L \frac{di_1}{dt} = v_1 - v_2 - i_1 R_L$$

$$C \frac{dv_2}{dt} = i_1 - i_D(v_2)$$

де  $v_1$  і  $v_2$  – напруги;

$i_1$  - струм.

Струм діода  $i_D$  є нелінійною функцією напруги  $v_2$ , яку можна моделювати за допомогою дискретно-лінійної апроксимації, яка виражається формулою:

$$i_D(v) = \begin{cases} \frac{v + V_D}{R_D} & v < -V_D \\ 0 & |v| \leq V_D \\ \frac{v - V_D}{R_D} & v > V_D \end{cases}$$

де  $V_D$  - напруга перемикачів для окремого діода.

Важливим компонентом у схемі є від'ємний резистор. Цей активний пристрій забезпечує підсилення для підтримки хаотичних коливань. Від'ємний

резистор реалізується за допомогою схеми підсилювача зі зворотним зв'язком, як показано на рисунку 2.10.

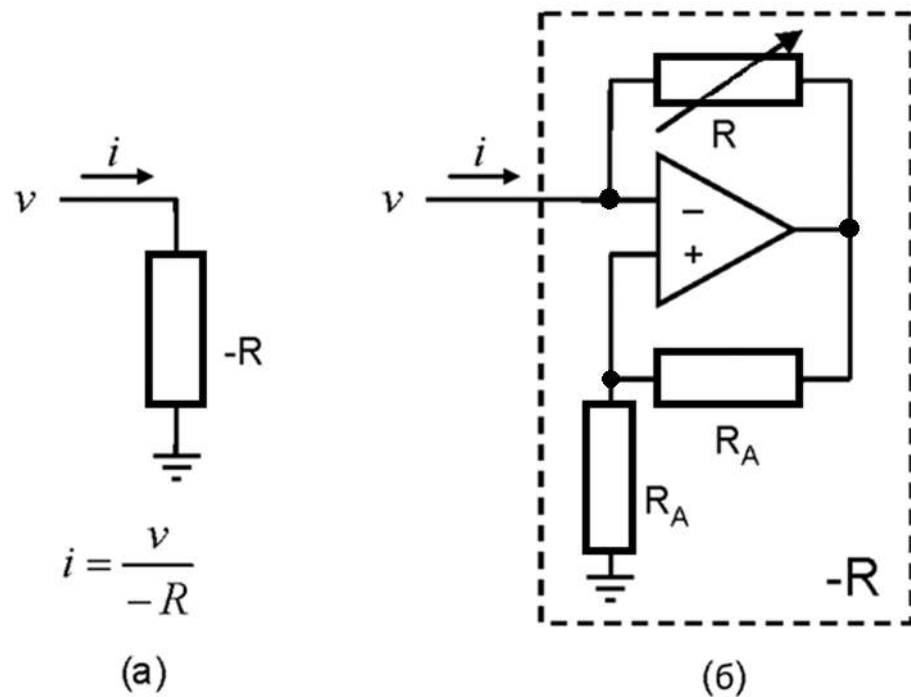


Рисунок 2.10 - Схеми, що показують залежність струм-напруга (а) і практичну реалізацію схеми для пристрою з від'ємним резистором (б).

У цій реалізації величина від'ємного опору задається безпосередньо змінним резистором  $R$ .

Типова форма сигналу отриманого за допомогою чисельного моделювання при  $v_S = 0$ , показано на рисунку 2.11.

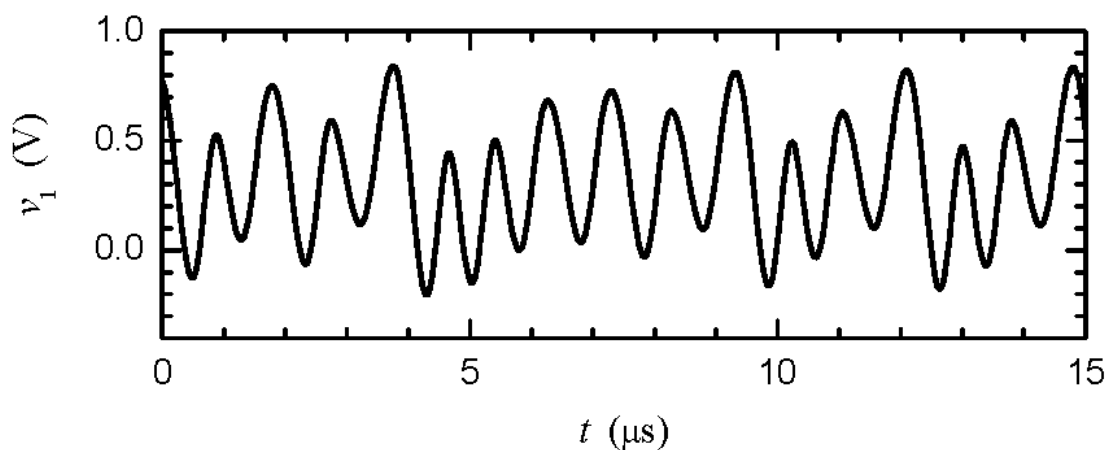


Рисунок 2.11 - Типовий хаотичний сигнал  $v_1(t)$ , отриманий за допомогою чисельного моделювання моделі осцилятора з  $v_S = 0$ .

Форма сигналу демонструє синусоїдальні коливання з коливаннями амплітуди від циклу до циклу. Середній час повернення від піку до піку становить 0,92 мс, що відповідає середній частоті 1,1 МГц. Проекція фазового простору  $v_1$ - $v_2$  показана на рисунку 2.12.

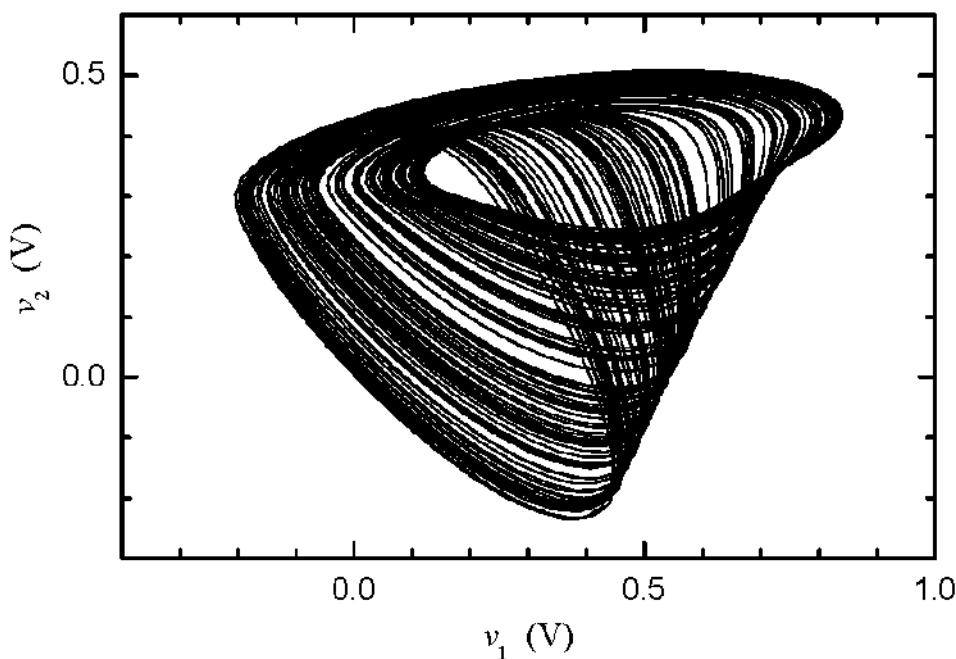


Рисунок 2.12 - Хаотичний атрактор, спроектований на площину  $v_1$ - $v_2$ , отриманий з чисельного моделювання моделі генератора з  $v_S = 0$ .

Для номінальних значень параметрів генератор має два атрактори пов'язані симетрією  $(v_1, i_1, v_2) \rightarrow (-v_1, -i_1, -v_2)$ . Фізично кожен з цих атракторів відповідає коливанням навколо робочої точки для симетричних діодів. Атрактор, який спостерігається в симуляції, залежить від використаних початкових умов.

Для роботи в якості скремблера генератор модулюється вхідним відеосигналом  $v_S$ , причому сила модуляції задається підлаштуванням резистора  $R_S$ . На виході скремблера отримуємо сигнал напруги  $v_1$ . Для  $v_S$  зв'язок такий, що вхідна модуляція є лише невеликим збудженням природної динаміки генератора, і

хаотичний характер генератора зберігається. В результаті скрембльований вихідний сигнал  $v_1$  є складною, нелінійною комбінацією непередбачуваного хаосу та вхідного відеосигналу.

Відповідна схема дескремблера показана на рисунку 2.13.

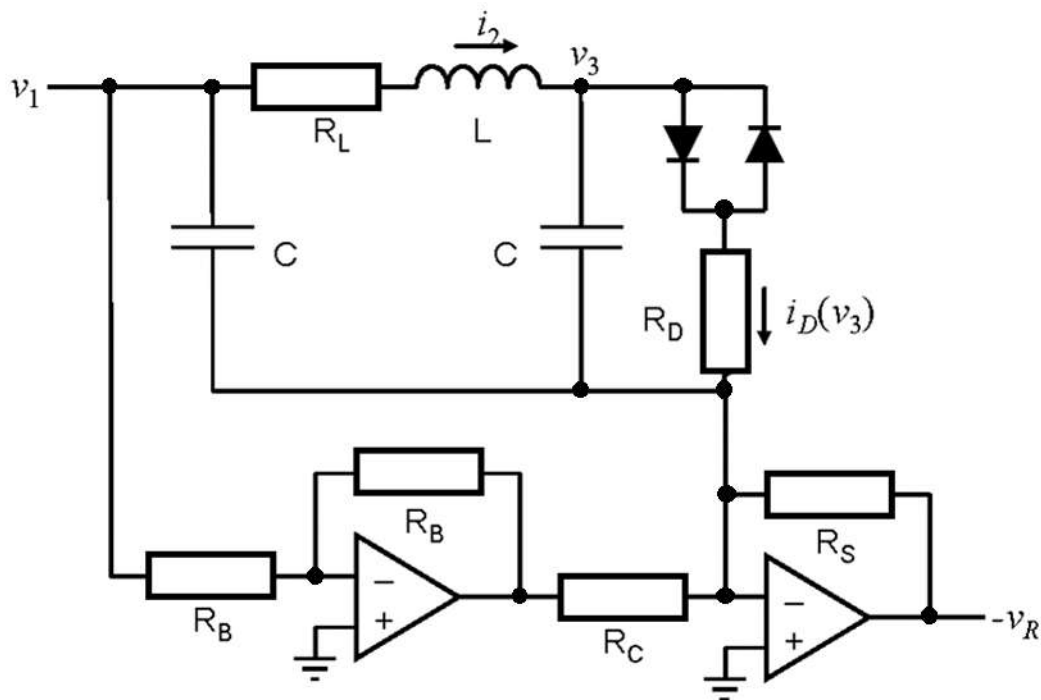


Рисунок 2.13 - Схема дескремблера зі скрембльованим входом  $v_1$  та відновленим відео виходом  $v_R$ .

Ця схема розроблена таким чином, щоб задовольняти зворотні рівняння:

$$L \frac{di_2}{dt} = v_1 - v_3 - i_2 R_L$$

$$C \frac{dv_3}{dt} = i_2 - i_D(v_3)$$

$$v_R = R_S \left\{ C \frac{dv_1}{dt} + \left( \frac{1}{R_S} - \frac{1}{R} \right) v_1 + i_2 \right\}$$

де  $v_R \rightarrow v_S$  - відновлений сигнал.

В оберненій системі перші два рівняння утворюють синхронну підсистему, яка відтворює інші стани генератора скремблера, що не передаються. Зокрема, стани дескремблера асимптотично наближаються до  $i_2 \rightarrow i_1$  і  $v_3 \rightarrow v_2$ . Останнє

рівняння інвертує рівняння невикористаного скремблера і розв'язує його для модуляції.

У схемі дескремблера обмеження проектування повинні відповідати моделі дескремблера, що виражається за формулою:

$$\frac{1}{R_C} = \frac{1}{R} - \frac{1}{R_S}$$

Однак на практиці змінний резистор  $R_C$  просто підлаштовують для оптимального відновлення сигналу.

## 3 РОЗРОБКА СХЕМИ ТА КОНСТРУКЦІЇ СИСТЕМИ ХАОТИЧНОГО ШИФРУВАННЯ

### 3.1 Вибір функціональних елементів системи.

Для відокремлення синхроімппульсу з відеосигналу було обрано мікросхему LM1881. Стандартна схема підключення зображена на рисунку 3.1.

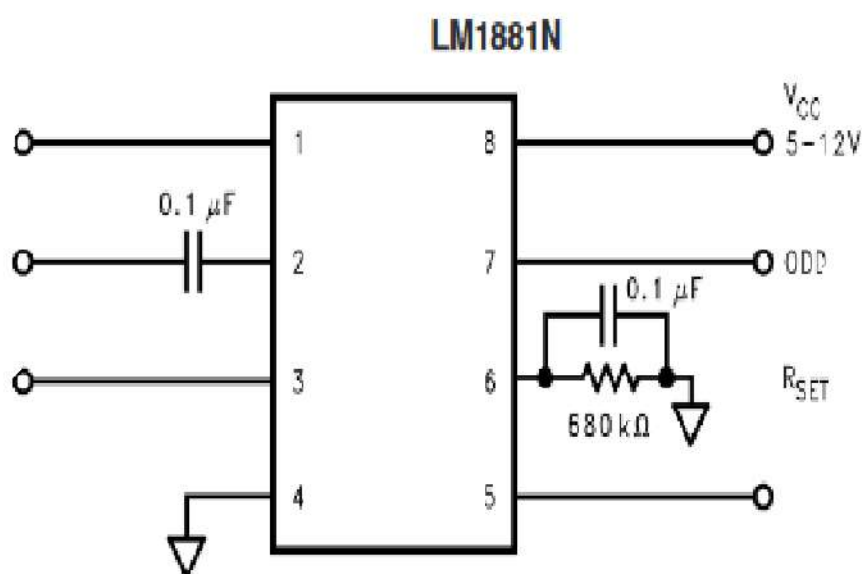


Рисунок 3.1 – Стандартна схема підключення мікросхеми LM188 згідно документації

LM1881 - це інтегральна мікросхема, яка використовується для видобування синхроімппульсів з відеосигналу, зокрема горизонтальних і вертикальних синхроімппульсів. Вона може бути використана для розділення відеосигналу на складові частини: яскравість, колір, горизонтальну та вертикальну синхронізацію. Вхідні сигнали з відео позитивної полярності (збільшення напруги сигналу означає збільшення яскравості сцени) від 0,5 В (p-p) до 2 В (p-p).

LM1881 працює від однієї напруги живлення в діапазоні 5 В - 12 В постійного струму. Єдині необхідні зовнішні компоненти крім розділового конденсатора живлення на виводі 8 і конденсатора розв'язки заданого струму на

виводі 6, є композитний вхідний розділовий конденсатор на виводі 2 і один резистор на виводі 6, який встановлює внутрішні рівні струму. Резистор на виводі 6 дозволяє LM1881 підлаштуватися під вихідні сигнали з частотою лінійної розгортки від 15,734 кГц.

Чотири основні сигнали синхронізації доступні від входів/виходів (рисунок 2):

- комбінована синхронізація, що включає інформацію про час горизонтальної та вертикальної розгортки;
- імпульс вертикальної синхронізації;
- імпульс розриву зворотнього зв'язку;
- непарний/парний вихід.

Непарний/парний вихід вихідного сигналу визначає, яке відеополе джерела черезстрочного відеосигналу присутнє на вході.

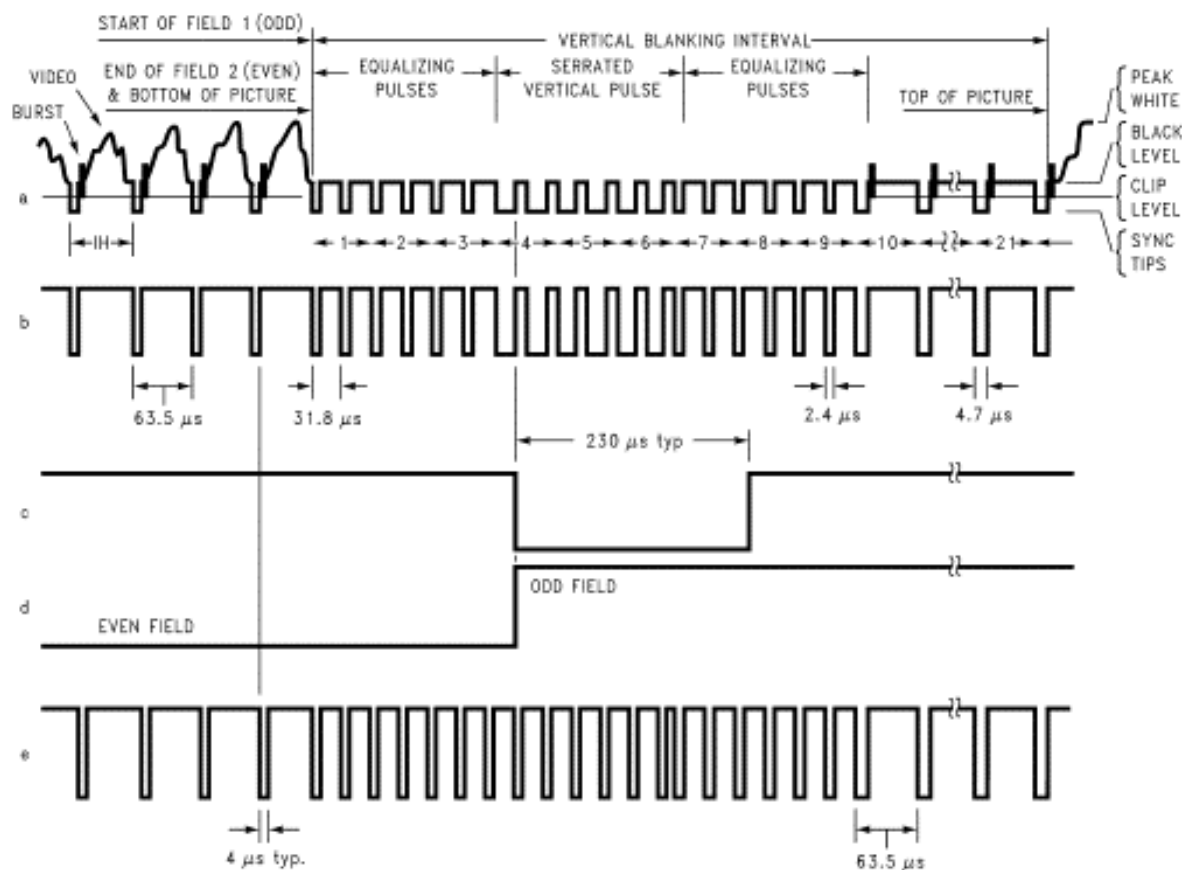


Рисунок 3.2 - Сигнали синхронізації мікросхеми LM1881 згідно документації

a - композитний відеосигнал; b - композитна синхронізація; c - вертикальний синхроімпульс; d - показчик парності поля; e - імпульс розриву зворотнього зв'язку

Виходи LM1881 можна використовувати для синхронізації сигналів відеокамери/відеомагнітофона з графічними джерелами, забезпечити ідентифікацію відеополів для зберігання в пам'яті, відновлення пригнічених або забруднених сигналів синхронізації, а також відеосигнали синхронізації для вилучення кодованих або некодованих даних на певних лініях розгортки відеосигналу.

Щоб краще розуміти часову інформацію і типи використовуваних сигналів LM1881, подивіться на рисунок 3.2, на якому показано частину композитного відеосигналу від кінця одного поля до початку наступного поля.

Вихід композитної синхронізації, рисунок 1(b) просто відтворює форму композитного відеосигналу нижче рівня чорного, з повністю видаленим відео. Це отримано фіксацією вершин синхроімпульсів відеосигналу до рівня 1,5 В на виводі 2 і використанням компаратора для виділення синхросигналу, який через буфер передається на виведення 1. Порогова напруга від зафіксованого синхроімпульсу - номінально 70 мВ, що означає, що для мінімального рівня вхідного сигналу 0,5В (p-p) поріг близький до половини амплітуди синхроімпульсу (показано штриховою лінією на рисунку 1(a)). Цей поріг не залежить від амплітуди сигналу, тому для 2 В (p-p) вхідного сигналу поріг становить 11 % амплітуди синхроімпульсу. Струм заряду вхідного розподільного конденсатора - 0,8 мкА, при цьому струм розряду - тільки 11 мкА (зазвичай). Це дає змогу використовувати відносно маленькі конденсатори, рекомендовано 0,1 мкФ.

У деяких джерелах відеосигналу високочастотні відео- і колірні компоненти можуть простягатися нижче рівня чорного. На деяких відеодисках імпульс колірного спалаху з'являється протягом періоду вертикального гасіння фактично на вершинах синхроімпульсів трьох рядків замість рівня чорного. Композитна

синхронізація може бути отримано з джерел фільтрування вхідного сигналу. За низького імпедансу джерела, зазвичай 75 Ом, послідовно з ним ставлять резистор 620 Ом і конденсатор 510 пФ, щоб отримати ФНЧ із частотою зрізу 500 кГц.

Цієї смуги більш ніж достатньо для передачі синхроімпульсів, проте будь-який вміст піднесучої в сигналі буде зменшено майже на 18 dB, що запобіжить хибним спрацьовуванням компаратора.

Фільтрування також допоможе, якщо джерело забруднене тепловим шумом. Сигнали на виході матимуть затримку від 40 ns до цілих 200 ns через цей фільтр. Ця затримка зазвичай несуттєва, але вона робить внесок у затримку синхронізації, яка виникає під час будь-якої додаткової обробки сигналу. Оскільки початковий відеосигнал може також піддатися обробці, потреба в корекції затримки належатиме від системи загалом, а не тільки від селектора синхроімпульсів.

Для підсилення та отримання більш чіткої форми відеосигналу було застосовано мікросхему EL4089. Схема підключення EL4089 зображена на рисунку 3.

**EL4089**  
**(8-PIN PDIP, SO)**  
**TOP VIEW**

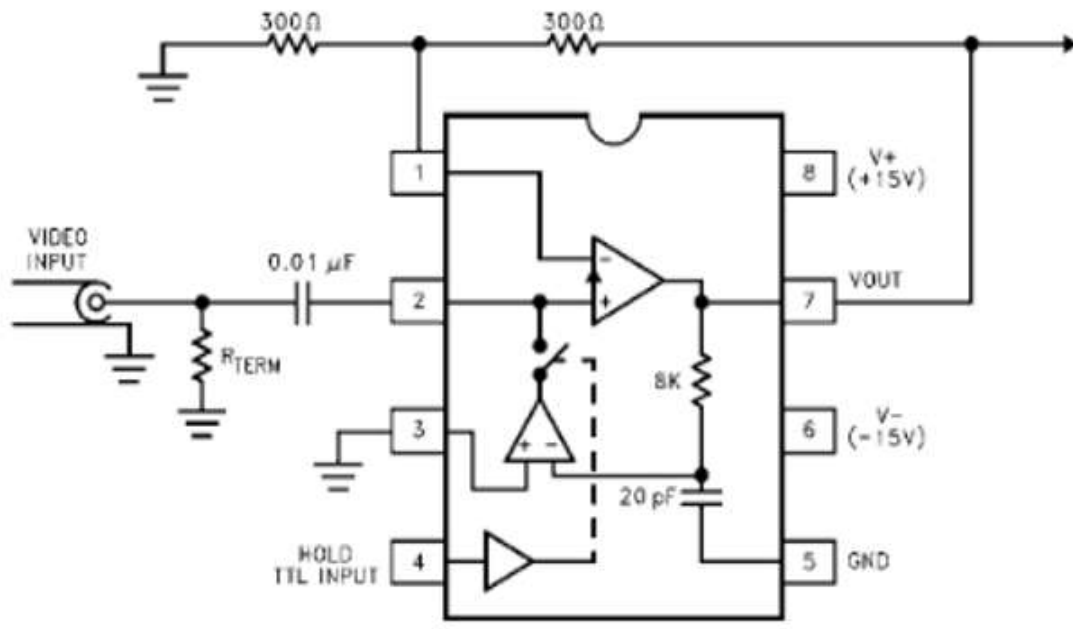


Рисунок 3.3 – Стандартна схема підключення мікросхеми EL4089 згідно документації

EL4089 - це 8-контактна монолітна підсистема відеопідсилення та відновлення сигналу за допомогою постійного струму. Вона містить високоякісний відеопідсилювач і підсилювач обнулення, вибірки і утримання, спеціально розроблений для стабілізації відеосигналу.

Коли логічний вхід HOLD встановлений на логічний 0 TTL/CMOS, підсилювач вибірки і утримання може бути використаний для обнулення постійного зміщення відеопідсилювача. Коли вхід HOLD переходить до логіки 1 TTL/CMOS, коригуюча напруга зберігається у відеопідсилювачі. Коригувальна напруга зберігається на вході відеопідсилювача розділового конденсатора. Напруга корекції може бути додатково скоригована за необхідності на кожній відеолінії.

Відеопідсилювач оптимізовано для високої продуктивності та низького енергоспоживання. Його конструкція зі зворотним зв'язком дозволяє

користувачеві підтримувати практично однакову смугу пропускання в діапазоні коефіцієнта підсилення майже 10:1. Підсилювач працює з лініями 75 Ом зі зворотним зв'язком.

EL4089 можна використовувати для відновлення форми відеосигналу за постійним струмом. Схема примушує кабель, що веде відеопідсилювача на землю, коли вивід HOLD знаходиться в стані логічного низький рівень. "Напруга корекції" зберігається на конденсаторі CX1, зовнішньому керамічному конденсаторі. Номінал конденсатора вибирається з системних вимог. Типовий вхідний струм зсуву до відеопідсилювача становить 1 мкА, тому для часу утримання 62 мкс і 0,01 мкФ, дрейф вихідної напруги становить 6,2 мВ в одній лінії. Підсилювач S/N може забезпечити типовий струм 300 мкА для заряду конденсатора CX1, тому при часі дискретизації 1,2 мкс вихід може бути скоригований на 36 мВ в кожному рядку. Використання меншого значення CX1 збільшує як напругу, що можна скоригувати, а також збільшує дрейф під час утримання, використання більшого значення CX1 зменшує напругу.

Резистор RX1 використовується в схемі виключно для імітації деякого імпедансу зовнішнього джерела і не потрібен як реальний компонент. Аналогічно для RX2. Резистор зворотного зв'язку 75 Ом резистор RXT рекомендується використовувати для кабелів 75 Ом.

На макеті плати повинно бути заземлення під EL4089, причому заземлення повинно бути відрізана від виводу V IN (вивід 1). Це допомагає мінімізувати паразитну ємність на виводі 1. Шунтування джерела живлення є важливим, і керамічний конденсатор ємністю 0,1 мкФ від кожного виводу живлення до землі, розміщений дуже близько до виводів живлення, разом з танталовим конденсатором на 4,7 мкФ.

Якщо цифрове і аналогове заземлення знаходяться на одній і тій же платі, EL4089 повинен бути на аналоговому заземленні. Цифрове заземлення можна підключити до аналогового заземлення через резистор 100 – 300 Ом, поруч з EL4089. Це додає цифровому сигналу зворотний зв'язок, одночасно запобігаючи цифровому шуму від пошкодження аналогового заземлення. Для досягнення

найкращих результатів імпеданс джерела повинен бути низьким, наприклад, за допомогою буфера.

Підсилювач S/N має струмовий вихід і створює невелике навантаження на джерело вхідного сигналу під час вибірки. Коли вибірка виконується за допомогою зворотнього зв'язку з кольорною розгорткою буде невелике навантаження на кольорову розгортку. Тому для найкращої продуктивності вхідний сигнал слід подавати з виходу підсилювача або кабелю 75 Ом.

В якості операційного підсилювача застосовано мікросхему LMH6723. Схема підключення LMH6723 зображена на рисунку 3.4.

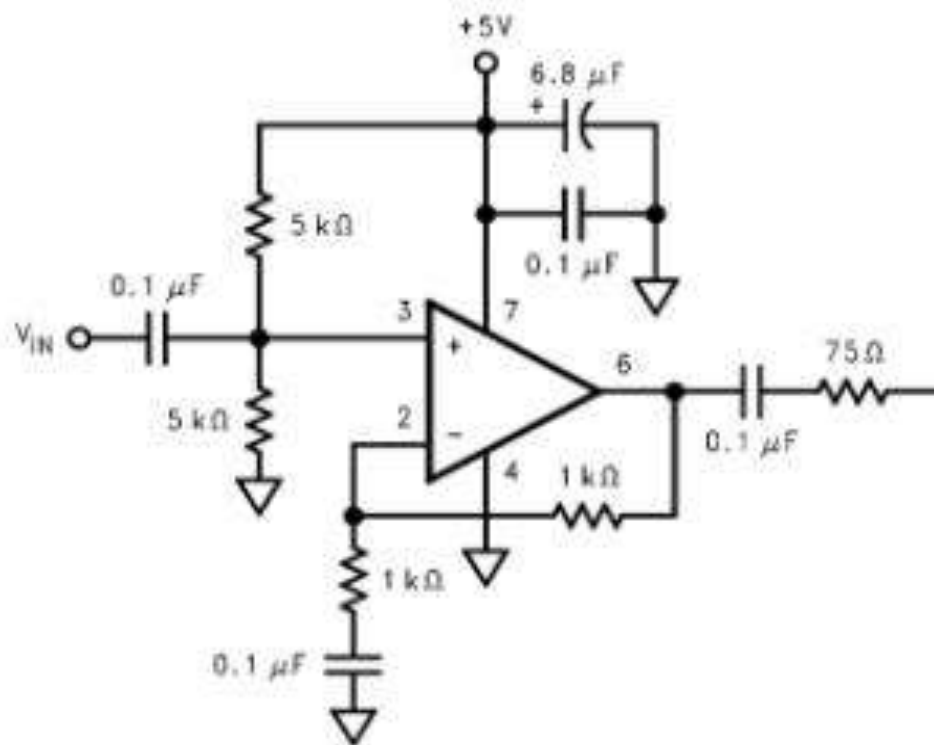


Рисунок 3.4 - Схема підключення мікросхеми LMH6723 згідно документації

LMH6723 - це високошвидкісний операційний підсилювач, який зазвичай використовується в вимірювальних системах, швидкісних драйверах, а також у високочастотних приладах.

LMH6723 може бути застосований у вимірювальних системах, які вимагають високої швидкості передачі даних і точності у вимірюваннях. Також він може використовуватися для підсилення слабких сигналів у високочастотних пристроях, таких як високочастотні комунікаційні системи або радіоприймачі.

Цей операційний підсилювач має широкосмугову характеристику і високу швидкодію, що робить його корисним для застосувань, де потрібна обробка високочастотного сигналу з високою точністю.

Підсилювач може працювати в діапазоні номінальних напруг живлення від 4,5 В до 12 В і споживає лише 1 мА струму спокою при нарузі живлення 10 В (зазвичай  $\pm 5$  В). LMH6723 не мають внутрішньої точки заземлення, тому однакові конфігурації з одним або двома джерелами живлення є однаково корисними.

#### Вибір резистора зворотного зв'язку

Однією з ключових переваг операційного підсилювача зі зворотним зв'язком за струмом є можливість підтримувати оптимальну частотну характеристику незалежно від коефіцієнта підсилення, використовуючи відповідні значення резистора зворотного зв'язку ( $R_F$ ). Електричні характеристики та графіки типових характеристик були згенеровані з резистором зворотного зв'язку 1200 Ом, коефіцієнтом підсилення +2 В/В і живленням  $\pm 5$  В або  $\pm 2,5$  В (рисунок 5).

Як правило, зниження  $R_F$  від рекомендованого значення призводить до піку частотної характеристики і розширення смуги пропускання частотної характеристики і розширить смугу пропускання; однак збільшення значення  $R_F$  призведе до того, що частотна характеристика швидше спадатиме. Зменшення значення  $R_F$  занадто сильно нижче рекомендованого значення призведе до перерегулювання, дзвін і, зрештою, коливання.

На рисунку 3.5 показано частотну характеристику LMH6723 при зміні радіочастоти ( $R_L = 100$  Ом,  $A_V = +2$ ). Цей графік показує, що при  $R_F$  800 Ом спостерігається пік. Значення  $R_F$  1200 Ом дає майже максимальну смугу пропускання і рівність коефіцієнта підсилення з хорошою стабільністю.

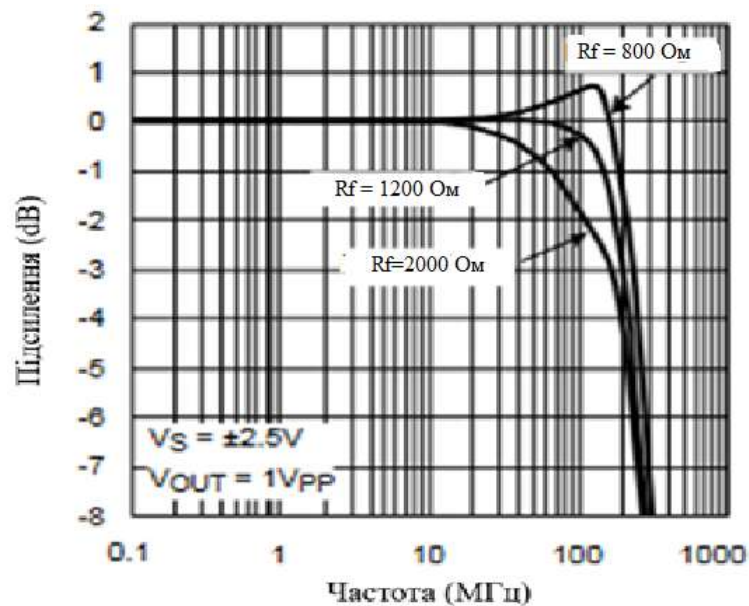


Рисунок 3.5 - Частотна характеристика в залежності від радіочастоти

Оскільки кожне застосування дещо відрізняється, варто поекспериментувати, щоб знайти оптимальний  $R_F$  для даної схеми. Загалом, значення  $R_F$ , яке дає  $\sim 0,1$  дБ піку, є найкращим компромісом між стабільністю і максимальною смугою пропускання.

Не можна використовувати підсилювач зі зворотним зв'язком за струмом з виходом, замкненим безпосередньо до інвертуючого входу. Буферна конфігурація LMН6723 вимагає резистора зворотного зв'язку на 2000 Ом для стабільної роботи. Для інших коефіцієнтів підсилення див. графіки на рисунок 6 і рисунок 7. Ці діаграми забезпечують гарне місце для початку при виборі найкращого значення резистора зворотного зв'язку для різних значень коефіцієнта підсилення.

LMН6723 розроблений для оптимальної роботи при коефіцієнтах підсилення від +1 до +5 В/В і від -1 до -4 В/В. Конфігурації з вищим коефіцієнтом підсилення все ще корисні; однак, смуга пропускання буде падатиме зі збільшенням коефіцієнта підсилення, подібно до типового підсилювача зі зворотним зв'язком за напругою.

На рисунку 3.6 і рисунку 3.7 показано залежність ВЧ від коефіцієнта підсилення.

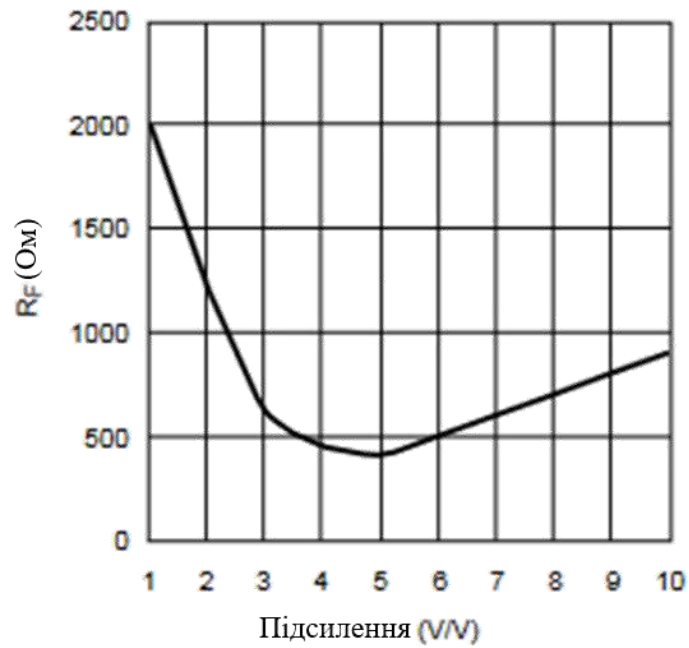


Рисунок 3.6 -  $R_F$  та неінвертуючий коефіцієнт підсилення

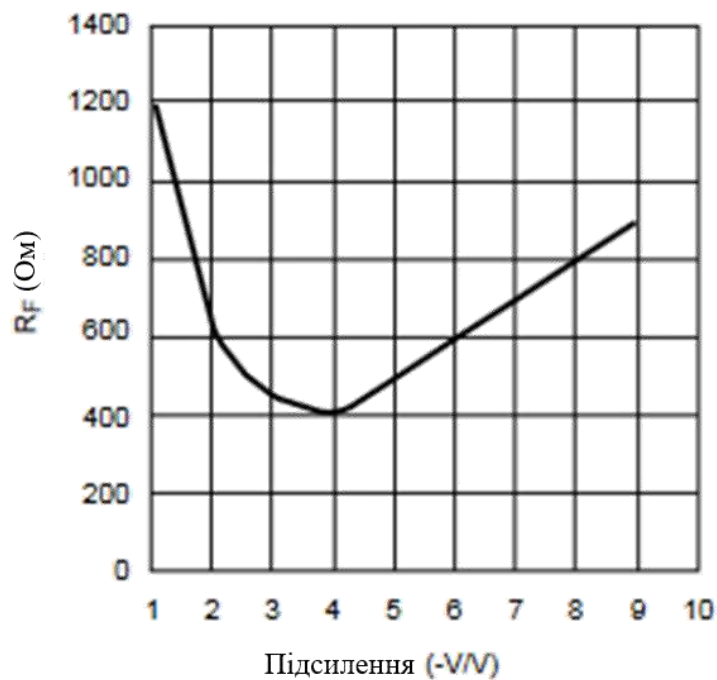


Рисунок 3.7 -  $R_F$  та інвертуючий коефіцієнт підсилення

Для того, щоб утримати  $R_F$  від зниження нижче опору інвертуючого входу, потрібен вищий  $R_F$  при вищому коефіцієнті підсилення щоб не зменшувався

занадто сильно нижче вхідного опору інвертуючого входу. Це обмеження застосовується як до інвертуючих так і до неінвертуючих конфігурацій.

Для LMN6723 вхідний опір інвертуючого входу становить приблизно 500 Ом, а 100 Ом є практичною нижньою межею для  $R_G$ . LMN6723 починає працювати в режимі з обмеженою смугою пропускання в області, де для отримання більшого коефіцієнта підсилення необхідно збільшити частоту.

Зверніть увагу, що підсилювач працюватиме зі значеннями  $R_G$  значно нижче 100 Ом; проте результати будуть істотно відрізнятися від прогнозованих ідеальними моделями.

При використанні LMN6723 в якості фільтра нижніх частот значення  $R_F$  може бути істотно зменшено від значення, рекомендованого на графіках залежності частоти від коефіцієнта підсилення. Перевагою зменшення  $R_F$  є збільшення коефіцієнта підсилення на більш високих частотах, що покращує загасання в смузі зупинки.

Проблем зі стабільністю можна уникнути, оскільки в смузі зупинки додаткова смуга пропускання пристрою використовується для гасіння вхідного сигналу, а не для його посилення.

Перевага цієї зміни залежить від особливостей схеми. У разі використання фільтра високих частот зменшення  $R_F$  ймовірно, призведе до нестабільності пристрою і не рекомендується.

### 3.2 Розробка схеми та конструкції хаотичного скремблера

Демонстраційна схема хаотичного скремблера відеосигналу була побудована з використанням стандартних комерційно доступних компонентів.

Детальна схема хаотичного скремблера показана на рисунку 3.8. Значення компонентів було підібрано таким чином, щоб отримати хаотичні коливання з широким спектром, який перекриває смугу пропускання 4,5 МГц базового відеосигналу NTSC.

Аналогове відео надходить на скремблер через роз'єм X1. Для зсуву сигналу до позитивної напруги використовуються спеціалізовані інтегральні відеомікросхеми DD1 (LM1881) і DD2 (EL4089) з потенціометром R5, а для масштабування амплітуди вхідної модуляції для хаотичного генератора - потенціометр R7. Змінні конденсатори C5 і C7 та котушка індуктивності L2 використовуються для підстроювання частоти генератора. Потенціометр R10 встановлює ефективний негативний опір генератора і налаштовується на хаотичні коливання. Потенціометр R33 служить для балансування нелінійності діодів VD1 і VD2. Вихід скремблера подається на X3. Потенціометри R19 і R22 слугують для налаштування скрембльованого виходу з напругою 1 В для сумісності зі стандартним передавачем відеосигналу. Буферні виходи на X2 і X4 доступні для спостереження форм сигналу і тестування синхронізації.

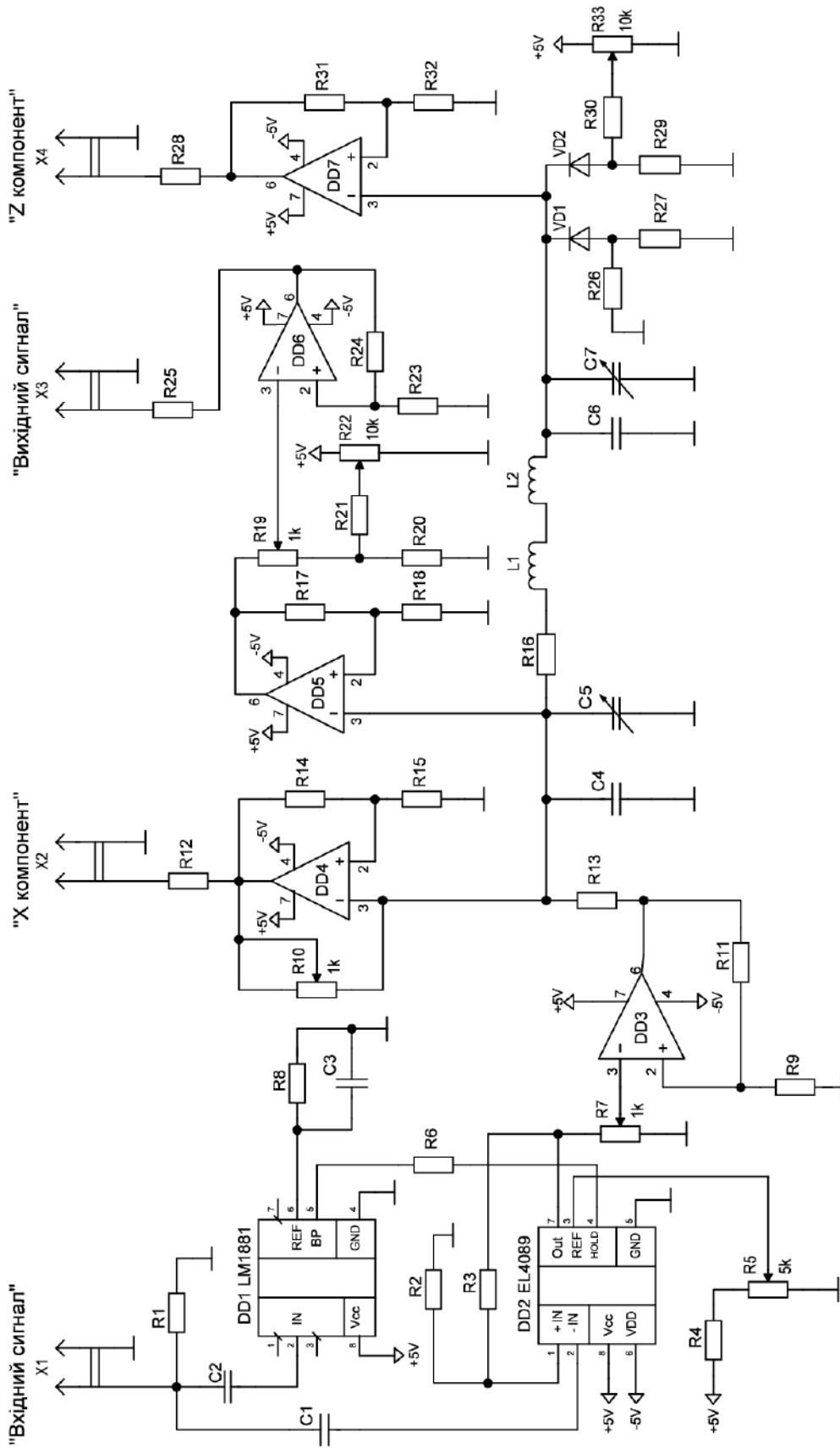
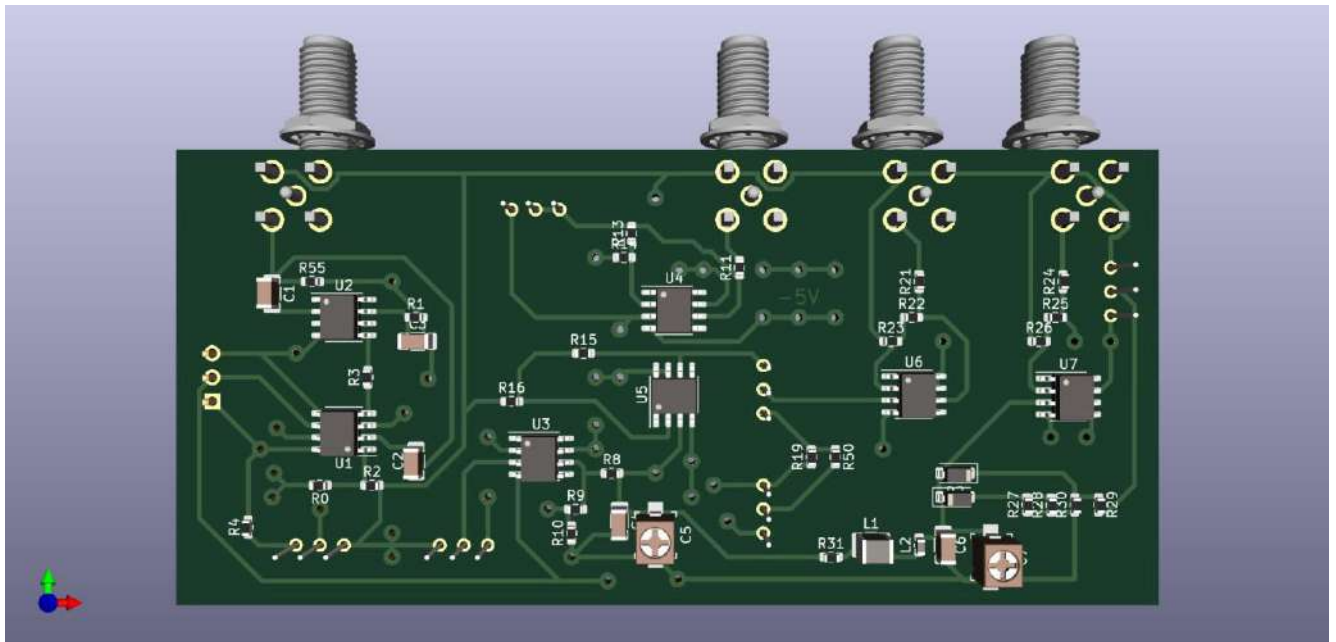
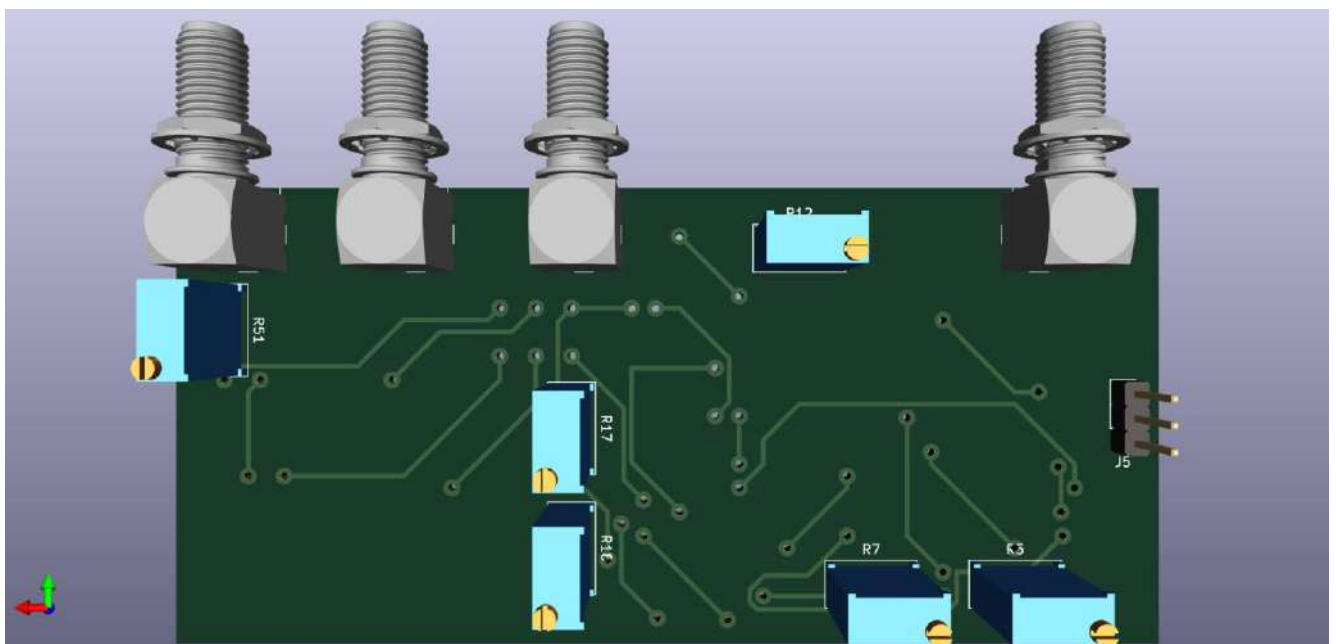


Рисунок 3.8 Детальна схема прототипу схеми хаотичного скремблера.

Як показано на рисунку 3.9, схема скремблера побудована на друкованій платі з розводкою, розрахованою на високочастотну роботу.



а)



б)

Рисунок 3.9 – Графічна модель хаотичного скремблера:

а) верхній шар; б) нижній шар.

### 3.3 Розробка схеми та конструкції хаотичного дескремблера

Демонстраційна схема хаотичного дескремблера відеосигналу була побудована з використанням стандартних комерційно доступних компонентів. Детальна схема дескремблера показана на рисунку 3.10.

Отриманий скрембльований сигнал надходить на X1. Операційні підсилювачі DD1 (LM1881) і DD2 (EL4089) відновлюють амплітуду сигналу і зсув по постійному струму, які встановлюються за допомогою потенціометрів R1 і R10 відповідно. Потенціометри R13 і R25, а також змінні конденсатори C3 і C5 і котушка індуктивності L1 використовуються для корекції невідповідності параметрів і налаштування для оптимальної синхронізації і відновлення сигналу. Буферні виходи X2 і X3 доступні для спостереження форм сигналу і налаштування якості синхронізації. Відновлений аналоговий відеосигнал виводиться на X4. Операційний підсилювач DD7 коригує поляризацію відеосигналу і встановлює рівень постійного струму і амплітуду вихідного сигналу, які регулюються потенціометрами R26 і R33 відповідно.

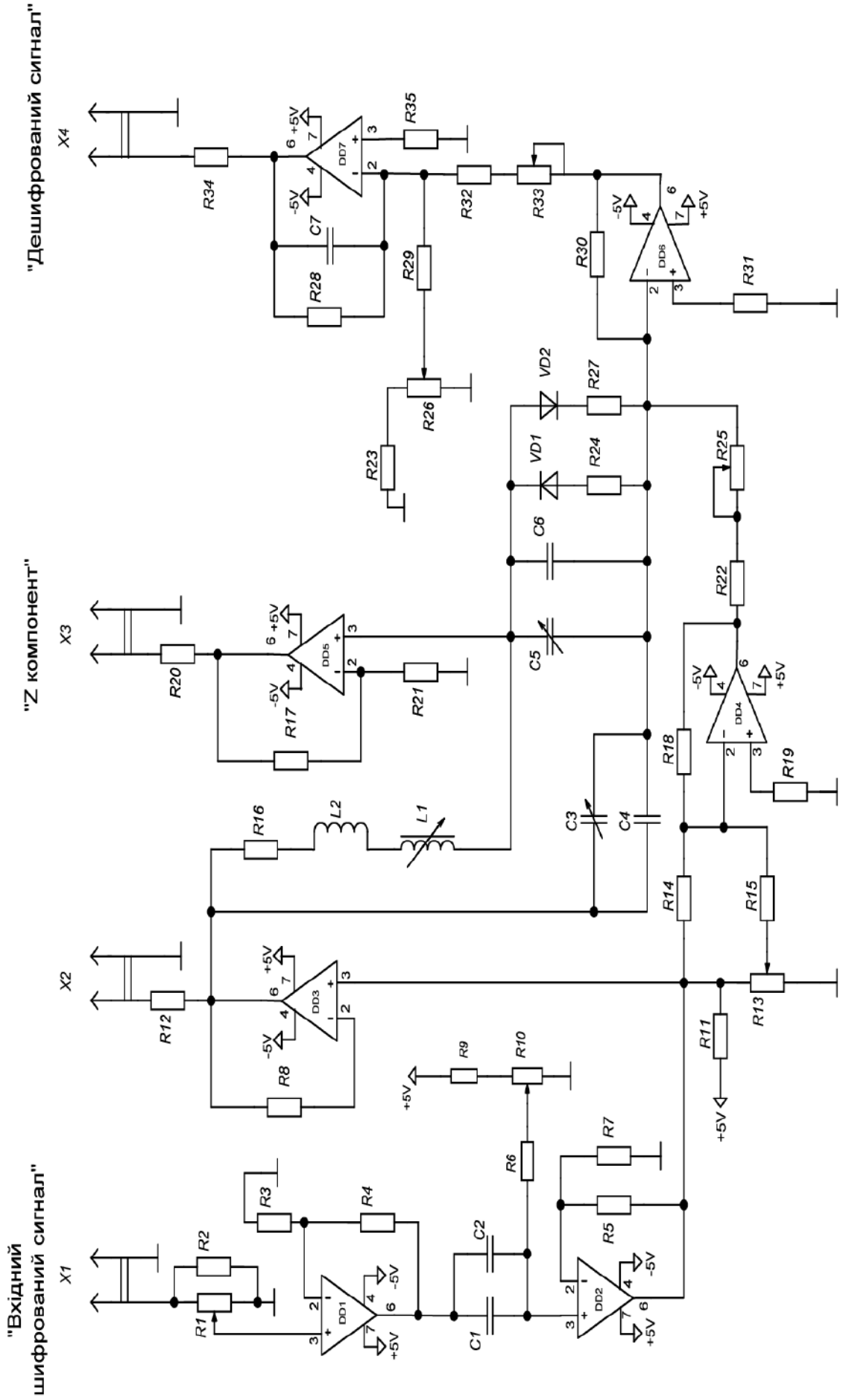
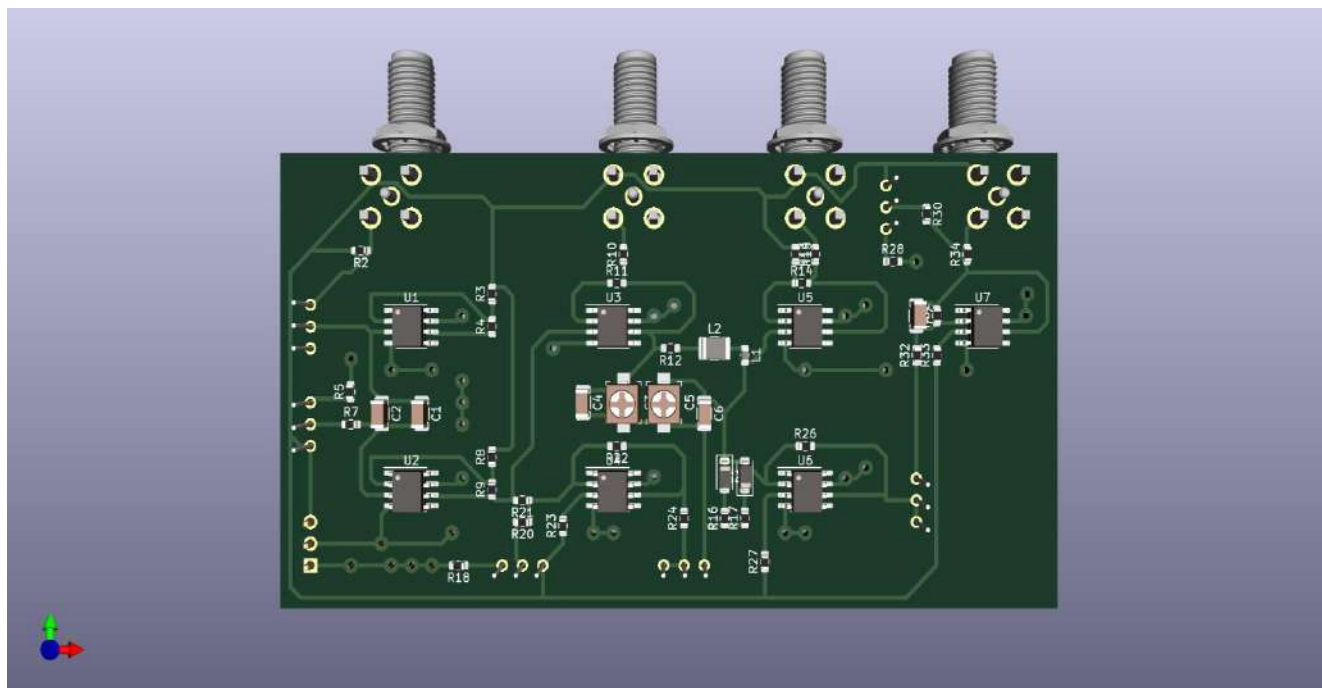
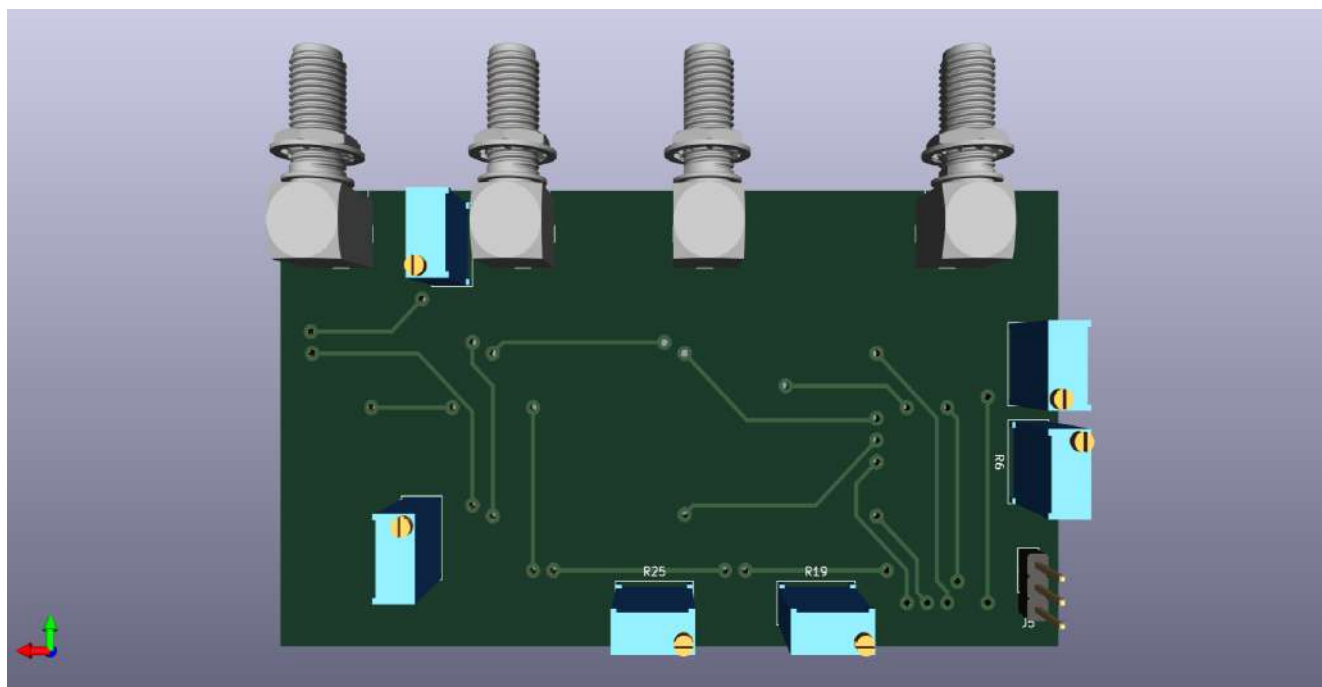


Рисунок 3.10 - Детальна схема прототипу схеми хаотичного дескремблера.

Як показано на рисунку 3.11, схема дескремблера побудована на друкованій платі з розводкою, розрахованою на високочастотну роботу.



а)



б)

Рисунок 3.11- Графічна модель хаотичного скремблера:

а) верхній шар; б) нижній шар.

Для мінімізації паразитного реактивного опору використано поверхневий монтаж і корпусні компоненти. Для забезпечення механічного та електричного екранування, плати рекомендується розміщувати у металевих корпусах. Підключення до ланцюгів здійснюється через коаксіальні прохідні роз'єми, що встановлюються на корпусах. Електричне живлення доступне від будь-якого джерела з напругою від +5 до +12 Вольт постійного струму.

### 3.4 Принцип дії системи хаотичного шифрування

Типова форма сигналу, що генерується хаотичним скремблером за відсутності вхідного відеосигналу і зафіксована за допомогою цифрового осцилографа, показана на рисунку 3.12.

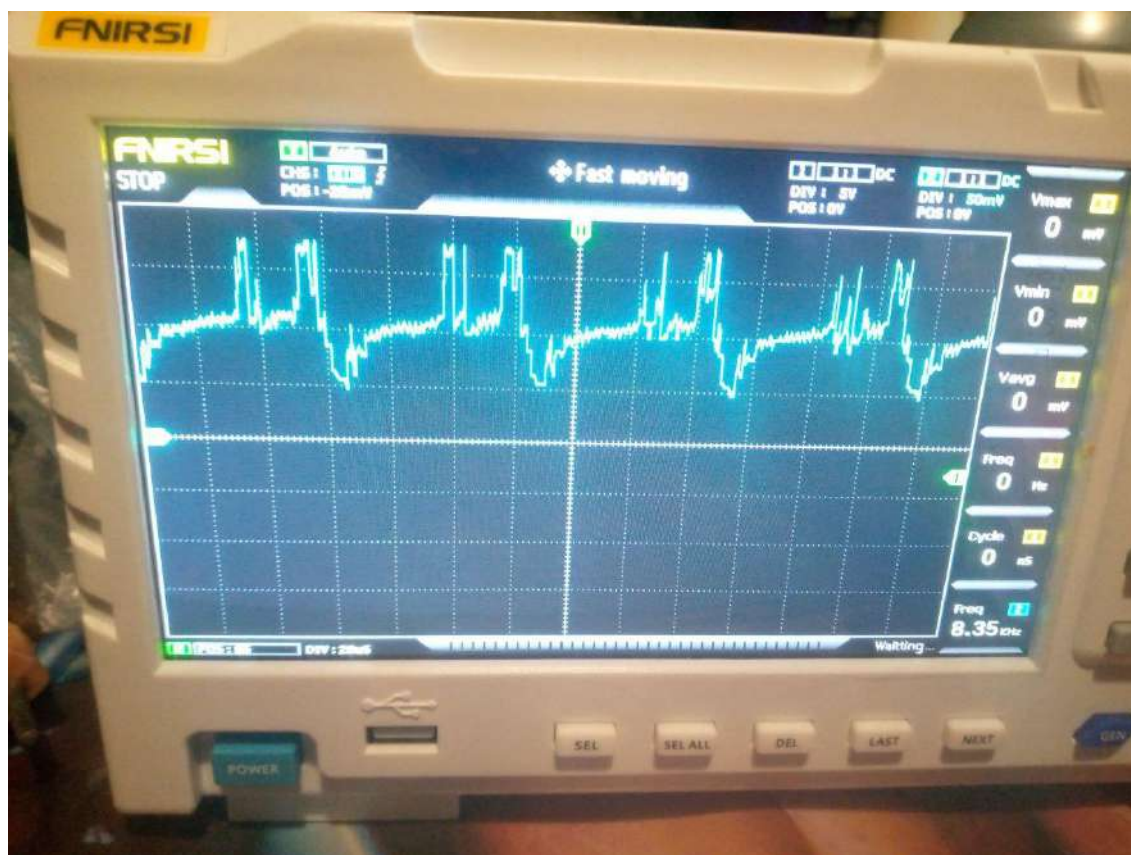


Рисунок 3.12 - Осцилограма, знята з виходу хаотичного скремблера на роз'ємі X3 за відсутності вхідного відеосигналу.

Ця форма сигналу має середній час повернення 0,9 мкс, що відповідає центральній частоті 1,1 МГц. Відповідна захоплена фазо-просторова проекція показана на рисунку 3.13.

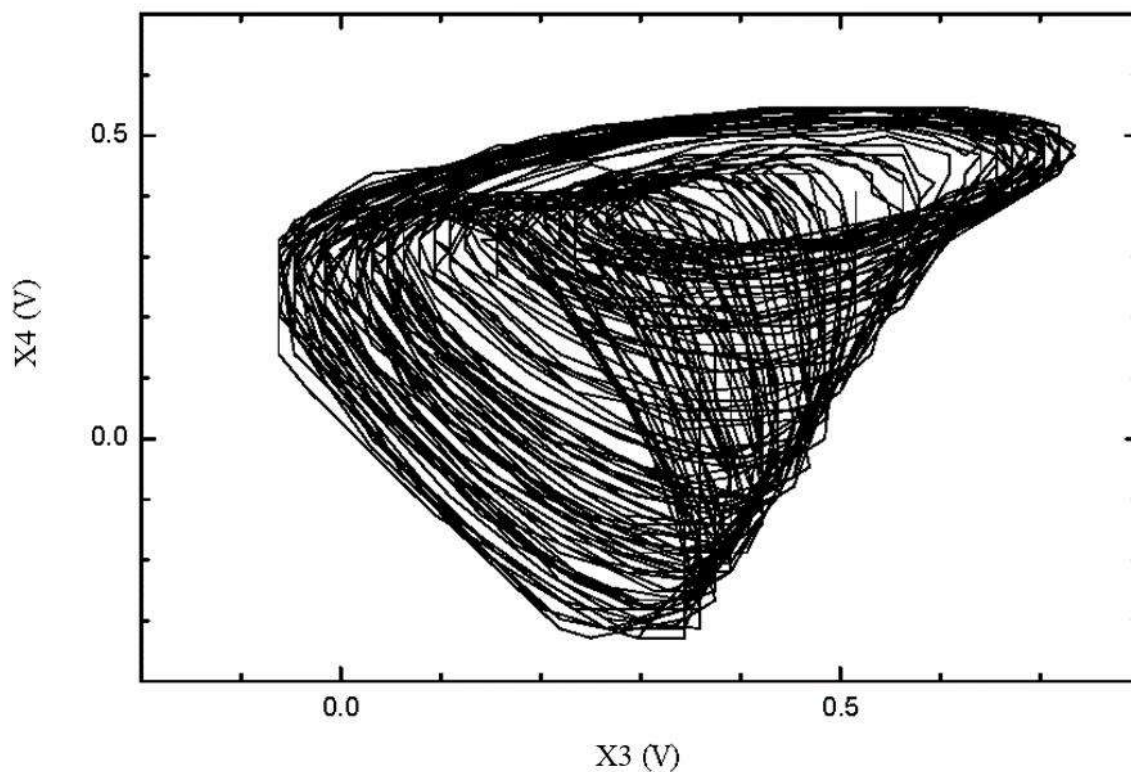


Рисунок 3.13 - Фазово-просторова проекція сигналів, знятих з виходу хаотичного скремблера за відсутності вхідного відеосигналу.

Якісно форма сигналу та атрактор досить добре порівнюються з результатами симуляції моделі на рисунках 2.4 і 2.5 у розділі 2.2

Функціональність скремблерної системи була успішно продемонстрована з використанням кольорового відеосигналу від стандартної аналогової відеокамери.

Для початкових тестів скрембльований сигнал (рисунок 3.14) передавався безпосередньо на дескремблер через пряме дротове з'єднання.

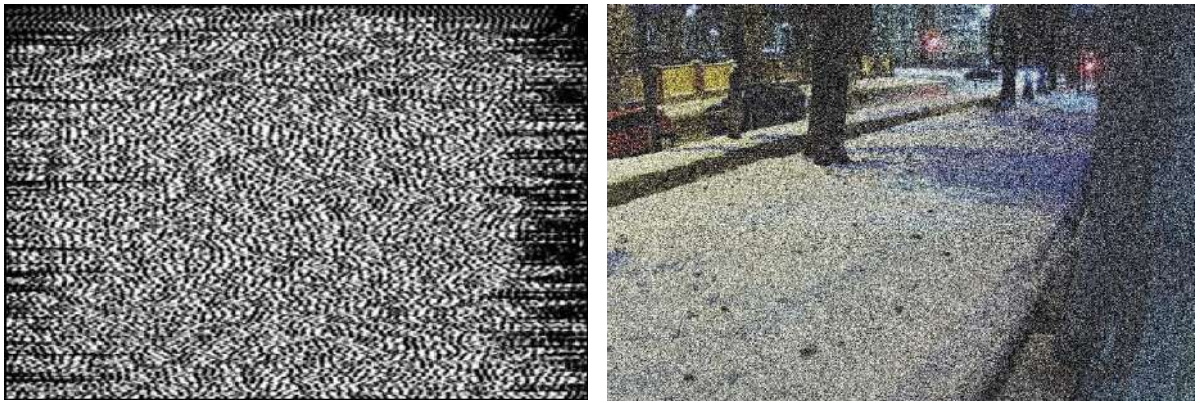


Рисунок 3.14 – Осцилограма скрембльованого сигналу

Отриманий сигнал дескремблювався і переглядався в реальному часі на кольоровому моніторі. Типові кадри, отримані під час тестування, показані на рисунках 3.15 та 3.16.



Рисунок 3.15 – Осцилограма дескрембльованого сигнал



а)

б)

Рисунок 3.16 - Скрембльоване (а) та дескрембльоване (б) зображення, отримане з демонстраційної системи скремблера хаотичного аналогового відеосигналу з прямим підключенням.

Зашифрований сигнал виглядає просто як шум, тим самим заперечуючи будь-яку корисну інформацію для підслуховувача, в той час як дешифрований сигнал відновлює оригінальне зображення. Як видно з рисунка 3.16, хаотичне скремблювання повністю приховує відео та інформацію про колір. Більше того, навіть сигнали відеосинхронізації приховані, що ускладнює визначення навіть початку відеокадру або рядка.

Для демонстрації хаотичного скремблювання в бездротовому радіоканалі аналоговий відеосигнал був зашифрований і переданий за допомогою комерційних FM-радіостанцій. Прийнятий радіосигнал був дескрембльований і переглянутий на кольоровому моніторі. На рисунку 3.17 показано послідовність відеокадрів, знятих під час бездротового тесту.



Рисунок 3.17 - Дескрембоване відеозображення, отримане з демонстраційної системи скремблера хаотичного аналогового відео за допомогою бездротового FM-радіоканалу.

Очікується, що певні спотворення через шуми і втрати в радіосигналі вплинуть на здатність дескремблерів відновити оригінальне відео. Однак, незважаючи на ці втрати, отриманий сигнал успішно дескремблюється, і кольорове відео успішно відновл

## ВИСНОВКИ

Перевагою хаотичного скремблювання перед більш складними методами цифрового шифрування є його проста аналогова реалізація. Важливо відзначити функціональність, яку можна отримати, незважаючи на неймовірну простоту схем скремблювання і дескремблювання. Кожен компонент складається всього з декількох звичайних аналогових компонентів. Деталі хаотичної схеми складають "ключ", включаючи топологію схеми, ємності, індуктивності та характеристики діодів. В принципі, ця інформація може бути вилучена з переданого сигналу без відповідної схеми дескремблювання, але лише за допомогою складних методів нелінійної цифрової обробки сигналів, які вимагають порівняно дорогих технологій оцифрування та обчислень.

Асиметрія вартості і складності перехоплення зашифрованої передачі означає, що все ще існує ефективний рівень безпеки, який забезпечується хаотичним шифруванням. Хоча це не справжнє шифрування, воно все ще може забезпечити достатній рівень захисту від випадкових підслуховувачів і для критично важливих комунікацій.

Ця демонстрація технології прокладає шлях до повноцінного використання хаотичного скремблювання у військових цілях, де бюджетні витрати і потужність виключають використання цифрового шифрування. Майбутні розробки цієї технології включатимуть програмований ключ і покращену стійкість до атак на обробку сигналів. Одним з підходів може бути використання хаотичних генераторів вищої розмірності. Технологія також може бути масштабована за частотою для використання при ще більшій пропускну здатності інформації.

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

- 1 Журнал «Схемотехника». 2004, N12. С. 25–27.
- 2 Конахович Г. Ф., Климчук В. П., Паук С. М. Защита информации в телекоммуникационных системах. К.: «МК-Пресс», 2005. 288 с.
- 3 Нуссбаумер Г. Быстрое преобразование Фурье и алгоритмы вычисления сверток. М.: Радио и связь, 1985.
- 4 P. Iscold, G. A. S. Pereira, and L. A. B. Torres, “Development of a hand-launched small uav for ground reconnaissance,” Aerospace and Electronic Systems, IEEE Transactions on, 2010. – 348 с
- 5 <https://uk.wikipedia.org/wiki/Видеосигнал>
- 6 [https://ru.wikibrief.org/wiki/Analog\\_television](https://ru.wikibrief.org/wiki/Analog_television)
- 7 Зайцев С. В. Математична модель оцінки достовірності передачі інформації в безпроводних мережах за умов впливу структурних завад / С.В. Зайцев // Молода наука України. Перспективи та пріоритети розвитку : матеріали XIV Всеукр. наук.- практ. конф. з міжнар. участю, (Київ, 26–27 грудня 2013р.). – К., 2014. – С. 174 – 175
- 8 Kocarev, L., 2001: Chaos-Based Cryptography: A Brief Overview, IEEE Circuits and Systems Magazine, 1, 6-21.
- 9 Myneni, K., N. J. Corron, S. D. Pethel, B. R. Reed, and T. A. Barr, 2004: Masked Communications for Unmanned Systems. Proceedings of the Workshop on Tactical Battlefield Communications for Missiles, Rotorcraft, and Unmanned Vehicles, Redstone Arsenal, AL, U. S. Army AMRDEC, 47-57.
- 10 Corron, N. J., 1997: An Approach for Communications with Chaotic Waveforms. Proceedings of the 4<sup>th</sup> Experimental Chaos Conference, Boca Raton, FL, World Scientific, 395-406.

11 Pecora, L. M., and T. L. Carroll, 1990: Synchronization in Chaotic Systems, *Physical Review Letters*, 64, 821-824.

12 Feldmann, U., M. Hasler, and W. Schwarz, 1996: Communication by Chaotic Signals: The Inverse System Approach, *International Journal of Circuit Theory and Applications*, 24, 551-579.

13 Pérez, G., and H. A. Cerdeira, 1995: Extracting Messages Masked by Chaos, *Physical Review Letters*, 74, 1970-1973.

14 Cuomo, K. M., A. V. Oppenheim, and S. H. Strogatz, 1993: Synchronization of Lorenz-Based Chaotic Circuits with Applications to Communications, *IEEE Transactions on Circuits and Systems II*, 40, 626-633.

15 Corron, N. J., J. N. Blakely, and S. D. Pethel, 2004: Beam Steering by Lag Synchronization in Wide-Bandwidth, Chaotic Arrays. *Experimental Chaos*, S. Boccaletti, Ed., American Institute of Physics, 45-50.

16 Corron, N. J., J. N. Blakely, and S. D. Pethel, 2005: Lag and Anticipating Synchronization without Time-Delay Coupling, *Chaos*, 15, 023110.