

Міністерство освіти і науки України  
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет інформаційних радіотехнологій та технічного захисту інформації  
(повна назва)

Кафедра медіаінженерії та інформаційних радіоелектронних систем  
(повна назва)

## КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА Пояснювальна записка

рівень вищої освіти другий (магістерський)

Дослідження методів подавлення шуму у звукозаписах.

(тема)

Виконав:  
студент 2 курсу, групи СТМм-21-1  
Глубаковський Д.Д.  
(прізвище, ініціали)

Спеціальність 171 Електроніка  
(код і повна назва спеціальності)

Тип програми освітньо-професійна  
Освітня програма Системи, технології і комп'ютерні засоби мультимедіа  
(повна назва освітньої програми)

Керівник доц. Посошенко В.О.  
(посада, прізвище, ініціали)

Допускається до захисту

Зав. кафедри \_\_\_\_\_ Володимир КАРТАШОВ  
(підпис)

2022 р.

# Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет інформаційних радіотехнологій та технічного захисту інформації

Кафедра медіаінженерії та інформаційних радіоелектронних систем

Рівень вищої освіти другий (магістерський)

Спеціальність 171 Електроніка  
(код і повна назва)

Тип програми освітньо-професійна

Освітня програма Системи, технології і комп'ютерні засоби мультимедіа  
(повна назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри \_\_\_\_\_  
(підпис)

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_ р.

## ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

студентові Глубаковському Даніїлу Дмитровичу  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Дослідження методів подавлення шуму у звукозаписах.

затверджена наказом по університету від " 21 " \_\_\_\_\_ 11 \_\_\_\_\_ 2022 р. № 1503 Ст

2. Термін подання студентом роботи до екзаменаційної комісії 14.12.2022 р.

3. Вихідні дані до роботи

1. Дослідити сучасні програмні рішення подавлення шуму
2. Дослідити алгоритми подавлення шуму
3. Дослідити апаратні методи подавлення шуму
4. Порівняти роботу фільтрів для зменшення шуму

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі \_\_\_\_\_

Вступ

1. Шумовий затвор та шумозаглушення
2. Огляд популярних плагінів видалення шуму
3. Зменшення звукового шуму за допомогою фільтрів низьких частот
4. Розбір шумозаглушення у програмі Restorer
5. Система динамічного шумозаглушення (СДШ)

Висновки

Перелік посилань

Додатки

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням обов'язкових креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій

1. Методи зменшення шуму. 2. Базові принципи зменшення шуму. 3. Шумовий затвор. 4. Шумозаглушення. 5. iZotope RX10. 6. Repair Assistant. 7. Text Navigation. 8. Multiple Speaker Detection. 9. De-Hum та Spectral Patching. 10. Інші плагіни та програми подавлення шуму. 11. Фільтри. 12. Робота фільтрів. 13. Шумозаглушення у програмі Restorer. 14. Система динамічного шумозаглушення. 15. Топологія LM1894.

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналітичний огляд літератури	01.09.22–13.09.22	
2	Розробка методики досліджень	14.09.22–27.09.22	
3	Визначення параметрів апаратної частини	28.09.22–11.10.22	
4	Розробка програмної частини комплексу	12.10.22–25.10.22	
5	Експериментальні дослідження	26.10.22–10.11.22	
6	Графічна частина роботи	11.11.22–25.11.22	
7	Перевірка керівником	26.11.22–02.12.22	
8	Перевірка на академічний плагіат	03.12.22	
9	Перевірка завідувачем кафедри, рецензування	04.12.22–07.12.22	

Дата видачі завдання \_\_\_\_\_ 01.09.2022 р. \_\_\_\_\_

Студент \_\_\_\_\_ Даніїл ГЛУБАКОВСЬКИЙ \_\_\_\_\_  
(підпис)

Керівник роботи \_\_\_\_\_ Віталій ПОСОШЕНКО \_\_\_\_\_  
(підпис)

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка кваліфікаційної роботи має: 54 с., 44 рис., 2 додатки, 30 джерел.

### ЗВУК, ШУМ, АУДІОФАЙЛ, ШУМОЗАГЛУШЕННЯ, ШУМОВИЙ ЗАТВОР, ПЛАГІН, СИСТЕМА ДИНАМІЧНОГО ШУМОЗАГЛУШЕННЯ

Об'єкт дослідження – аудіо-контент.

Предмет дослідження – програми, плагіни та електронні компоненти, що створені для зменшення шуму в аудіофайлах.

Мета кваліфікаційної роботи – проаналізувати, порівняти та провести дослідження із різними програмами, плагінами та електронними компонентами, які призначені для видалення шуму.

Методи дослідження – теоретичний аналіз, розробка документації, статистична обробка даних та різновидів програм, плагінів та електронних компонентів.

У даній роботі наведено огляд, порівняння, аналіз та класифікацію засобів, класифікацію аспектів застосування комп'ютерних технологій та електронних компонентів для видалення шуму із аудіофайлів, детальний аналіз принципів роботи та реалізації математичних методів, які застосовуються для зменшення, або видалення шуму в аудіофайлах, або в потоковому аудіо, на радіо-трансляціях та відео-трансляціях дослідження на тему ролі шумоподавлення в мультимедійній сфері, огляд методів та ключових аспектів використання засобів зменшення шуму, опис функціонування програм, плагінів та електронних компонентів, огляд впровадження засобів зменшення шуму при створенні аудіо-контенту.

## ABSTRACT

The explanatory note of the qualification work has: 54 p., 44 fig., 2 appendices, 30 sources.

SOUND, NOISE, AUDIO FILE, NOISE CANCELLATION, NOISE SHUTTER, PLUGIN, DYNAMIC NOISE CANCELLATION SYSTEM

The object of study is audio content.

Subject of research – programs, plug-ins and electronic components created to reduce noise in audio files.

The purpose of the qualification work is to analyze, compare and conduct research with various programs, plug-ins and electronic components that are designed to remove noise.

Research methods – theoretical analysis, documentation development, statistical processing of data and varieties of programs, plug-ins and electronic components.

This paper provides an overview, comparison, analysis and classification of means, classification of aspects of the use of computer technology and electronic components to remove noise from audio files, a detailed analysis of the principles of operation and implementation of mathematical methods used to reduce or remove noise in audio files, or in streaming audio, on radio broadcasts and video broadcasts of research on the role of noise suppression in the multimedia field, review of methods and key aspects of the use of noise reduction tools, description of the functioning of programs, plug-ins and electronic components, review of the introduction of noise reduction tools in the creation of audio content.

## ЗМІСТ

Перелік умовних позначень, символів, одиниць, скорочень і термінів.....	8
Вступ.....	9
1 АНАЛІЗ ОСНОВНИХ ПРИНЦИПІВ ШУМОЗАГЛУШЕННЯ.....	11
1.1 Шумовий затвор.....	11
1.2 Шумозаглушення.....	11
1.3 Принцип роботи шумового затвору.....	13
1.4 Використання шумового затвору.....	14
1.5 Особливості шумозаглушення.....	14
1.6 Співвідношення сигнал-шум.....	15
1.7 Використання шумозаглушення.....	15
1.8 Вимоги до зашумлених звукозаписів.....	16
2 ОГЛЯД ПОПУЛЯРНИХ ПЛАГІНІВ ВИДАЛЕННЯ ШУМУ.....	17
2.1 iZotope RX 10.....	17
2.1.1 Плагін Repair Assistant.....	18
2.1.2 Плагін Text Navigation.....	19
2.1.3 Виявлення декількох мікрофонів.....	19
2.1.4 Динамічний адаптивний режим De-Hum.....	20
2.1.5 Модернізоване спектральне відновлення.....	20
2.2 Плагін Waves Clarity Vx Pro.....	21
2.3 Плагін Acon Digital Extract: Dialogue.....	21
2.4 Плагін Sonnox Oxford De-Noiser.....	22
2.5 Програма Audacity.....	22
2.6 Плагін Bertom Audio Denoiser 2.....	23
2.7 Плагін Cockos ReaFIR.....	24
2.8 Рекомендовані інструменти Noise Gate.....	24
2.8.1 Oxford Drum Gate для барабанів.....	24
2.8.2 Універсальний FabFilter Pro G.....	25

2.8.3 Nembrini Audio Analog Rack Noise Gate.....	25
2.9 Причини шуму у записі.....	26
3 ДОСЛІДЖЕННЯ ЗМЕНШЕННЯ ЗВУКОВОГО ШУМУ ЗА ДОПОМОГОЮ ФІЛЬТРІВ НИЗЬКИХ ЧАСТОТ.....	27
3.1 Постановка задачі.....	27
3.1.1 Вибір фільтру.....	28
3.1.2 Фільтр низьких частот.....	29
3.1.3 Фільтри часової області.....	29
3.2 Визначення проблеми.....	31
3.3 Результати обробки.....	31
4 ДОСЛІДЖЕННЯ ШУМОЗАГЛУШЕННЯ У ПРОГРАМІ RESTORER.....	35
5 ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ ДИНАМІЧНОГО ШУМОЗАГЛУШЕННЯ.....	45
5.1 Принцип роботи системи.....	45
5.2 Слухове маскування.....	41
5.3 Реалізація системи СДШ.....	42
5.4 Принцип керування АЧХ.....	44
5.5 Тестування системи.....	47
Висновки.....	49
Перелік джерел посилань.....	51
ДОДАТКИ.....	55
Додаток А. Графічний матеріал.....	56
Додаток Б. Відомість кваліфікаційної роботи.....	71

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

Adobe Flash - Macromedia Flash або просто Flash;

AIR - Adobe Integrated Runtime;

HTML5 - HyperText Markup Language;

Rigging – Ріггінг;

SVG - Scalable Vector Graphics;

WebGL - Web-based Graphics Library;

ПК – Персональний Комп'ютер;

Volume – гучність, рівень сигналу

Time – час;

Threshold – порог шумоподавлення;

Input level – вхідний рівень;

Desired sound – цільовий звук;

Noise – шум, рівень шуму;

Output level – вихідний рівень;

Noise reduction – подавлення шуму;

AVG – середнє значення рівня;

Smoothing – згладжування.

## ВСТУП

При зборі вимірювань певних сигналів або процесів, фізичні обмеження часто лімують нашу здатність чисто вимірювати кількість необхідних даних - це називається шумом. Вчені визначали шум як будь-який вид небажаного збурення, будь то електричний, акустичний, вібраційний. В інженерії шум визначається як небажані доповнення до сигналів; Ці доповнення можуть, або будуть в цілому впливати на результат інженерного процесу.

Проблеми з шумом стають все більш нестримними через промислові революції 18-го століття. Це призвело до збільшення кількості промислового обладнання, такого як нагнітачі, вентилятори, трансформатори, компресори тощо. Механічна вібрація - ще один споріднений вид шуму, який зазвичай створює проблеми у всіх сферах транспортування і виробництва, а також з багатьма побутовими приладами.

Шумозаглушення, як випливає з назви, включає процедури та методи, які ми могли б використовувати для скасування шуму в системі. Це робиться шляхом введення відмінючої «антишумної» хвилі через вторинні джерела, які пов'язані між собою через електронну систему за допомогою певного алгоритму сигналу для конкретної схеми скасування.

У основному принципі шумозаглушення використовується поняття деструктивного втручання. Дивлячись на графік, якщо накладаються дві синусоїдальні хвилі, результуюча форма хвилі залежить від частоти і амплітуди. Якщо вихідна хвиля і обернена вихідна хвиля зустрічаються на стику, досягається повна відміна.

У наші дні ефективне спілкування має важливе значення, щоб не відставати від світу, що швидко розвивається, і ефективне голосове спілкування є одним з найважливіших з них. У пануючому середовищі шум псує мовні сигнали в дуже великій мірі, що іноді практично неможливо

відновити початкове передане голосове повідомлення. Цей шум зазвичай називають фоновим шумом, який впливає на розбірливість мовного сигналу.

Шум виникає у всіх аспектах інженерії, і цей проект буде зосереджений на акустичних шумах, які поширені в інженерії зв'язку. Акустичний або звуковий шум ускладнює прийом переданих повідомлення в системі зв'язку.

Поширеним методом оцінки сигналу, пошкодженого адитивним шумом, є пропускання його через фільтр, який має тенденцію зменшувати шум, залишаючи сигнал відносно незмінним. Ознакою таких фільтрів є область оптимальної фільтрації, яка виникла з новаторської роботи Вайнера і була посилена роботами Кальмана, Бьюкі та інших.

Аспект шумозаглушення в інженерній експлуатації має оптимальне значення через надійність хорошого зв'язку у всіх операціях інженерної системи.

Важливо використовувати методи шумозаглушення для усунення шуму з систем аудіозв'язку. Згодом шумозаглушення, також відоме як дослідження та розробки активного шумозаглушення (ANC), стало важливим напрямком як промислового застосування, так і інженерних досліджень.

## 1 АНАЛІЗ ОСНОВНИХ ПРИНЦИПІВ ШУМОЗАГЛУШЕННЯ

Незалежно від того, чи записуєте ви повну барабанну установку або маєте субоптимальний запис, який вам потрібно виправити, шум завжди є фактором, який нам потрібно враховувати.

Які відмінності між шумовим затвором і шумозаглушенням, і коли ви повинні їх використовувати?

### 1.1 Шумовий затвор

Шумовий затвор має на меті видалити небажаний шум в записі, залишаючи цільовий звук повністю недоторканим. Точніше, націлюючись лише на області, коли потрібний звук у вашому записі не відтворюється. Простіше кажучи: шумовий затвор заблокує всі небажані звуки.

Наприклад, мікрофон малого барабана, що записує деякі цимбали, томи та бас-бочку. Припустимо, що малий барабан є найгучнішою частиною запису. Ми б встановили поріг нашого плагіна або апаратного блоку, щоб дати йому звучати, і коли він не грає – нічого більше не чути.

Ви також можете використовувати шумовий затвор під час запису, щоб запобігти навіть появленню цих небажаних шумів. Однак ця техніка не рекомендується, оскільки ви можете в кінцевому підсумку зіпсувати потрібний звук, додавши спотворень.

Шумовий затвор – це потужний інструмент, який при правильному використанні значно покращить якість вашого звуку. На наведеній нижче (рис. 1.1) схемі «output level» – це те, що ви почуєте.

### 1.2 Шумозаглушення

Шумозаглушення чітко відрізняється від шумового затвору, оскільки ви найчастіше використовуєте його на субоптимальному записі з постійним або

«статичним» шумом. Як правило, цей процес націлений на весь запис. Як приклад можна привести подкаст з білим шумом або гудінням на всьому протязі.

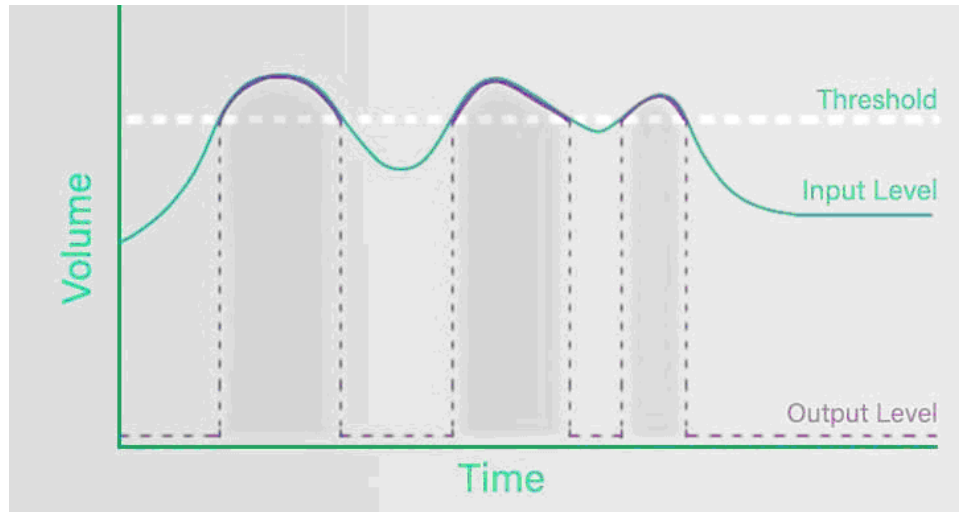


Рисунок 1.1 – Шумозаглушення за допомогою шумового затвору

Програма шумозаглушення або плагін потрібні для того, щоб знизити шум до такої міри, що він нечутний щодо гучності вимовлених слів. Ми робимо це, повідомляючи програмі, що вона повинна враховувати шум, а потім наказуючи програмі зменшити лише цей звук.

Можна також розглянути можливість закриття вікна або вимкнення вентилятора як зменшення шуму. Але, під шумозаглушенням буде матися на увазі процес видалення небажаного звуку із запису, саме тоді, коли присутній потрібний звук.

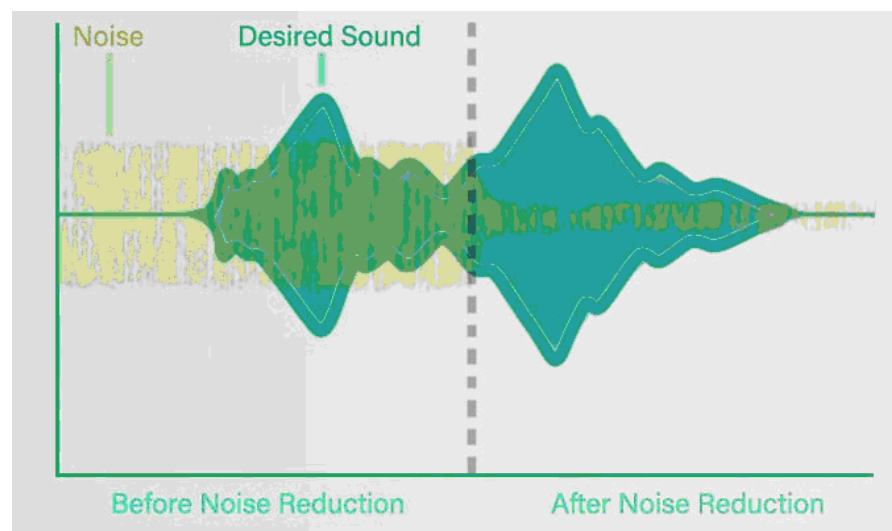


Рисунок 1.2 – Видалення шуму за допомогою шумового зразка

Зверніть увагу на рис. 1.2, як цей процес знижує шум, а потрібний звук по суті виявляється недоторканим.

### 1.3 Принцип роботи шумового затвору

Шумовий затвор працює, встановлюючи свої параметри для видалення небажаних ділянок в записі і дозволяючи грати потрібним частинам. Якщо затвор закритий – запис нечутний. Будь-який шумовий затвор, який варто використовувати, матиме чотири основні параметри, які ви можете налаштувати: поріг, атака, звільнення та «утримання» або підтримка.

#### Поріг.

Мабуть, найважливішим контролем є поріг. Скільки сигналу ми почуємо, визначається саме ним. Звук не пролунає, якщо він встановлений занадто високо, і якщо він встановлений занадто низько, не відбудеться зависання. Пошук правильного рівня для використання повністю залежить від гучності звукового сигналу. Вам потрібно буде трохи поекспериментувати, щоб знайти потрібне значення.

#### Атака.

Параметр атаки буде визначати швидкість, з якою відчиняються ворота. Звуки з природними перехідними процесами, як правило, використовують більш швидке налаштування, тоді як більш плавні звуки часто використовують більш повільне.

#### Звільнення.

Звільнення Випуск плагіна шумового змикання контролює, наскільки швидко або повільно закривається затвор. Більш повільний час виходу дозволить звуку згаснути природним шляхом, в той час як більш швидкий час виходу скоротить хвіст звуку. На що встановити звільнення, буде повністю залежати від аудіо і того, який ефект ви хочете.

#### Утримання.

Функція утримання визначає, як довго ворота залишатимуться

відкритими до набуття чинності функцією вивільнення. Хоча ця функція не настільки важлива, як інші, важливо зазначити, що встановлення утримання на більш високе значення дозволить звуку нижче набору пороги гучності наскрізь. Утримання може добре працювати для запису, який має високий динамічний діапазон.

#### 1.4 Використання шумового затвору

В ідеалі ви хочете використовувати шумовий затвор на будь-якому записі з небажаними шумами в ньому. Будь то звук, що розливається з навушників вокаліста, або ваші сусіди голосно говорять, шумовий затвор, який використовується правильно, різко поліпшить якість запису.

Ви побачите найкращі результати при використанні шумового затвору на «сухому» сигналі. тобто, перед тим, як розмістити такі ефекти, як реверберація або затримка, у вашому ланцюжку сигналу. Бувають випадки, коли ви можете використовувати ворота після ефектів, таких як реверберація, для управління хвостом реверберацій; або якщо запис має вбудовану в нього реверберацію.

Ви також можете використовувати плагін для заїкання, щоб досягти ефекту «заїкання». В цьому випадку ворота будуть ігнорувати сигнал і діяти за параметрами, заданими користувачем.

#### 1.5 Особливості шумозаглушення

Шумозаглушення працює за рахунок ослаблення небажаних шумів або звуків, які чутні одночасно із потрібним звуком. Воно може зменшити високочастотне шипіння, компонентне дзижчання, гул або навіть звук комп'ютерного вентилятора (як кілька прикладів) до того моменту, коли допустимо співвідношення сигнал-шум.

Щоб цей процес був ефективним, необхідний фрагмент в записі, де

присутній тільки шум, щоб програма могла правильно визначити, що вона повинна вважати шумом. Потім програма намагатиметься послабити лише цей звук для всього запису, що призведе до кращого співвідношення сигнал-шум.

Примітка: Цей процес може погіршити якість вашого звуку, оскільки він може послабити потрібні звуки, які мають той самий частотний діапазон, що й шум. Наприклад, високочастотні звуки рота, такі як «Ф», «Ч», «Щ», «Ш», «Х» і «С», будуть розділяти деякі частоти з шиплячим звуком.

Завжди треба бути уважним з цим процесом, і він частіше за все буде служити добре в повсякденних додатках.

## 1.6 Співвідношення сигнал-шум

Простіше кажучи, співвідношення сигнал-шум – це різниця між рівнем бажаних і небажаних звуків в записі або середовищі. Чим він вищий, тим краще.

Децибел (дБ) – це типова одиниця, яка використовується для вираження цього співвідношення, обчислюється, віднімаючи рівень шуму від рівня сигналу.

У реальних сценаріях ідеальне співвідношення практично недосяжне, оскільки в записі завжди буде певний ступінь шуму.

## 1.7 Використання шумозаглушення

Якщо в записі є звуковий шум, поки присутній потрібний звук, саме час подумати про використання шумозаглушення. Скажімо, ми записали якийсь чудовий вокал, але в процесі записали шумного сусіда. Якщо вентилятор занадто гучний, до такої міри, що його чути, поки вокаліст співає, співвідношення сигнал-шум неприпустимо.

Варіанти на цьому етапі – або перезапис, або використання

шумозаглушення.

«Постійні» шуми (наприклад, дзижчання або гул) – не єдині звуки, на які може націлитися шумозаглушення; Це також може зменшити «клацання» в роті або навіть гітарні «писки» (швидко ковзаючи пальцями по струнах).

### 1.8 Вимоги до зашумлених звукозаписів

«Виправлення» запису ніколи не є ідеальним, оскільки, очевидно, якість звуку має першорядне значення. Однак, якщо ви працюєте з подкастом, записом на мобільний телефон або будь-яким звуком нижчого рівня, нижче співвідношення сигналу до шуму – це частіше за все те, що ви будете отримати.

Як рішення, ми могли б використовувати шумозаглушення, щоб поліпшити якість звуку до такої міри, що співвідношення сигнал-шум є прийнятним. Припустимо, співвідношення сигнал-шум запису менше. У цьому випадку бажані звуки відносно м'якше, ніж шум, і запис втрачає свою якість.

Коли справа доходить до цього, потрібно зрозуміти: Який кінцевий пункт призначення запису? Це лейбл звукозапису? Можливо, це платформа для подкастингу? Або це просто для особистого користування? Відповідь допоможе визначити, чи можна мати у кінцевому результаті менш ніж бездоганну якість звуку.

## 2 ОГЛЯД ПОПУЛЯРНИХ ПЛАГІНІВ ВИДАЛЕННЯ ШУМУ

### 2.1 iZotope RX 10

Програма з відновлення звуку – поставляється з функціями, включаючи *ambience match*, *dialogue isolate*, *guitar de-noise*, *spectral recovery*, *wow & flutter control*, *dithering*, *de-click*, *de-crackle*, *de-hum*, *de-plosive*, *de-wind*, *de-reverb* та інші.

Ринок цього типу плагінів або програм наповнений варіантами. У розділі буде розглянуто кілька платних і безкоштовних варіантів.

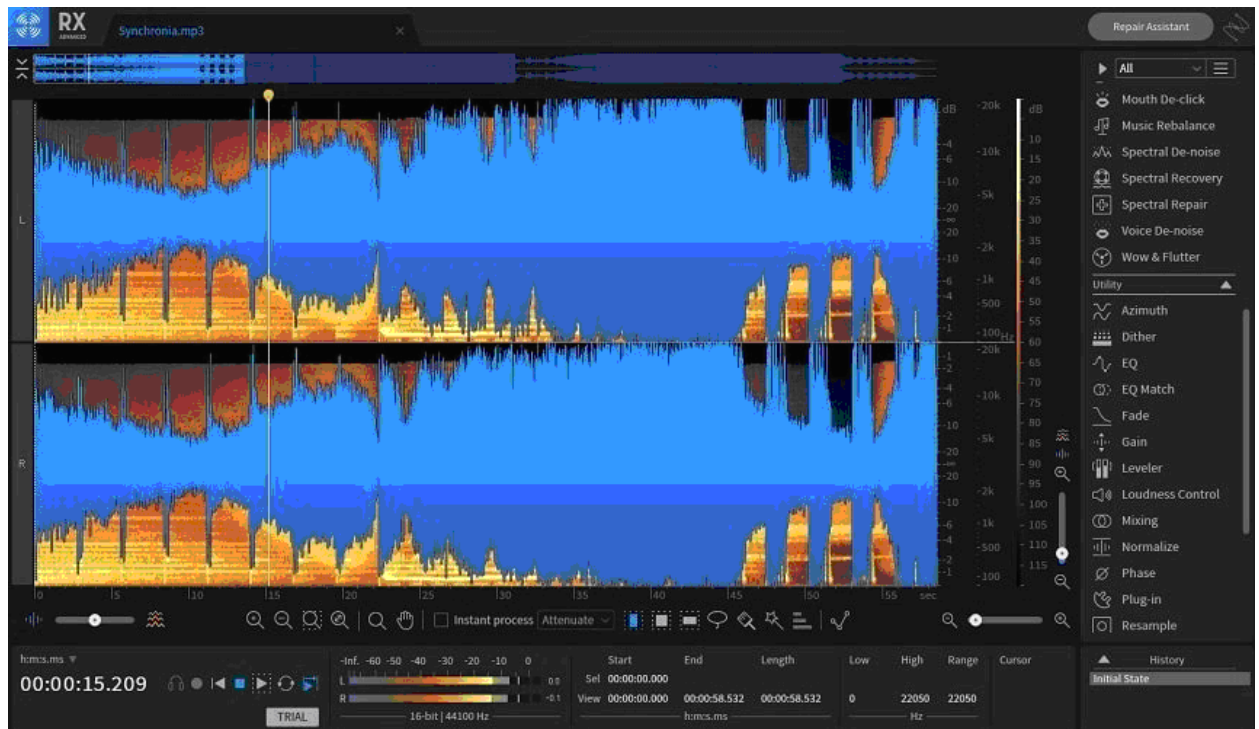


Рисунок 2.1 – iZotope RX 10

RX 10 Advanced – це відзначений нагородами набір для ремонту звуку, якому довіряють провідні інженери постпродакшну, яким потрібно швидко та надійно підготувати аудіо до професійного випуску. Траверс діалогових записів з новою функцією *Text Navigation*, яка генерує і відображає транскрипції мови, повторно синтезує відсутні частоти в записах з обмеженою пропускнуою здатністю з оновленим *Spectral Recovery* і

економить час на видалення небажаного гулу за допомогою нового динамічного адаптивного режиму в De-Hum – з багатоканальною підтримкою до Dolby Atmos 7.1.2.

Все ламається. Так само як і аудіо. Записаний звук рідко буває ідеальним – насправді, він часто знаходиться в дійсно поганій формі.

Побудований на десятиліттях досліджень iZotope, RX 10 є найбільш інтуїтивно зрозумілою та інтелектуальною версією, яку коли-небудь робив iZotope. Від аналізу проблем із захопленням звуку та виробництвом до надання рішень для обробки, RX прискорює ваш робочий процес редагування, рятує погані звукові процеси, які колись були нефіксованими, і забезпечує надійну чисту і якість звуку.

Окремі плагіни пакету iZotope.

### 2.1.1 Плагін Repair Assistant

Плагін Repair Assistant, використовує машинне навчання, щоб швидко знаходити та виправляти проблеми зі звуком, не виходячи з daw. Assistant автоматично розпізнає конкретні проблеми та інтелектуально пропонує ланцюжок ремонту, який ви можете змінити на свій смак за допомогою простих у використанні циферблатів. Цей плагін був створений з нуля, це більше, ніж просто оновлення попереднього помічника з ремонту.



Рисунок 2.2 – Плагін Repair Assistant

## 2.1.2 Плагін Text Navigation

Тепер можна бачити почуте за допомогою нової функції навігації по тексту. Він аналізує діалог і відображає транскрипцію тексту над спектрограмою, яка синхронізована з відповідним аудіо. Таким чином, тепер можна шукати конкретні слова в аудіофайлі, а також вибирати та редагувати запис за допомогою тексту.

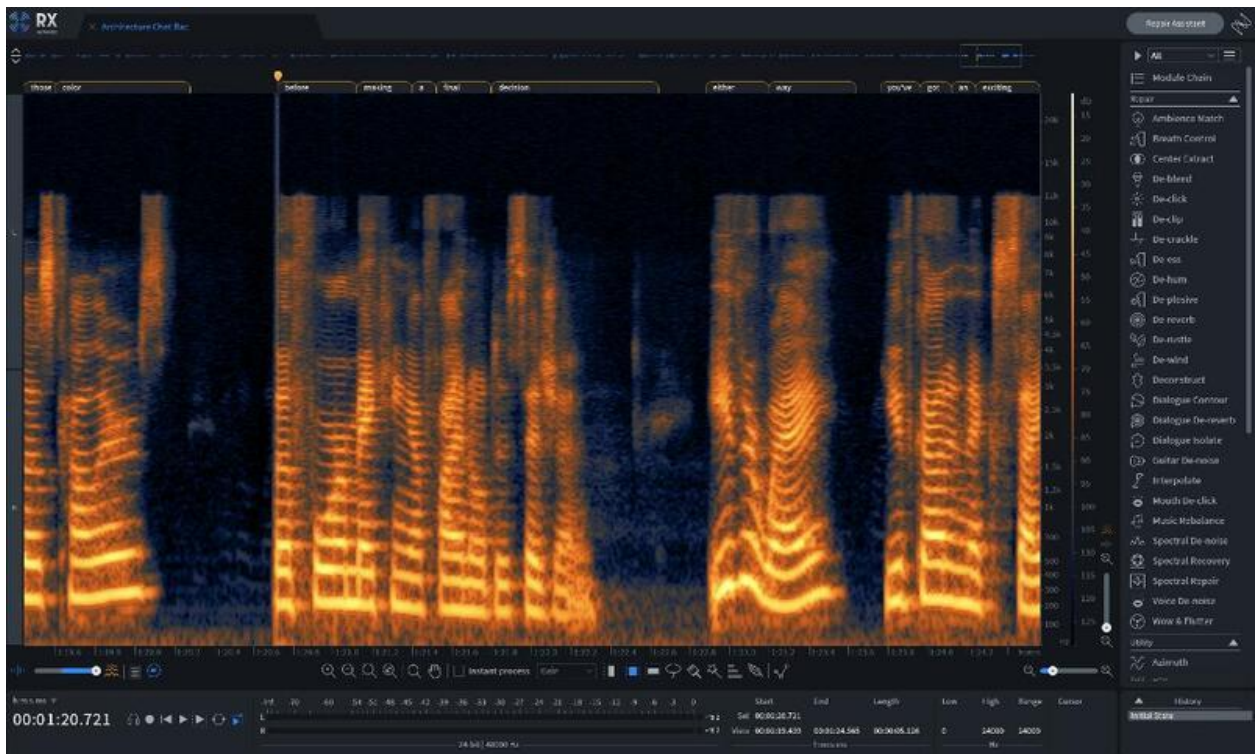


Рисунок 2.3 – Плагін Text Navigation

## 2.1.3 Виявлення декількох мікрофонів

При роботі над однією аудіодоріжкою з кількома особами, можна використати функцію виявлення кількох спікерів, щоб допомогти знайти та позначити розділи мовлення, пов'язані з кожним окремим голосом. Це неймовірно корисно, особливо коли різні голоси вимагають різної обробки.

### 2.1.4 Динамічний адаптивний режим De-Hum

De-Hum позбавляє від гулів і гудіння в процесі, не витрачаючи час на вивчення шумового профілю вашого аудіо. Усунення електромагнітних перешкод або інших складних шумів, які змінюють крок, можна зробити автоматично, не жертвуючи якістю.

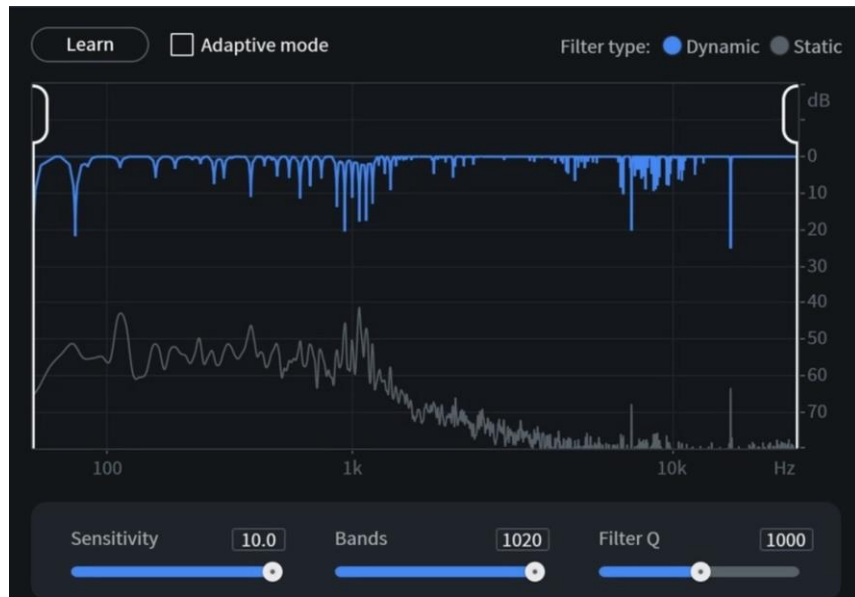


Рисунок 2.4 – Вікно плагіну De-Hum

### 2.1.5 Модернізоване спектральне відновлення

Якщо не вистачає у записі максимумів і мінімумів, Spectral Recovery може допомогти повернути життя до тонкого звучання звуку. Нова версія покращує якість пересинтезованих верхніх частот і тепер також може додавати відсутні нижні частоти.



Рисунок 2.5 – Вікно плагіну Spectral patching

## 2.2 Плагін Waves Clarity Vx Pro

Найдосконаліший плагін шумозаглушення на ринку зараз для вокалу з найкращою якістю та мінімумом артефактів і побічних ефектів.



Рисунок 2.6 – Вікно плагіну Clarity Vx Pro

## 2.3 Плагін Acon Digital Extract: Dialogue

Ексклюзивний дизайн для зменшення шуму в вокалі, Dialogue може ефективно зменшити будь-який шум під час інтерв'ю, подкастів або навіть співу. Цей плагін ідеально підходить, якщо ви не хочете занадто багато майструвати, оскільки він виконує більшу частину роботи за вас.



Рисунок 2.7 – Вікно плагіну Extract: Dialogue

## 2.4 Плагін Sonnox Oxford De-Noiser

Oxford De-Noiser має набагато більше практичний підхід. Все потрібно буде налаштувати вручну, щоб досягти бажаного результату. Зважаючи на це, ви можете вдаватися до хірургічного втручання, націлившись на конкретні типи шуму.



Рисунок 2.8 – Вікно плагіну Oxford De-Noiser

## 2.5 Програма Audacity

Audacity – це окрема програма, яка працює незалежно від вашої DAW. Хоча він не такий потужний, як деякі платні варіанти, він виконує роботу щодо зменшення шуму. Що стосується безкоштовних програм, Audacity є розумним вибором, якщо ваш бюджет дещо обмежений.

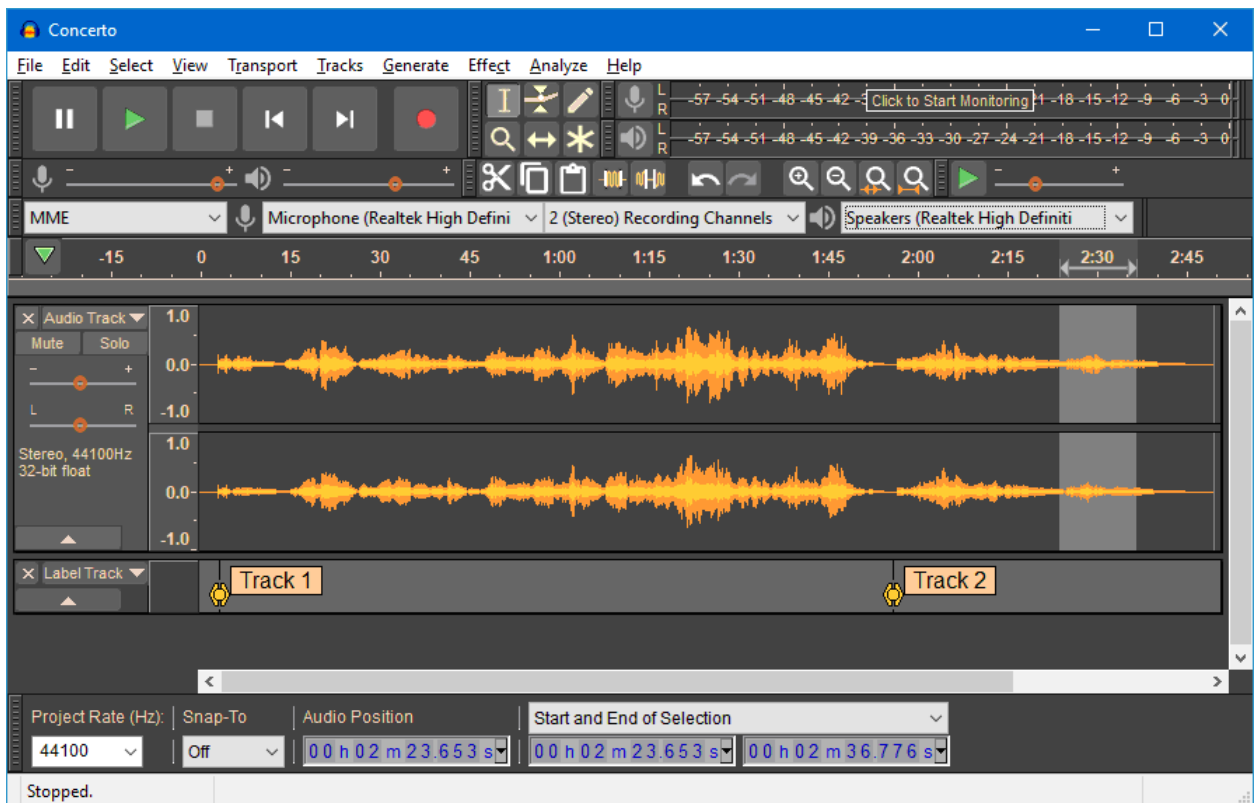


Рисунок 2.9 – Вікно програми Audacity

## 2.6 Плагін Bertom Audio Denoiser 2

Denoiser 2 – це плагін, розроблений спеціально для подкастів, пост-продакшну та музики. Він має простий у освоєнні інтерфейс із інтуїтивно зрозумілими зеленими вертикальними смугами, які показують вам зменшення рівня шуму.



Рисунок 2.10 – Вікно плагіну Denoiser 2

## 2.7 Плагін Cockos ReaFIR

ReaFIR – універсальний шумопоглинач, еквайзер і компресор. Цей плагін вимагає від вас створити профіль шуму, щоб він працював належним чином, і в цьому він схожий на Audacity. Він також споживає відносно низьку кількість ЦП, тому чудово підходить для ПК нижчого рівня.

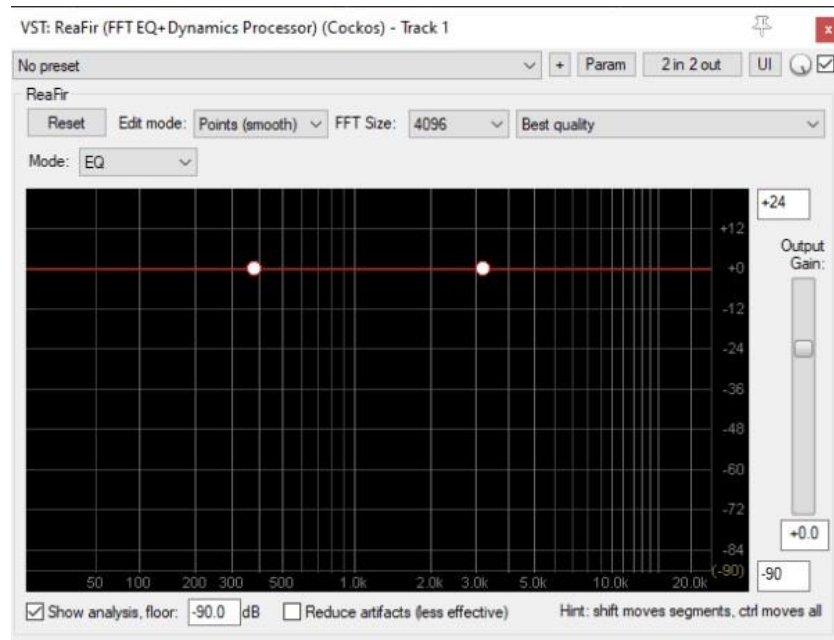


Рисунок 2.11 – Вікно плагіну ReaFIR

## 2.8 Рекомендовані інструменти Noise Gate

### 2.8.1 Oxford Drum Gate для барабанів

Плагін містить 3 вкладки – кожна вкладка складається з опцій, що стосуються окремої характеристики обробки барабанів.



Рисунок 2.12 – Вікно плагіну Drum Gate

## 2.8.2 Універсальний FabFilter Pro G

FabFilters Pro-G включає в себе всі функції, необхідні для розширеного стробування вашого сигналу. Від баса, вокалу та барабанів,

Pro G оснащений різними алгоритмами, моно, стерео або серединна / бічна обробка, регульовані параметри та низький рівень використання ЦП.



Рисунок 2.13 – Вікно плагіну Pro G

## 2.8.3 Nembrini Audio Analog Rack Noise Gate

Наймінімальніший, але ефективний плагін. Чудово підходить для мінімалістів, які не люблять багато налаштовувати.



Рисунок 2.14 – Вікно плагіну Analog Rack Noise Gate

## 2.9 Причини шуму у записі

Існує багато різних типів небажаного шуму, з якими ви можете зіткнутися у своїх записах; однак ми можемо розділити їх на дві основні категорії: зовнішні та внутрішні. Ці дві категорії розділені за тим, чи виникає шум всередині або поза вашою електронною установкою.

### Зовнішній шум.

Шум з'являється в аудіо з мікрофона. Незалежно від того, чи це гуркіт басів чи звуки вітру, усі ці зовнішні звуки мають одну спільну рису: усі вони виникають за межами вашого електронного обладнання.

### Внутрішній шум.

У аудіо, яке записано на мікрофон, з'являється шум, що не є фізично зафіксованим. Від контурів заземлення до несправних компонентів комп'ютера – виникають усі ці типи шуму у вашій електронній установці.

Щоб визначити внутрішній чи зовнішній шум присутній в записі, можна послухати реверберацію. Внутрішній шум матиме сухе звучання, тоді як зовнішній шум частіше матиме ехо та просторий характер.

Шумовий затвор спрямований на шум(и), які виникають під час пауз між потрібними звуками, а шумозаглушення спрямоване на шум, який виникає під час потрібних фрагментів запису.

### 3 ДОСЛІДЖЕННЯ ЗМЕНШЕННЯ ЗВУКОВОГО ШУМУ ЗА ДОПОМОГОЮ ФІЛЬТРІВ НИЗЬКИХ ЧАСТОТ

Дослідження було спрямоване на фільтрацію та видалення шуму з аудіо, і в цьому дослідженні я дотримувався описового аналітичного методу. Зразок дослідження складався з аудіофайлу та був збережений аудіо за формулою (WAV), і дослідження використовувало MATLAB 7.10.0 для читання звуку та розробки фільтра низьких частот, а потім вставлено аудіосигнал із сигналом шуму у фільтр. і виводити звуковий сигнал без шуму. Зроблено висновки, які відрізняються залежно від рангу фільтра. Фільтр низьких частот чудово впливає на видалення шуму під час процесу реєстрації разом із часом впровадження.

#### 3.1 Постановка задачі

З розвитком комунікаційних технологій голосовий зв'язок став основним комунікаційним засобом для більш зручної передачі інформації [11]. Система аудіошумозаглушення – це система, яка використовується для видалення шуму з аудіосигналів. Аудіосистеми шумозаглушення можна розділити на два основних підходи.

Перший підхід – це додатковий тип, який передбачає стиснення аудіосигналу певним чином перед його записом (переважно на плівку). Під час відтворення [12] , наступне додаткове розширення аудіосигналу, яке відновлює початковий динамічний діапазон, водночас має ефект підштовхування відтвореного шуму стрічки (доданого під час запису) нижче максимального рівня сигналу – і, нижче порогу слуху. Другий підхід – це односторонній або некомплементарний тип, який використовує методи зменшення рівня шуму, який уже присутній у вихідному матеріалі – система зменшення шуму лише відтворення.

### 3.1.1 Вибір фільтру

Фільтри – це мережі, які обробляють сигнали залежно від частоти. Основну концепцію фільтра можна пояснити, вивчивши частотно-залежний характер імпедансу конденсаторів і котушок індуктивності. Розглянемо ділянку напруги, де шунтуюча ніжка є реактивним опором. Зі зміною частоти змінюється значення реактивного опору, а також змінюється коефіцієнт подільника напруги. Цей механізм дає залежну від частоти зміну функції передачі вхід/вихід, яка визначається як частотна характеристика [13]. Фільтри мають багато практичних застосувань. Простий однополюсний фільтр низьких частот (інтегратор) часто використовується для стабілізації підсилювачів шляхом зменшення підсилення на вищих частотах, де надмірний зсув фази може спричинити коливання. Простий однополюсний високочастотний фільтр можна використовувати для блокування зміщення постійного струму в підсилювачах з високим коефіцієнтом підсилення або одиничних схемах живлення [14] (таблиця 3.1).

Таблиця 3.1 – Тип фільтра та призначення.

Фільтр	Мета
Фільтр низьких частот	Пропускає низькочастотний діапазон
Фільтр високих частот	Пропускає високочастотний діапазон
Смуговий фільтр	Проходить обраний діапазон частот
Режекторний фільтр	Не пропускає вибраний діапазон частот

Існує два види фільтрів:

- 1) Фільтр скінченної імпульсної реакції (FIR).
- 2) Фільтр нескінченної імпульсної реакції (IIR).

FIR-фільтри мають наступні переваги перед IIR-фільтрами:

- 1) Вони можуть мати точну лінійну фазу.
- 2) Вони завжди стабільні.
- 3) Методи проектування, як правило, лінійні.
- 4) Вони можуть бути ефективно реалізовані в апаратному забезпеченні.
- 5) Перехідні процеси запуску фільтрів мають кінцеву тривалість [14].

### 3.1.2 Фільтр низьких частот

Для різних фільтрів низьких частот існує різне ослаблення частоти в кожному сигналі. При використанні в аудіопрограмах іноді його називають фільтром пропускання високих частот [15]. Застосування фільтра низьких частот в обробці сигналу рівноцінно ефекту інших областей. Існує багато типів фільтрів низьких частот; найпоширенішим є фільтр Баттерворта та фільтр Чебишева (рисунок 3.1).

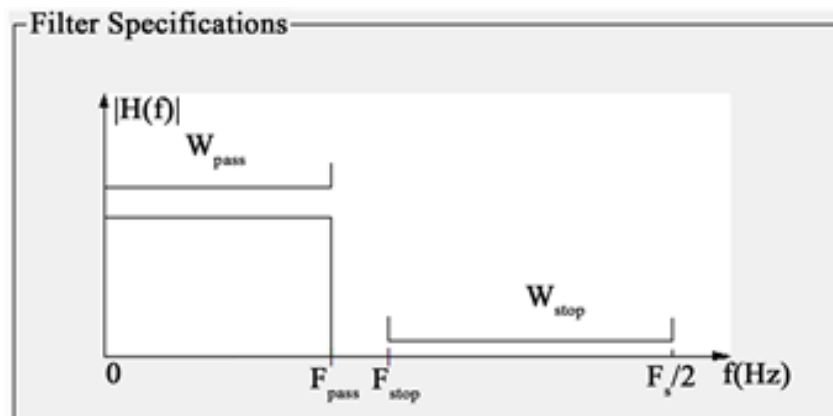


Рисунок 3.1 – Специфікації фільтра низьких частот

### 3.1.3 Фільтри часової області

Фільтри зі скінченною імпульсною характеристикою (FIR). Фільтр із скінченною імпульсною характеристикою (FIR) – це фільтр, у якому вихідний сигнал стає нульовим за деякий кінцевий проміжок часу.

Фільтри з нескінченною імпульсною характеристикою (ІІР). Фільтр з нескінченною імпульсною характеристикою (ІІР) може працювати протягом довільно тривалого періоду часу, і його вихід ніколи не скидається на нуль. Різниця між двома типами фільтрів полягає в тому, що ІІР-фільтр є рекурсивним; тобто ІІР-фільтр візьме свій попередній вихід і використовуватиме його як вхід для наступного виходу, тоді як FIR-фільтр прийматиме як вхід, поточну вибірку на додаток до деякої попередньої вибірки.

Іншими словами, ІІР-фільтр має внутрішній зворотний зв'язок, а FIR-фільтр – ні (рисунок 3.2 і рисунок 3.3 ).

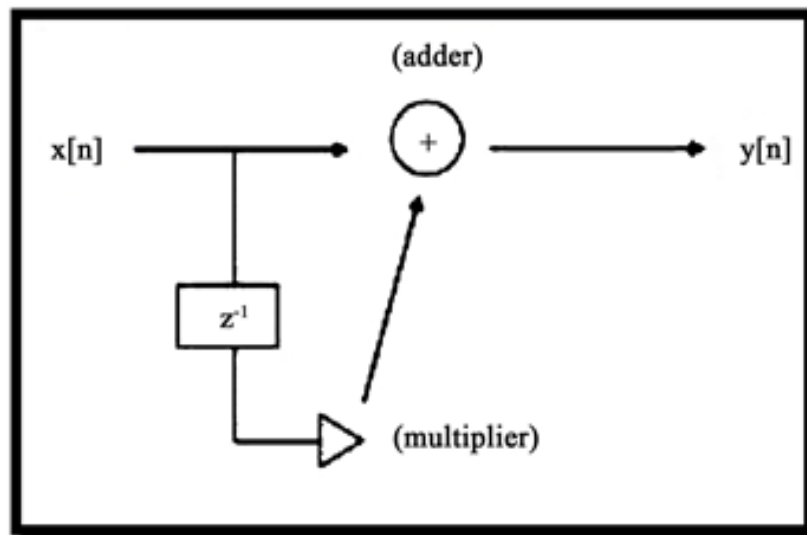


Рисунок 3.2 – FIR-фільтр

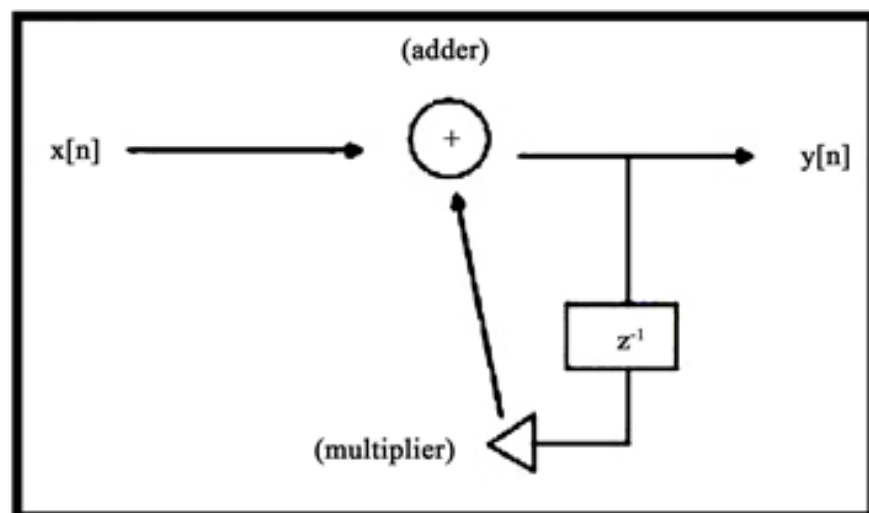


Рисунок 3.3 – ІІР-фільтр

### 3.2 Визначення проблеми

Метою дослідження є зменшення шуму від звукового сигналу, припускаючи, що ми маємо корисний голосовий сигнал, пов'язаний із певним матеріалом, і є сигналом звуку шуму по всій хвилі звукового сигналу, а  $V$  розподіляється з Шум або пов'язаний з ним шум, проблема дослідження полягає в тому, щоб зменшити шум або Шум, пов'язаний зі звуковим сигналом, можна досягти за допомогою фільтра низьких частот. Цей фільтр може передбачати звук, доданий до основного звуку, і очищає шум (рисунок 3.4).

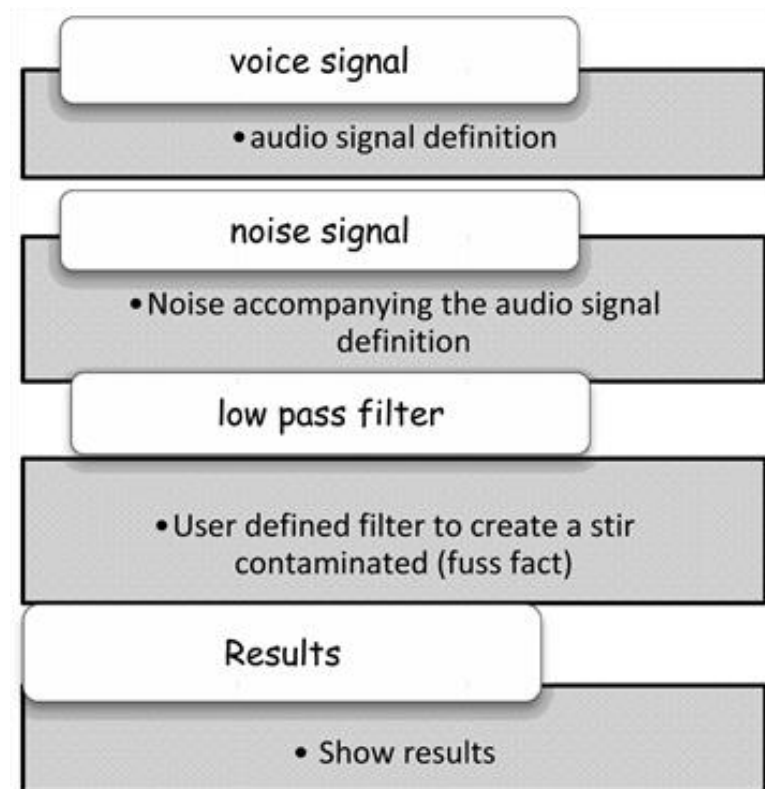


Рисунок 3.4 – Визначення проблеми

### 3.3 Результати обробки

Про це свідчить реалізація результатів роботи. Представлено інший рисунок, який показує, як обробляються сигнали та як працюють системні інструменти в MATLAB (рисунки 3.5 – 3.11).

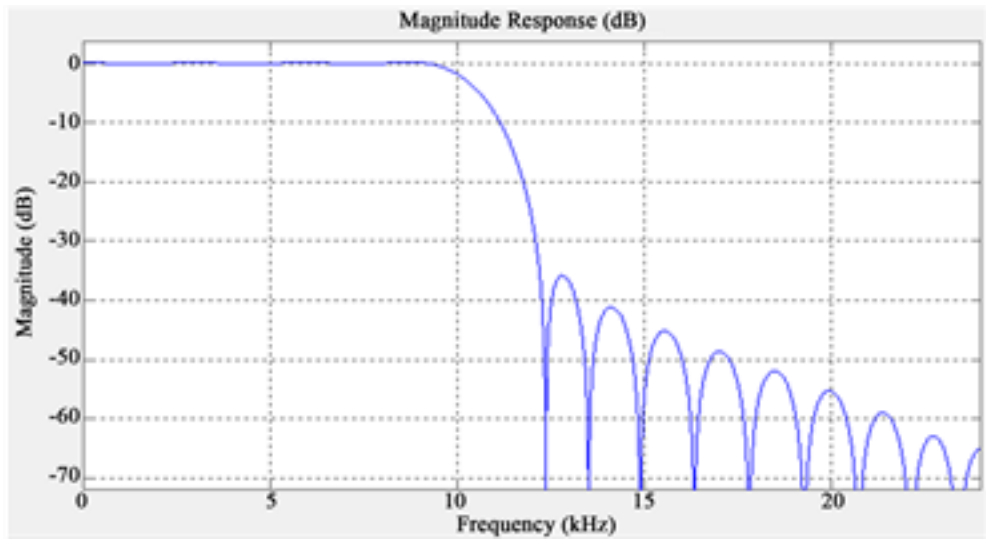


Рисунок 3.5 – АЧХ фільтру

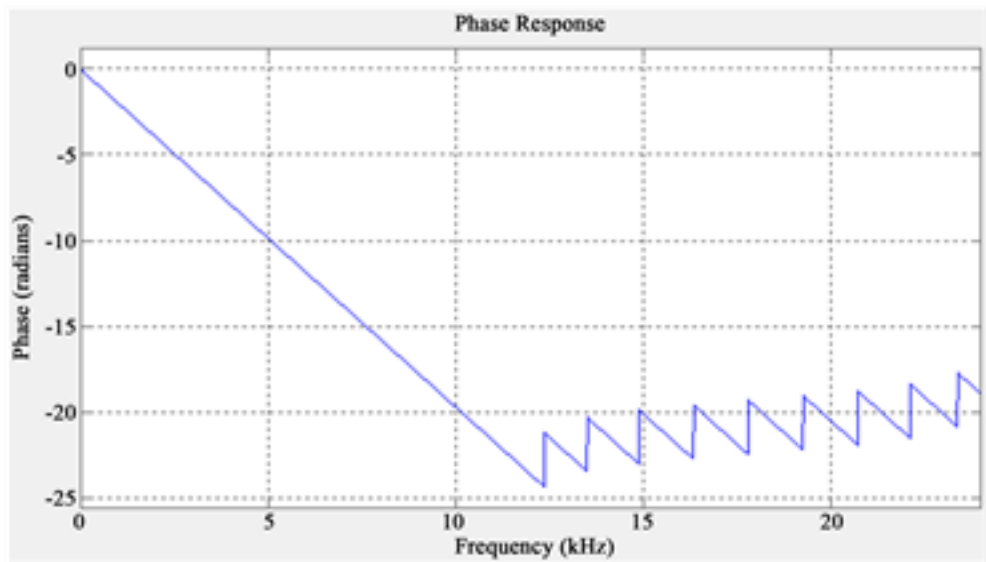


Рисунок 3.6 – ФЧХ фільтру

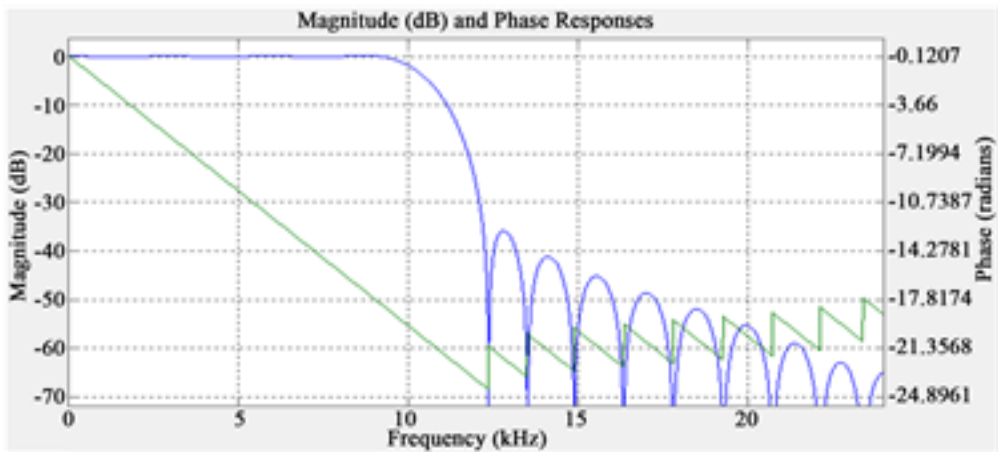


Рисунок 3.7 – АЧХ фільтру (дБ)

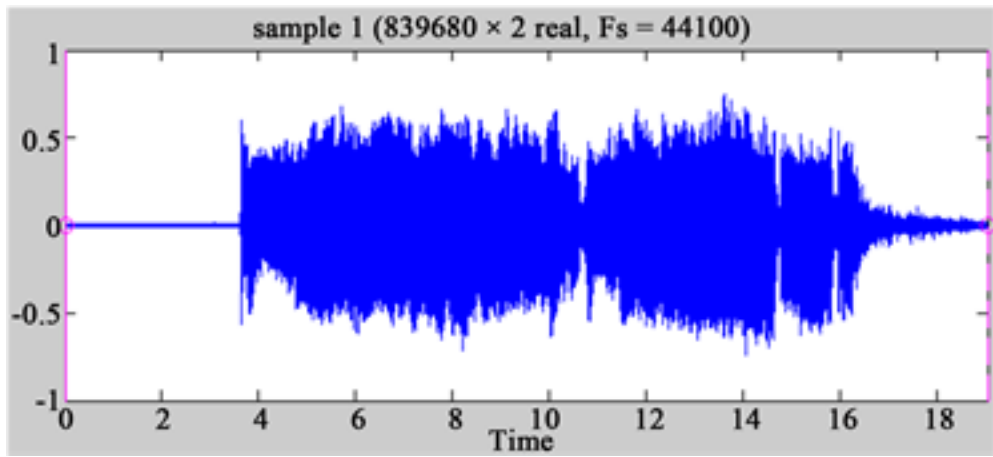


Рисунок 3.8 – Зразок сигналу з шумом 1

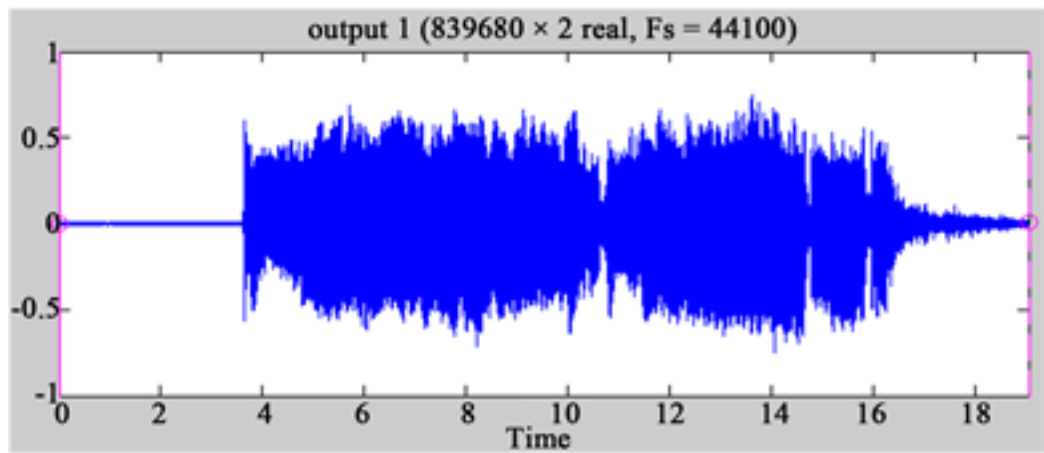


Рисунок 3.9 – Зразок безшумного сигналу 1

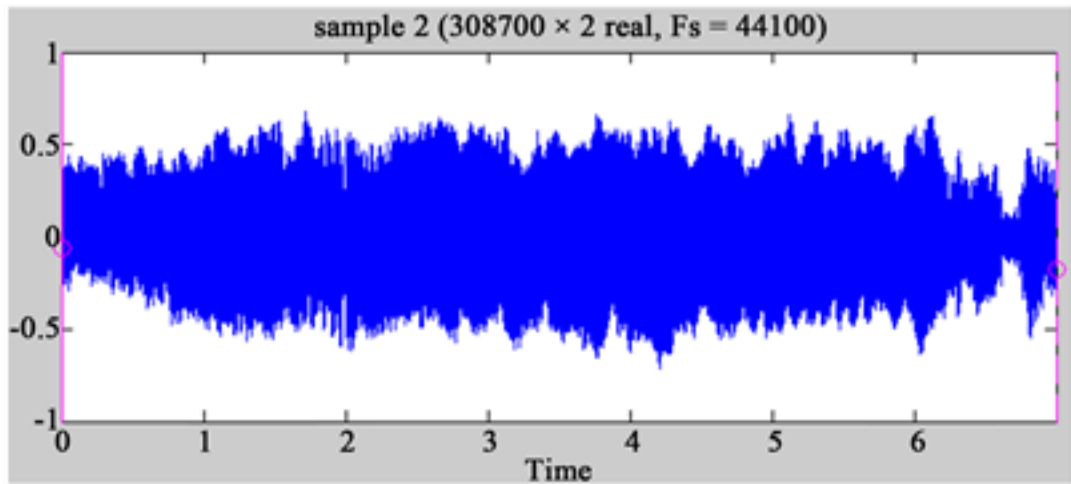


Рисунок 3.10 – Зразок сигналу з шумом 2

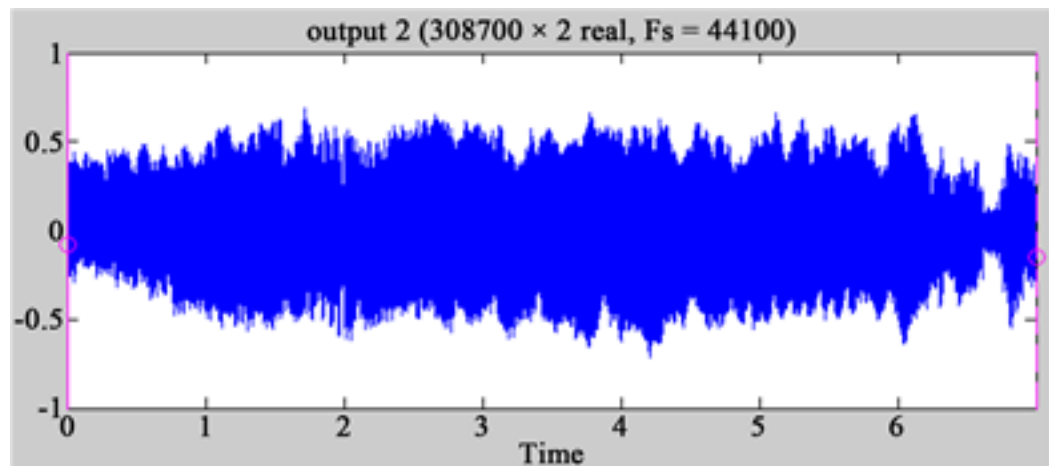


Рисунок 3.11 – Зразок безшумного сигналу 2

У цьому розділі зразок звуку було взято у форматі wav. Зразок звуку проходив через фільтр низьких частот, де після зменшення шуму отримували новий аудіосигнал, фільтр низьких частот, який використовується для зменшення шуму від сигналів з різною частотою та коефіцієнтом пульсацій. Ці фільтри виконують операції фільтрації шляхом обчислення різницевих рівнянь. Наведено коефіцієнтне рівняння та функцію фільтра низьких частот. Прості формули проектування для різних еквалайзерів призводять до ефективних реалізацій для додатків фільтрів, що змінюються в часі.

## 4 ДОСЛІДЖЕННЯ ШУМОЗАГЛУШЕННЯ У ПРОГРАМІ RESTORER

Фоновий шум є найпоширенішим фактором, що погіршує якість і зрозумілість мови в записах. Модуль шумозаглушення має намір знизити рівень шуму, не впливаючи на якість мовного сигналу. Даний модуль заснований на спектральному відніманні, що виконується незалежно в діапазонах частот, що відповідають слуховим критичним смугам.

Метод спектрального віднімання є простим і ефективним методом шумозаглушення. У цьому методі середній спектр сигналу і середній спектр шуму оцінюються в частинах запису і віднімаються один від одного, завдяки чому поліпшується середнє співвідношення сигнал-шум (SNR). Передбачається, що сигнал спотворюється широкополосним, стаціонарним, адитивним шумом, оцінка шуму однакова при аналізі і відновленні і фаза однакова в вихідному і відновленому сигналі.

Гучний сигнал  $y(m)$  – це сума шуканого сигналу  $x(m)$  і шуму  $n(m)$ :

$$y(m) = x(m) + n(m).$$

У частотній області це може позначатися як:

$$Y(j\omega) = X(j\omega) + N(j\omega) \Rightarrow X(j\omega) = Y(j\omega) - N(j\omega).$$

де  $Y(j\omega)$ ,  $X(j\omega)$ ,  $N(j\omega)$  – перетворення Фур'є  $y(m)$ ,  $x(m)$ ,  $n(m)$  відповідно.

Статистичні параметри шуму не відомі, тому шум і мовний сигнал замінюються їх оцінками:

$$\hat{X}(j\omega) = Y(j\omega) - \hat{N}(j\omega).$$

Оцінка спектру шуму пов'язана з очікуванням спектром шуму, який зазвичай розраховується з використанням усередненого за часом спектра шуму, взятого з частин запису, де присутній лише шум. Оцінку шуму дають:

$$\hat{N}(j\omega) = \mathbf{E} [|N(j\omega)|] \cong |\bar{N}(j\omega)| = \frac{1}{K} \sum_{i=0}^{K-1} |N_i(j\omega)|$$

де  $\mathbf{E} [|N(j\omega)|]$  – амплітудний спектр  $i$ -го з  $K$  кадрів шуму. Оцінку шуму в  $k$ -му кадрі можна отримати шляхом фільтрації шуму за допомогою фільтра низьких частот першого порядку:

$$\hat{N}_k(j\omega) = |\tilde{N}_k(j\omega)| = \lambda_n \cdot |\tilde{N}_{k-1}(j\omega)| + (1 - \lambda_n) \cdot |N_k(j\omega)|$$

де  $|N_i(j\omega)|$  – згладжена оцінка шуму в  $i$ -му кадрі,

$\lambda_n$  – коефіцієнт фільтрації ( $0,5 \leq \lambda_n \leq 0,9$ , деякі автори використовують значення  $0,8 \leq \lambda_n \leq 0,95$ ).

Для отримання оцінки шуму слід проаналізувати частину запису, що містить тільки шум, що передує частині, що містить мовний сигнал (довжина аналізованого фрагмента повинна бути не менше 300 мс). Для досягнення цього доводиться використовувати додатковий детектор мовлення.

Похибка спектрального віднімання може бути визначена як:

$$\varepsilon = \underset{\text{def}}{\hat{X}(j\omega)} - X(j\omega)$$

Ця помилка погіршує якість сигналу, вводячи спотворення, відомі як залишковий шум або музичний шум. Похибка є функцією очікуваної або середньої оцінки спектра шуму:

$$\varepsilon = N(j\omega) - \mathbf{E} [|N(j\omega)|] \cong |\bar{N}(j\omega)| - \mathbf{E} [|N(j\omega)|]$$

Тому чим довше в аналізі використовується шумова секція, тим точніше оцінка шуму.

Співвідношення сигнал-шум може бути визначено в частотній області як SNR апіорі (для чистого сигналу) або SNR a posteriori (для галасливого сигналу). SNR в k-му кадрі задається:

$$SNR_k^{a\ priori}(\omega) \stackrel{\text{def}}{=} \frac{|X_k(j\omega)|^2}{|N_k(j\omega)|^2}, \quad SNR_k^{a\ posteriori}(\omega) \stackrel{\text{def}}{=} \frac{|Y_k(j\omega)|^2}{|N_k(j\omega)|^2}.$$

В процесі відновлення чистий сигнал невідомий, звідси доводиться оцінювати апіорне значення SNR. Використовуючи модель Гауса, оптимальний SNR в k-му кадрі може бути визначений як:

$$\overline{SNR}_k^{a\ priori}(\omega) = (1 - \eta) \cdot P(SNR_k^{a\ posteriori}(\omega) - 1) + \eta \cdot \frac{|\hat{X}_{k-1}(j\omega)|^2}{\text{var}(N_{k-1}(j\omega))},$$

$$SNR_k^{a\ posteriori}(\omega) = \frac{|Y_k(j\omega)|^2}{\text{var}(N_k(j\omega))},$$

де

$$P(x) = \begin{cases} x & ; \text{for } x \geq 0 \\ 0 & ; \text{otherwise} \end{cases},$$

$\text{var}(N_{k-1}(j\omega))$  – дисперсія спектра шуму в попередньому кадрі,  $\varepsilon$  оцінкою відновленого сигналу і  $\eta$  постійною ( $0,9 < \eta < 0,98$ ).

Дисперсія зазвичай замінюється спектральною потужністю оцінки шуму:

$$\overline{SNR}_k^{a\ priori}(\omega) = (1 - \eta) \cdot P(SNR_k^{a\ posteriori}(\omega) - 1) + \eta \cdot \frac{|\hat{X}_{k-1}(j\omega)|^2}{|\hat{N}_k(j\omega)|^2},$$

$$SNR_k^{a\ posteriori}(\omega) = \frac{|Y_k(j\omega)|^2}{|\hat{N}_k(j\omega)|^2}.$$

Алгоритм розрахунку усередненої оцінки шуму показано на рис.4.1.

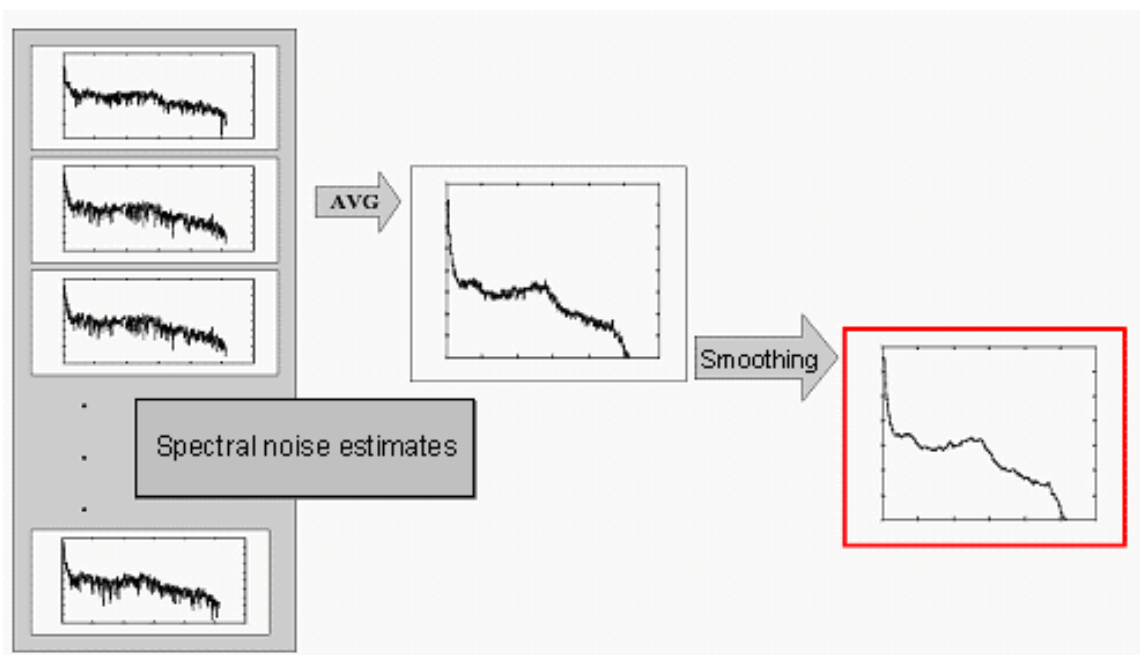


Рисунок 4.1 – Алгоритм розрахунку усередненої оцінки шуму

Перед початком процесу відновлення в головному вікні програми Restorer повинна бути виділена частина запису, що містить тільки шуми (не коротше 1 секунди). Вікно модуля шумозаглушення дозволяє користувачеві встановити понижуючий коефіцієнт  $\gamma$  в кожному з 11 діапазонів частот і коефіцієнт згладжування  $\lambda$ .

Починати обробку рекомендується з установки всіх понижуючих коефіцієнтів на середнє значення.

Алгоритм методу спектрального віднімання показано на рис.4.2.

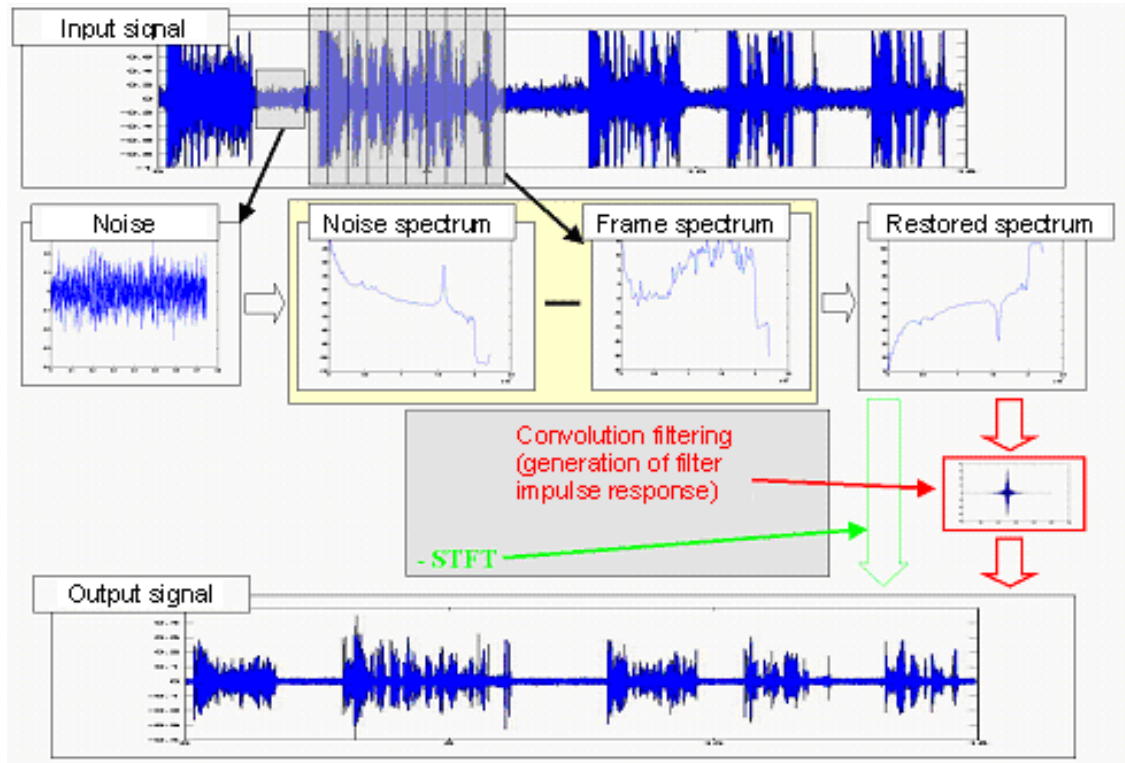


Рисунок 4.2 – Алгоритм методу спектрального віднімання

Під час відновлення понижуючі коефіцієнти повинні бути зменшені в смугах, де мовний сигнал стає спотвореним і збільшеним в смугах, де рівень шуму занадто високий.

## 5 ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ ДИНАМІЧНОГО ШУМОЗАГЛУШЕННЯ

### 5.1 Принцип роботи системи

Шумозаглушення є важливим процесом в будь-яких схемах аудіозастосування. Однією з систем, що використовуються для зниження звукового шуму, є СДШ або "система динамічного шумозаглушення", яка являє собою однокінцевий або некомплементарний підхід зниження небажаних сигналів.

СДШ може запропонувати до 14 дБ шумозаглушення в стереопрограмному матеріалі і використовується, коли вихідний матеріал жодним чином не закодований і має відчутний шум. До вихідних матеріалів відносяться радіо- і телепередачі, більшість відеокасет і, звичайно ж, старі аудіокасетні записи і диски. СДШ стала популярною, оскільки не вимагає ніякого кодування і, крім того, може працювати з будь-яким джерелом звуку.

Які два принципи використовуються в цій системі для зменшення шуму у ваших аудіосигналах?

Робота СДШ залежить від двох принципів; що звуковий шум пропорційний пропускній здатності системи – зменшення пропускної здатності зменшує шум (обмеження пропускної здатності) – і що потрібний сигнал здатний "маскувати" шум, коли співвідношення сигналу до шуму досить високе (слухове маскування).

Подальше обговорення: СДШ автоматично і безперервно змінює пропускну здатність системи у відповідь на амплітуду і частотний зміст програми. Обмеження пропускної здатності до менш ніж 1 кГц зменшує звуковий шум до 14 дБ (зважений), а спеціальний фільтр спектрального зважування на шляху управління забезпечує постійне збільшення пропускної здатності в достатній мірі для проходження будь-якої музики, яка може бути присутня. Через таку здатність аналізувати слухові маскувальні якості

програмного матеріалу СДШ не вимагає кодування джерела якимось особливим чином для отримання шумозаглушення.

Якщо передбачається, що шум нашої системи викликається виключно резистивними джерелами, то амплітуда шуму буде рівномірною по смузі частот.

Загальний або агрегатний рівень шуму дається знайомою формулою:

$$\bar{\epsilon}_{NT} = \sqrt{4KTBR}$$

де  $K$  – стала Больцмана;

$T$  – абсолютна температура;

$B$  – пропускна здатність;

$R$  – опір джерела.

Це показує, що загальний шум, а отже, і співвідношення  $S/N$ , прямо пропорційний квадратному кореню пропускної здатності системи. Це означає, що якщо пропускна здатність контролюється до меншого значення, то меншим також буде значення нашого загального шуму. Обмеження пропускної здатності виходить за допомогою пари підібраних фільтрів низьких частот.

## 5.2 Слухове маскування

Обмеження пропускної здатності системи до менш ніж 1 кГц з метою зниження рівня шуму буде не дуже задовільним, якщо програмний матеріал буде аналогічним чином обмежений. Ось тут і з'являється другий принцип дії СДШ, що всякий раз, коли лунає звук, він знижує здатність слухача чути інший звук. Це явище відоме як слухове маскування. Це відбувається за рахунок збільшення системного співвідношення  $S/N$ , що дає можливість

потрібному сигналу «маскувати» або прикривати слабші шумові сигнали. Це робить шум нечутним для вух слухачів.

Слухове маскування зазвичай отримують в ланцюзі траєкторії управління і стадії детектора СДШ. Ці схеми повинні вміти користуватися характеристиками людського вуха, щоб не виникало спотворення звукового сигналу або розмаскування. Зазвичай музику та мову, з високою концентрацією енергії близько 1 кГц, можна розглядати як відмінні джерела шумомаскування – до 30 дБ ефективніше, ніж поодинокі тони.

Тому записані сигнали на середньому рівні 40-45 дБ SPL дозволять використовувати повну пропускну здатність аудіо без чутного шуму. Рівень сигналу, нижчий за цей, може забезпечити адекватне маскування, особливо якщо джерело використовує стиснення динамічного діапазону (наприклад, FM-мовлення).

### 5.3 Реалізація системи СДШ

Структурна схема, що показує основний формат LM1894, представлена на рис. 5.1.

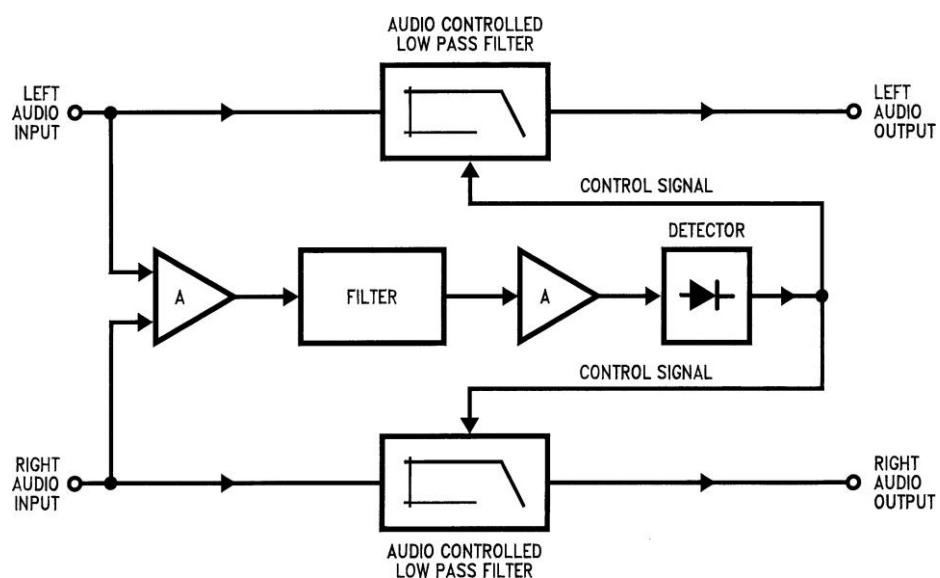


Рисунок 5.1 – Структурна схема системи стерео шумозаглушення (СДШ)

Це стереосистема з аудіосигналами лівого і правого каналів, кожен з яких обробляється фільтром низьких частот керованої відсікання ( $f_{-3\text{ dB}}$ ).

Частота відсікання фільтра може безперервно і автоматично регулюватися між 800 Гц і 35 кГц сигналом, розробленим на шляху управління.

Обидва аудіовходи сприяють сигналу шляху управління і використовуються для активації пікового детектора, який, в свою чергу, змінює частоту відключення аудіофільтрів.

Фільтри звукового шляху управляються одним і тим же сигналом для однаково підібраних пропускних здатностей, щоб підтримувати стабільне стереозвучання.

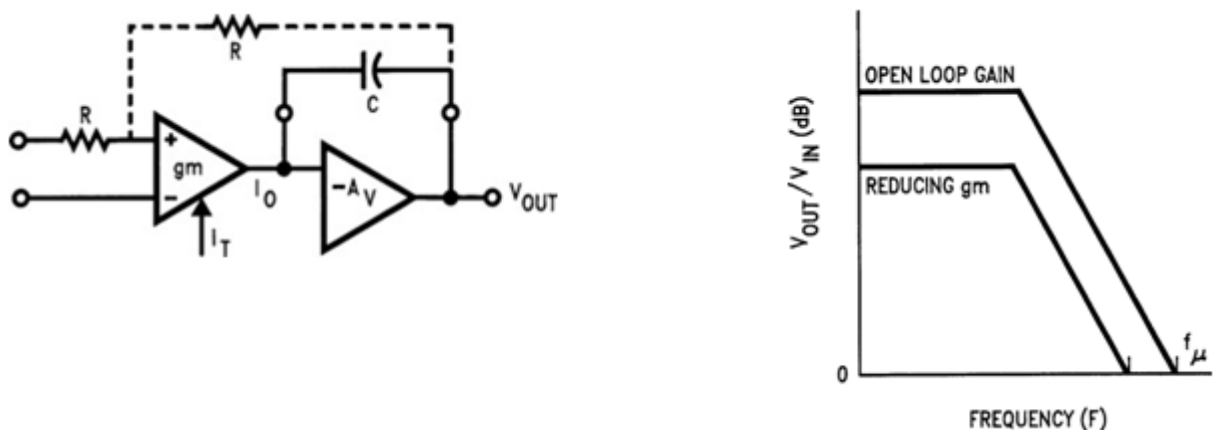


Рисунок 5.2 – Змінний lowpass фільтр та його АЧХ

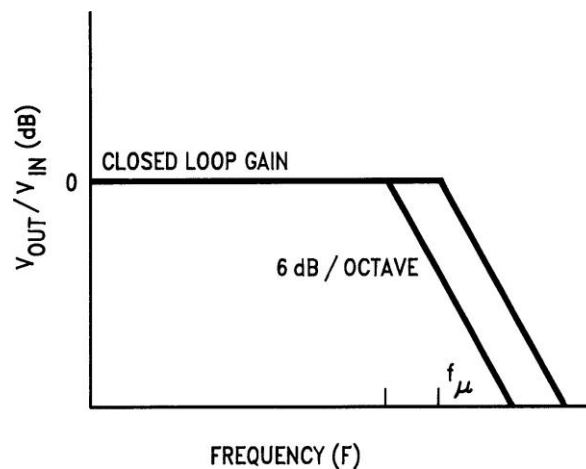


Рисунок 5.3 – Змінна АЧХ фільтру

## 5.4 Принцип керування АЧХ

Мета кола управління полягає в тому, щоб смуга пропускання звуку завжди була досить широкою, щоб передавати потрібний сигнал, але при відсутності цього сигналу буде зменшуватися досить швидко, щоб присутній шум також не став чутним. Для цього шлях управління повинен розпізнавати маскувальні якості джерела сигналу, а стадія детектора повинна вміти скористатися характеристиками людського вуха, щоб не відбувалося спотворення звукового сигналу або демаскування.

На рис. 5.4 представлена структурна схема шляху управління з урахуванням зовнішніх компонентів. Прямолінійний підсилювач підсумовування об'єднує входи лівого і правого каналів і виконує роль буферного підсилювача для управління посиленням. Оскільки рівень шуму для джерел сигналу може бути різним – касети знаходяться від  $-50$  дБ до  $-65$  дБ (залежно від того, чи використовується Dolby B encoding), а шум FM-мовлення становить близько  $-45$  дБ до понад  $-75$  дБ (залежно від сили сигналу) – коефіцієнт посилення траєкторії управління регулюється таким чином, що шумовий вхід здатний просто збільшити пропускну здатність аудіо від мінімального значення. Це гарантує, що будь-який програмний матеріал вище рівня шуму збільшує пропускну здатність звуку, щоб матеріал проходив без спотворень. Установка потенціометра (або еквівалентної пари резисторів) буде більш детально описана далі.

Потенціометр контролю посилення  $g$  також є частиною характеристики фільтра СДШ, отриманої з міркувань слухового маскування ([SNAA089](#)). У поєднанні з конденсатором зв'язку  $0,1 \mu\text{F}$  загальний опір потенціометра викличе загасання сигналу нижче  $1,6$  кГц.

$$f_1 = \frac{1}{2\pi RC} = \frac{1}{2\pi \times 10^3 \times 0,1 \times 10^{-6}} = 1,6 \text{ kHz}$$

Це допомагає запобігти сигналам з високою амплітудою, але без вмісту високої частоти вище 1 кГц – наприклад, басовий барабан – від активації детектора шляху керування та надмірного відкриття пропускної здатності звуку. Для сигналів, які мають значний вміст високої частоти (переважно гармонік), чутливість керуючого шляху збільшується зі швидкістю 12 дБ/октава.

Це швидке посилення чутливості є важливим, оскільки гармонійний вміст програмного матеріалу зазвичай швидко падає зі збільшенням частоти. Нахил 12 дБ/октава забезпечується каскадними двома RC highpass filters, що складаються з конденсаторів зв'язку зі стадією посилення траєкторії управління та ступенем детектора та внутрішніми входними резисторами до цих ступенів.

Використовуються окремі кутові частоти 5,3 кГц і 4,8 кГц відповідно, з комбінованою кутовою частотою близько 6 кГц. Вище 6 кГц посилення може бути дозволено знову зменшити, оскільки вміст енергії сигналу між 1 кГц і 6 кГц (критичний діапазон частот маскування) вже призведе до того, що пропускна здатність звуку вийде за межі 30 кГц, що дозволить пропускати будь-які високочастотні компоненти на звуковому шляху.

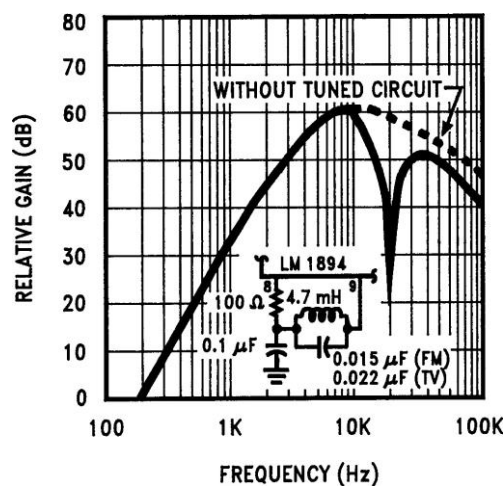


Рисунок 5.4 – Частотна характеристика кола управління

За деяких обставин, не властивих музиці або мові, джерело може містити відносно високий рівень, високочастотні компоненти, які не

обов'язково супроводжуються великими рівнями енергії низькочастотного сигналу, що забезпечує шумове маскування. Це помилкові компоненти, такі як частота лінійного сканування в телевізійному приймачі (15,734 кГц) або, такі сигнали, як пілотний тон 19 кГц у стереотрансляції FM.

Хоча обидва ці компоненти повинні бути досить низькими, щоб бути нечутними в звуковому шляху, їх присутність на шляху управління може викликати зміну мінімальної пропускну здатності, а отже, і кількості доступного шумозаглушення. Оскільки ці небажані компоненти знаходяться на частотах, що перевищують потрібний діапазон частот шляху управління, вони легко розміщуються, включивши в шлях управління фільтр виїмки на заданій частоті.

Резонансна схема L-C з Q 30 послабить 19 кГц більш ніж на 28 дБ. Якщо використовується 10% допуск 0,015μF конденсатор, котушка може бути фіксованою індуктивністю 4,7 мН. Для 15.734 кГц а необхідний конденсатор 0, 022 μ F. Коли цих частотних компонентів немає (у касетних стрічках), схема L-C усувається, а підсилювач посилення та каскад детектора з'єднуються між собою одним конденсатором 0,047 μF.

Крім того, що забезпечує належну частотну характеристику, коефіцієнт посилення траєкторії управління повинен бути достатнім, щоб гарантувати, що поріг детектора може бути досягнутий дуже низькими рівнями шуму. Підсумовуючий підсилювач має коефіцієнт посилення єдності до суми входів лівого і правого каналу і необхідний коефіцієнт посилення сигналу в 60 дБ розділений між наступним підсилювачем посилення і каскадом детектора. Для підсилювача посилення:

$$A_v = 33 \times 10^3 / (r_c + 10^3) = 26,2 = 28,4 \text{ дБ.}$$

Для детекторної стадії посилення до негативних коливань сигналу становить:

$$A_v = 27 \times 10^3 / 700 = 38,6 = 31,7 \text{ дБ.}$$

З коефіцієнтом посилення понад 60 дБ і типовими рівнями шуму вихідного джерела, потенціометр посилення зазвичай встановлюється з рукояткою склоочисника близько до клеми землі.

### 5.5 Тестування системи

Це дозволить провести пряме і миттєве порівняння впливу, який система надає на програмний матеріал, і допоможе прийти до правильної настройки потенціометра посилення траєкторії управління. Цей об'єкт не є практичним для компандористів, якщо в програмному матеріалі не зустрічаються незакодовані уривки. Також, якщо дія компанда або стане більш неугодним, ніж шум в вихідному матеріалі, немає можливості відключити систему.

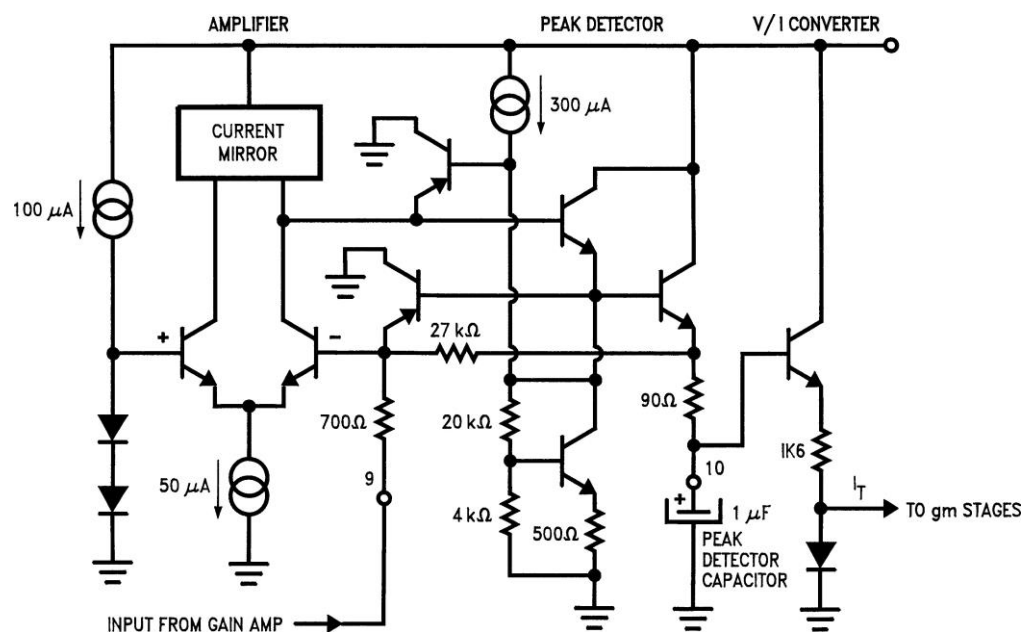


Рисунок 5.5 – Піковий детектор і перетворювач напруги в струм

Одним із способів обходу є просте використання подвійного полюсного перемикача для маршрутизації сигналів навколо LM1894. Це

фізично забезпечує повне обхід, але створює пару проблем. По-перше, може бути зміна рівня, викликана різними імпедансами, представленими на наступних звукових етапах, коли відбувається перемикання. По-друге, тепер сигнал повинен бути спрямований на передню панель, де знаходиться перемикач, можливо, викликаючи екранований кабель.

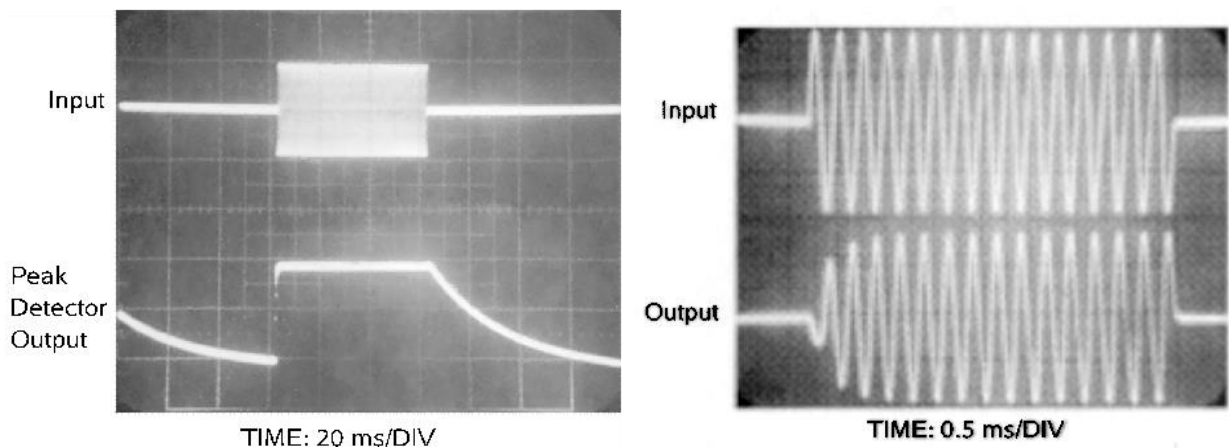


Рисунок 5.10 – Сигнали пікового детектора і результат роботи системи

Інша техніка, яка ідентифікує ці проблеми, полягає в тому, щоб назавжди переключити LM1894 у режим повної пропускної здатності звуку. Оскільки це забезпечує високе співвідношення S/N і низькі спотворення, вплив на сигнал мінімальний. Для повного відкриття звукової пропускної здатності LM1894 можна використовувати два способи, обидва з одним полюсним перемикачем, якого немає в звуковому шляху.

Просте заземлення входу пікового підсилювача детектора буде генерувати максимальний струм управління пропускною здатністю і одночасно запобігати потраплянню будь-яких керуючих сигналів до детектора. Зазвичай це більш ніж адекватно, оскільки максимальна пропускна здатність звуку становить 34 кГц, але в деяких випадках втрата 1 дБ на частоті 17 кГц, вироблена однополюсними аудіофільтрами, може бути не бажаною.

## ВИСНОВКИ

Для створення якісного аудіоконтенту, звичайно, кожний продюсер, виконавець, або аудіорежисер, повинен мати знання про методи боротьби із зайвим шумом, який може заважати сприйманню аудіоконтенту, розуміти основні принципи зменшення шуму та його усунення, мати навички апаратного зменшення шуму, мати навички роботи з комп'ютером, з програмами для створення музики, що мають плагіни для подавлення шуму та комплексними, окремими програмами, що мають величезний набір функцій для боротьби із зайвим аудіо-шумом. Ці знання допоможуть створювати якісні музичні композиції, проводити прямі ефіри, маючи в арсеналі тільки комп'ютер та найнеобхідніше технічне обладнання.

У першому розділі випускної кваліфікаційної роботи, було описано різницю між основними двома принципами зменшення шуму: Шумоподавлення та Шумовий затвор. Ця інформація необхідна для розуміння результату, яким ми можемо отримати, використовуючи сервіси, які ґрунтуються на одному з цих методів.

У другому розділі випускної кваліфікаційної роботи, було зроблено огляд найпопулярніших програм та плагінів, кожний із яких має свої ключові відмінності. Одна із програм – чудово працює для комплексних аудіофайлів, наприклад, щоб видалити якусь помилку у готовій композиції, яку пропустив звукорежисер, або для отримання гарного результату, коли існує лише дуже неякісна запис. Інший плагін – буде бездоганно виконувати свою тонку роботу у професійній обробці запису барабанів у студії, наприклад, де використовувати потужну програму із величезною кількістю функцій та налаштувань – просто немає сенсу.

У наступному розділі випускної кваліфікаційної роботи описується принцип роботи та використання фільтрів для боротьби із зайвим шумом. Також, у цьому розділі, розглянуто два основних підходи, як можна зменшити рівень шуму у кінцевому аудіофайлі:

Перший підхід — це додатковий тип, який передбачає стиснення аудіосигналу певним чином перед його записом (переважно на плівку). Під час відтворення, наступне додаткове розширення аудіосигналу, яке відновлює початковий динамічний діапазон, водночас має ефект підштовхування відтвореного шуму стрічки (доданого під час запису) нижче максимального рівня сигналу—і, нижче порогу слуху. Другий підхід — це односторонній або некомплементарний тип, який використовує методи зменшення рівня шуму, який уже присутній у вихідному матеріалі — система зменшення шуму лише відтворення.

Четвертий розділ, випускної кваліфікаційної роботи, має розбір математичного методу спектрального віднімання, що використовується у програмі Restorer.

Метод спектрального віднімання є простим і ефективним методом шумозаглушення. У цьому методі середній спектр сигналу і середній спектр шуму оцінюються в частинах запису і віднімаються один від одного, завдяки чому поліпшується середнє співвідношення сигнал-шум (SNR). Передбачається, що сигнал спотворюється широкополосним, стаціонарним, адитивним шумом, оцінка шуму однакова при аналізі і відновленні і фаза однакова в вихідному і відновленому сигналі.

Фінальний розділ випускної кваліфікаційної роботи, має огляд методу боротьби із шумом, про який відомо дуже небагато, а саме апаратний метод, за допомогою СДШ – Системи Динамічного Шумозаглушення, функцію якої, може виконувати мікросхеми: LM1894 або LM832.

Отже, зібравши всі знання, отримані під час кваліфікаційної роботи, ми отримаємо можливість успішно боротися із зайвими шумами, не видаливши зайвої інформації, та не вносячи спотворень у процесі запису, чи трансляції.

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Jean-Marc Valin, “A hybrid DSP/deep learning approach to real-time full-band speech enhancement,” in 2018 IEEE 20th International Workshop on Multimedia Signal Processing (MMSp). IEEE, 2018, pp. 1–5.
2. Jean-Marc Valin, Umut Isik, Neerad Phansalkar, Ritwik Giri, Karim Helwani, and Arvinth Krishnaswamy, “A Perceptually-Motivated Approach for Low-Complexity, Real-Time Enhancement of Fullband Speech,” in INTERSPEECH 2020, 2020.
3. Xu Zhang, Xinlei Ren, Xiguang Zheng, Lianwu Chen, Chen Zhang, Liang Guo, and Bing Yu, “Low-Delay Speech Enhancement Using Perceptually Motivated Target and Loss,” in Proc. Interspeech 2021, 2021.
4. Donald S Williamson, Yuxuan Wang, and DeLiang Wang, “Complex ratio masking for monaural speech separation,” IEEE/ACM Transactions on Audio, Speech and Language Processing (TASLP), vol. 24, no. 3, pp. 483–492, 2016.
5. Ke Tan and DeLiang Wang, “Complex spectral mapping with a convolutional recurrent network for monaural speech enhancement,” in ICASSP 2019-2019 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP). IEEE, 2019, pp. 6865–6869.
6. Jonathan Le Roux, Gordon Wichern, Shinji Watanabe, Andy Sarroff, and John R Hershey, “Phasebook and friends: Leveraging discrete representations for source separation,” IEEE Journal of Selected Topics in Signal Processing, vol. 13, no. 2, pp. 370–382, 2019.
7. ShuboLv, YanxinHu, ShiminZhang, and LeiXie, “DC-CRN+: Channel-wise Subband DCCRN with SNR Estimation for Speech Enhancement,” in INTERSPEECH, 2021.
8. Wolfgang Mack and Emanuel AP Habets, “Deep Filtering: Signal Extraction and Reconstruction Using Complex Time-Frequency Filters,” IEEE Signal Processing Letters, vol. 27, pp. 61–65, 2020.

9. Hendrik Schroter, Tobias Rosenkranz, Alberto Escalante Banuelos, Marc Aubreville, and Andreas Maier, “CLCNet: Deep learning-based noise reduction for hearing aids using complex linear coding,” in ICASSP 2020-2020 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP), 2020.
10. Chandan KA Reddy, Harishchandra Dubey, Kazuhito Koishida, Arun Nair, Vishak Gopal, Ross Cutler, Sebastian Braun, Hannes Gamper, Robert Aichner, and Sriram Srinivasan, “INTERSPEECH 2021 Deep Noise Suppression Challenge,” in INTERSPEECH, 2021.
11. Jean-Marc Valin, “A hybrid DSP/deep learning approach to real-time full-band speech enhancement,” in 2018 IEEE 20th International Workshop on Multimedia Signal Processing (MMSP). IEEE, 2018, pp. 1–5.
12. Jean-Marc Valin, Umut Isik, Neerad Phansalkar, Ritwik Giri, Karim Helwani, and Arvinth Krishnaswamy, “A Perceptually-Motivated Approach for Low-Complexity, Real-Time Enhancement of Fullband Speech,” in INTERSPEECH 2020, 2020.
13. Xu Zhang, Xinlei Ren, Xiguang Zheng, Lianwu Chen, Chen Zhang, Liang Guo, and Bing Yu, “Low-Delay Speech Enhancement Using Perceptually Motivated Target and Loss,” in Proc. Interspeech 2021, 2021.
14. Donald S Williamson, Yuxuan Wang, and DeLiang Wang, “Complex ratio masking for monaural speech separation,” *IEEE/ACM Transactions on Audio, Speech and Language Processing (TASLP)*, vol. 24, no. 3, pp. 483–492, 2016.
15. Ke Tan and DeLiang Wang, “Complex spectral mapping with a convolutional recurrent network for monaural speech enhancement,” in ICASSP 2019-2019 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP). IEEE, 2019, pp. 6865–6869.
16. Jonathan Le Roux, Gordon Wichern, Shinji Watanabe, Andy Sarroff, and John R Hershey, “Phasebook and friends: Leveraging discrete representations

for source separation,” *IEEE Journal of Selected Topics in Signal Processing*, vol. 13, no. 2, pp. 370–382, 2019.

17. ShuboLv, YanxinHu, ShiminZhang, and LeiXie, “DC-CRN+: Channel-wise Subband DCCRN with SNR Estimation for Speech Enhancement,” in *INTERSPEECH*, 2021.

18. Wolfgang Mack and Emanuel AP Habets, “Deep Filtering: Signal Extraction and Reconstruction Using Complex Time-Frequency Filters,” *IEEE Signal Processing Letters*, vol. 27, pp. 61–65, 2020.

19. Hendrik Schroter, Tobias Rosenkranz, Alberto Escalante Banuelos, Marc Aubreville, and Andreas Maier, “CLCNet: Deep learning-based noise reduction for hearing aids using complex linear coding,” in *ICASSP 2020-2020 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP)*, 2020.

20. Chandan KA Reddy, Harishchandra Dubey, Kazuhito Koishida, Arun Nair, Vishak Gopal, Ross Cutler, Sebastian Braun, Hannes Gamper, Robert Aichner, and Sriram Srinivasan, “INTERSPEECH 2021 Deep Noise Suppression Challenge,” in *INTERSPEECH*, 2021.

21. Jean-Marc Valin, “A hybrid DSP/deep learning approach to real-time full-band speech enhancement,” in *2018 IEEE 20th International Workshop on Multimedia Signal Processing (MMSP)*. IEEE, 2018, pp. 1–5.

22. Jean-Marc Valin, Umut Isik, Neerad Phansalkar, Ritwik Giri, Karim Helwani, and Arvindh Krishnaswamy, “A Perceptually-Motivated Approach for Low-Complexity, Real-Time Enhancement of Fullband Speech,” in *INTERSPEECH 2020*, 2020.

23. Xu Zhang, Xinlei Ren, Xiguang Zheng, Lianwu Chen, Chen Zhang, Liang Guo, and Bing Yu, “Low-Delay Speech Enhancement Using Perceptually Motivated Target and Loss,” in *Proc. Interspeech 2021*, 2021.

24. Donald S Williamson, Yuxuan Wang, and DeLiang Wang, “Complex ratio masking for monaural speech separation,” *IEEE/ACM Transactions on*

Audio, Speech and Language Processing (TASLP), vol. 24, no. 3, pp. 483–492, 2016.

25. Ke Tan and DeLiang Wang, “Complex spectral mapping with a convolutional recurrent network for monaural speech enhancement,” in ICASSP 2019-2019 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP). IEEE, 2019, pp. 6865–6869.

26. Jonathan Le Roux, Gordon Wichern, Shinji Watanabe, Andy Sarroff, and John R Hershey, “Phasebook and friends: Leveraging discrete representations for source separation,” *IEEE Journal of Selected Topics in Signal Processing*, vol. 13, no. 2, pp. 370–382, 2019.

27. ShuboLv, YanxinHu, ShiminZhang, and LeiXie, “DC-CRN+: Channel-wise Subband DCCRN with SNR Estimation for Speech Enhancement,” in INTERSPEECH, 2021.

28. Wolfgang Mack and Emanuel AP Habets, “Deep Filtering: Signal Extraction and Reconstruction Using Complex Time-Frequency Filters,” *IEEE Signal Processing Letters*, vol. 27, pp. 61–65, 2020.

29. Hendrik Schroter, Tobias Rosenkranz, Alberto Escalante Banuelos, Marc Aubreville, and Andreas Maier, “CLCNet: Deep learning-based noise reduction for hearing aids using complex linear coding,” in ICASSP 2020-2020 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP), 2020.

30. Chandan KA Reddy, Harishchandra Dubey, Kazuhito Koishida, Arun Nair, Vishak Gopal, Ross Cutler, Sebastian Braun, Hannes Gamper, Robert Aichner, and Sriram Srinivasan, “INTERSPEECH 2021 Deep Noise Suppression Challenge,” in INTERSPEECH, 2021.