

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інформаційних технологій

Кафедра автоматизації, комп'ютерно-інтегрованих технологій та робототехніки

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

бакалавр

Освітній рівень

Засіб для зниження рівня шумів з рівномірним розподілом у сигналах звукових

частот

Назва теми

КвРТР.2019002.01.02.ПЗ

Галузь знань 17 «Електроніка та телекомунікації»

Шифр, назва

Спеціальність 172 «Телекомунікації та радіотехніка»

Шифр, назва

Освітня програма «Телекомунікації та інформаційно-комунікаційні технології»

Назва

Виконав:

студент 4 курсу, група ТР1-19-1



Підпис

Сгор БОНДАРЧУК

Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Керівник:

д-р техн. наук, проф.



Підпис, дата

Микола ФЕДУЛА

Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Нормоконтролер



Підпис, дата

Людмила КОРЕЦЬКА

Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

До захисту допускаю:

зав. кафедри автоматизації,  
комп'ютерно-інтегрованих  
технологій та робототехніки



Підпис, дата

Валерій МАРТИНЮК

Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

«20» червня 2023 р.

Хмельницький 2023

Хмельницький національний університет

Факультет інформаційних технологій

Кафедра автоматизації, комп'ютерно-інтегрованих технологій та  
робототехніки

Освітній рівень перший (бакалаврський)

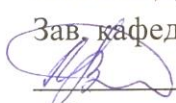
Галузь знань 17 – Електроніка та телекомунікації

Спеціальність 172 – Телекомунікації та радіотехніка

Освітня-професійна програма Телекомунікації та інформаційно-  
комунікаційні технології

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедрою

 А.І.Тар  
Мартинюк І.В.

«01» 02 2023р.

## ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Бондарчук Єгор Олександрович

1 Тема роботи: Засіб для зниження рівня шумів з рівномірним розподілом у  
сигналах звукових частот

керівник роботи Федула М.В., к.т.н, доцент

Затверджено наказом по університету від «01» березня 2023р. №5.

2 Строк подання студентом роботи на кафедру: 03.06.2023р.

3. Вихідні дані до проекту (роботи) Завдання на дипломне проектування

4 Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)  
Вступ. Огляд літературних джерел та патентних даних. Основна частина.  
Реалізація та дослідження розробленого засобу. Висновки.

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень).

1. Структура засобу.

2. Схема тестування засобу.

3. Спектри вихідних сигналів.

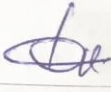



Завдання отримав \_\_\_\_\_



Науковий керівник \_\_\_\_\_



6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

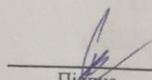
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Антиплагіат	Федула М.В., к.т.н., доцент каф. АКІТтаР		
Нормоконтроль	Корецька Л.О., к.т.н., доцент каф. АКІТтаР		

7. Дата видачі завдань « 01 » 02 2023 р.

**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№ п/п	Назва етапів (розділів) дипломної роботи	Строк виконання етапів дипломної роботи	Примітка
1	Вступ	15.02.2023р.	Виконано
2	Огляд літературних джерел, аналіз сучасного стану завдання	15.03.2023р.	Виконано
3	Основна частина	10.04.2023р.	Виконано
4	Реалізація та дослідження розробленого засобу	10.05.2023р.	Виконано
5	Висновки	15.05.2023р.	Виконано
6	Оформлення пояснювальної записки до кваліфікаційної роботи	25.05.2023р.	Виконано
7	Оформлення креслень, презентаційних матеріалів	1.06.2023р.	Виконано

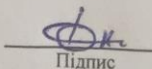
Студент

  
Підпис

Єгор БОНДАРЧУК

Ім'я, прізвище

Керівник роботи

  
Підпис

Микола ФЕДУЛА

Ім'я, прізвище

## АНОТАЦІЯ

Тема кваліфікаційної роботи: «Засіб для зниження рівня шумів з рівномірним розподілом у сигналах звукових частот».

Автор роботи: Бондарчук Єгор Олександрович

Керівник роботи: Федула Микола Васильович

Пояснювальна записка: 55 с., 20 рис., 3 дод., 32 джерела.

Графічна частина: 3 креслення.

ОБРОБКА СИГНАЛІВ, ЗВУКОВІ ЧАСТОТИ, ШУМ, РІВНОМІРНИЙ РОЗПОДІЛ, ФІЛЬТРАЦІЯ.





Мета кваліфікаційної роботи – розробка засобу для зниження рівня шумів з рівномірним розподілом у сигналах звукових частот. Розроблено програмно-апаратний засіб для зниження рівня шумів, які характеризуються рівномірним розподілом амплітуди, на частотах звуку. Побудовано імітаційну модель засобу зниження рівня шумів. Проведено аналіз результатів обробки звукового сигналу з шумом у часовій та частотній області. Отримані результати дають можливість знижувати рівень шумів з рівномірним розподілом та підвищувати якість прийому сигналів звукових частот .

  
Підпис студента

26.06.23  
Дата

## ЗМІСТ

ВСТУП .....	4
1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ ТА ПАТЕНТНИХ МАТЕРІАЛІВ .....	7
1.1 Сигнали та шуми в області звукових частот .....	7
1.1.1 Сигнали звукових частот .....	8
1.1.2 Подання сигналів у частотній області .....	9
1.1.3 Відображення сигналів у часово-частотній області .....	10
1.1.4 Шуми звукових частот .....	11
1.2 Методи зниження рівня шуму з рівномірним розподілом .....	12
1.2.1 Лінійна фільтрація .....	13
1.2.2 Фільтри з нескінченною імпульсною характеристикою .....	14
1.2.3 Фільтри з скінченною імпульсною характеристикою .....	15
1.2.4 Методи синтезу фільтрів .....	16
1.3 Програмні засоби для обробки сигналів звукових частот .....	18
1.4 Висновки до першого розділу .....	19
2 РОЗРОБЛЕННЯ ЗАСОБУ ДЛЯ ЗНИЖЕННЯ РІВНЯ ШУМУ З РІВНОМІРНИМ РОЗПОДІЛОМ .....	20
2.1 Отримання та відтворення звукового сигналу в Simulink .....	20
2.1.1 Налаштування звукових пристроїв .....	28
2.1.2 Характеристики звукового сигналу .....	30
2.2 Синтез цифрового фільтра .....	32
2.2.1 Частотні характеристики .....	37
2.2.2 Часові характеристики .....	41
2.3 Висновки до другого розділу .....	42
3 АНАЛІЗ ПАРАМЕТРІВ ТА ХАРАКТЕРИСТИК ЗАСОБУ ДЛЯ ЗНИЖЕННЯ РІВНЯ ШУМІВ З РІВНОМІРНИМ РОЗПОДІЛОМ .....	43

КВРТР.2019002.01.02.ПЗ									
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата	Засіб для зниження рівня шумів з рівномірним розподілом у сигналах звукових частот	Літера	Аркуш	Аркушів	
Виконав		Бондарчук С.О.		21.06.23		у		2	
Перевір.		Федула М.В.		21.06.23					
Т.Контр.									
Н.контр.		Корецька Л.О.		21.06.23					
Затвер.		Мартинюк В.В.		21.06.23					
						ХНУ, ТР1-19-1			

3.1 Імітаційне моделювання засобу для зниження рівня шуму .....	43
3.2 Результати моделювання у часовій області .....	51
3.3 Результати моделювання у частотній області.....	52
3.4 Висновки до третього розділу .....	56
ВИСНОВКИ.....	58
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ.....	59
Додаток А Структура засобу .....	64
Додаток Б Схема тестування.....	65
Додаток В Спектри вихідних сигналів .....	66

## ВСТУП

**Актуальність теми.** Засоби зниження рівня шумів у сигналах звукових частот знаходять широке застосування в різних галузях. В аудіоінженерії і запису звуку застосовуються методи шумопониження для поліпшення якості звуку. Це може бути корисним при усуненню шуму на фоні музики, голосуванні або інших аудіозаписів. У комунікаційних системах, таких як мобільний зв'язок, або конференц-зв'язок, шумопониження може допомогти знизити шум, що виникає в процесі передачі сигналу і поліпшити якість сигналу. У медичній діагностиці, наприклад, в ультразвуковій томографії (УЗТ), шумопониження може використовуватися для зменшення артефактів та поліпшення якості зображень, отриманих звуковими хвильовими сигналами. У загальному сенсі, засоби зниження рівня шумів у сигналах звукових частот можуть бути використані в будь-якій області, де виникає необхідність у поліпшенні сигналу та зниженні шуму. Наприклад, в системах розпізнавання голосу, акустичному вимірюванні.

Завдання зниження рівня шумів з розподілом, близьким до рівномірного, актуальне, оскільки такі шуми як правило розподілені у широкому діапазоні частот, і можуть створювати значні перешкоди для приймання та обробки сигналів, а також для сприйняття людиною на слух. Для подолання негативного впливу шумів з рівномірним розподілом використовуються високоефективні цифрові фільтри, а також методи віднімання спектрів, які у поєднанні дозволяють майже повністю відновити необхідну форму аудіосигналу. Проте багато відомих методів для ефективної роботи вимагають значних обчислювальних ресурсів та високої точності налаштувань, що вносить додаткові ускладнення на етапі проектування.

**Метою роботи** розробити засіб для зниження рівня шуму з рівномірним розподілом у сигналі звукових частот.

					КвРТР.2019002.01.02.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		4

Для досягнення цієї мети необхідно розв'язати такі **завдання**:

- вибрати методи обробки звукових сигналів;
- синтезувати цифровий фільтр для звукових частот;
- побудувати імітаційну модель засобу зниження рівня шуму.

**Об'єктом дослідження** є процес зниження рівня шуму з рівномірним розподілом із застосуванням цифрових фільтрів.

**Предметом дослідження** є засіб для зниження рівня шуму з рівномірним розподілом на звукових частотах.

**Методи досліджень.** При вирішенні поставлених завдань у роботі були використані методи теорії лінійних динамічних систем, цифрової обробки сигналів та імітаційного моделювання.

**Практична значимість отриманих результатів:**

У роботі запропоновано засіб для зниження рівня шуму з рівномірним розподілом на звукових частотах. Використання такого засобу дозволяє підвищити ефективність прийому та обробки звукових сигналів.

Кваліфікаційна робота складається із вступу, основної частини (три розділи), висновків, списку використаних джерел, та трьох додатків. Загальний обсяг роботи складає 55 сторінок комп'ютерного тексту, на яких, зокрема, подано 29 рисунків та список використаних із 44 найменувань.

У вступі приведено обґрунтування актуальності завдання кваліфікаційної роботи, приведено мету роботи та задачі, виконання яких необхідно для досягнення поставленої мети, а також відображено практичне значення.

В першому розділі виконано огляд відомих джерел із предметної області (засоби для зниження рівня шумів з рівномірним розподілом на звукових частотах).

У другому розділі, відповідно до технічного завдання вибрано методи методи обробки звукових сигналів, та побудовано блок-схему засобу для зниження рівня шумів з рівномірним розподілом.

У третьому розділі виконано імітаційне моделювання запропонованого засобу, побудовано осцилограми, спектри та спектрограми вихідних сигналів.

					КвРТР.2019002.01.02.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		6

# 1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ ТА ПАТЕНТНИХ МАТЕРІАЛІВ

## 1.1 Сигнали та шуми в області звукових частот

Звукові частоти – це типові частоти, на яких можуть відбуватися механічні коливання, які сприймаються слуховим органом людини як звук. Діапазоном звукових частот вважається область від 20 Гц до 20 кГц. Більшість відомих пристроїв відтворення звуку працюють у такій області частот [1]. Коливання на частотах, нижчих за 20Гц називаються інфразвуками, а коливання на частотах, вищих за 20кГц називаються ультразвуками. Відтворення ультразвуків та інфразвуків великої потужності вважається шкідливим для здоров'я людини [1-5].

Сигналами називаються фізичні процеси, параметри яких змінюються в часі за законами деяких корисних інформаційних повідомлень [6]. Шумами називаються фізичні процеси, параметри яких змінюються, як правило, випадковим чином, і не переносять ніяких корисних для людини інформаційних повідомлень.

Шуми можуть мати різну природу. Велика кількість шумів у радіоканалах виникає природним чином у навколишньому середовищі. Причинами таких шумів можуть бути різноманітні фізичні процеси, такі як процеси в атмосфері, електромагнітні коливання Сонця та інших космічних об'єктів, рух мікрочастинок високих енергій, та багато інших чинників [6-11]. Шуми штучного походження є результатами діяльності людини, і можуть бути спричинені функціонуванням промисловості, засобів зв'язку, побутового обладнання та іншої апаратури, яка здатна створювати коливання параметрів процесів у навколишньому середовищі [3-5].

### 1.1.1 Сигнали звукових частот

Сигнали на звукових частотах відіграють вирішальну роль в електротехніці, оскільки вони є основою для передачі та прийому інформації в різних електронних пристроях і системах. Розглянемо опис і класифікацію сигналів на у діапазоні звукових частот від 20 Гц до 20 кГц [12-15].

Звукові частоти відносяться до діапазону частот, який може почути людина. Важливість вивчення сигналів у цьому діапазоні полягає в їх прямому відношенні до сприйняття звуку людиною. Розуміючи, як поведуться ці сигнали, інженери-електроніки можуть розробляти та оптимізувати системи для мовлення, відтворення музики та аналізу звуку навколишнього середовища.

Сигнали на звукових частотах можуть генеруватися з різних джерел, таких як мова, музика або звуки навколишнього середовища. Ці сигнали мають специфічні характеристики, які відрізняють їх від інших типів сигналів. Наприклад, вони, як правило, безперервні та аналогові за своєю природою. Аналогові сигнали – це безперервно змінювані форми хвиль, які представляють явища реального світу з плавними переходами між значеннями [16].

На відміну від аналогових сигналів, цифрові сигнали мають дискретні значення, представлені двійковими цифрами (0 і 1). Цифрове представлення забезпечує ефективне зберігання та обробку, але вимагає перетворення з аналого-цифрового (A/D) або цифро-аналогового (D/A) форматів під час взаємодії з аналоговими системами [17-21].

Класифікація аудіочастотних сигналів виходить за рамки їх аналогового чи цифрового розрізнення. Сигнали також можна класифікувати на основі їх властивостей, таких як амплітуда, частота, фаза та форма сигналу [22]. Наприклад, амплітудна модуляція зазвичай

використовується в радіомовленні, де амплітуда несучого сигналу змінюється відповідно до модулюючого аудіосигналу.

### 1.1.2 Подання сигналів у частотній області

У галузі радіотехніки розуміння сигналів як у часовій, так і в частотній областях є надзвичайно важливим. Концепція подання сигналу в частотній області відіграє важливу роль у цьому відношенні. Розглянемо основи представлення сигналу в частотній області, його застосування в різних сферах [23-28].

Представлення в частотній області відноситься до методу представлення сигналів шляхом їх розкладання на складові частоти. Він дає цінну інформацію про характеристики та поведінку сигналів, які не проявляються лише в часовій області [29]. Аналізуючи сигнали в частотній області, інженери можуть отримати глибше розуміння їх спектральних компонентів, дозволяючи більш комплексний аналіз і маніпуляції. Перетворення Фур'є є основним інструментом для перетворення сигналів із часової області в частотну. Він розкладає сигнал на синусоїдальні компоненти з різними частотами та амплітудами. Отриманий спектр показує, який внесок кожна частота у вихідний сигнал, надаючи цінну інформацію про його склад. Аналіз спектру тісно пов'язаний із перетворенням Фур'є, оскільки передбачає аналіз цих спектрів для вилучення суттєвої інформації про характеристики сигналу або виявлення в ньому специфічних особливостей [27-34]. Цей метод знаходить широке застосування в різних сферах, таких як системи зв'язку та обробка зображень.

У системах зв'язку аналіз частотної області має вирішальне значення для таких завдань, як модуляція/демодуляція, вирівнювання

каналів, виявлення/припинення перешкод тощо, що створює надійні та ефективні методи передачі.

Методи зменшення шуму також значною мірою покладаються на аналіз частотної області. Здатність ізолювати компоненти шуму дозволяє інженерам застосовувати відповідні фільтри, які вибірково пригнічують небажані частоти, зберігаючи основні.

Удосконалення технологій стало можливим завдяки розумінню сигналів у частотній області. Наприклад, цифрове аудіомовлення (DAB) використовує вдосконалені методи стиснення, засновані на аналізі частотної області. Це забезпечує високоякісну передачу аудіо через обмежену смугу пропускання, яка не була можливо раніше.

### 1.1.3 Відображення сигналів у часово-частотній області

В електротехніці аналіз сигналів відіграє вирішальну роль у розумінні та маніпулюванні різними типами сигналів. Частотно-часова область є фундаментальною концепцією, яка дозволяє інженерам візуалізувати сигнали як у часовій, так і в частотній областях одночасно, надаючи цінну інформацію про їхні характеристики та поведінку. У роботі досліджується ефективність короткочасного перетворення Фур'є (STFT) як методу відображення сигналів у частотно-часовій області.

Метод STFT широко використовується для аналізу нестационарних сигналів, які змінюються з часом. Він передбачає поділ сигналу на невеликі сегменти, що перекриваються, і застосування перетворення Фур'є до кожного сегмента окремо. Збираючи локалізовану інформацію про частотний вміст у різні моменти часу, STFT забезпечує повне представлення динаміки сигналу [35].

Переваги використання STFT включають його здатність фіксувати перехідні події з високою тимчасовою роздільною здатністю, зберігаючи

прийнятну частотну роздільну здатність. Однак він має обмеження при роботі з сигналами, що містять близько розташовані частоти або частоти, що швидко змінюються, через фіксований розмір вікна.

Застосовуючи STFT до різних типів сигналів, таких як аудіо, відео або набори біомедичних даних, інженери можуть отримати уявлення про їхні специфічні характеристики та поведінку як у часових, так і в спектральних вимірах. Було розроблено різні методи візуалізації, щоб ефективно представити ці частотно-часові представлення [36-42].

Спектрограми – це широко використовувані візуалізації, які відображають варіації інтенсивності, що відповідають різним частотним компонентам з часом. Скалограми, з іншого боку, забезпечують більш детальне представлення поведінки сигналу, використовуючи натомість вейвлет-перетворення

#### 1.1.4 Шуми звукових частот

Шуми на звукових частотах відіграють значну роль у галузі електротехніки. Розуміння та класифікація цих шумів має вирішальне значення для розробки та впровадження ефективних аудіосистем [12,43]. Приведемо огляд різних типів шумів, які виникають на звукових частотах, їхніх характеристик і впливу, який вони мають на звукові сигнали та системи.

Існує кілька типів шумів, які можуть виникати в діапазоні людського слуху, як правило, від 20 Гц до 20 кГц. Одним із поширених типів є тепловий шум, також відомий як шум Джонсона або білий шум. Воно виникає внаслідок безладного руху електронів у провідниках при кінцевих температурах. Іншим типом є дробовий шум, спричинений коливаннями швидкості потоку частинок зі струмом, таких як електрони або фотони.

Окрім цих основних типів, існують інші форми шуму, специфічні для певних програм або пристроїв. Наприклад, мерехтливий шум (також відомий як шум  $1/f$ ) поширений у напівпровідникових пристроях і демонструє частотно-залежний спектр [39-44]. Перехресні перешкоди виникають, коли небажані сигнали поєднуються між сусідніми компонентами або шляхами в електричній системі.

Щоб пом'якшити або зменшити вплив шумів на звукових частотах, інженери використовують різні методи залежно від конкретного джерела та природи шуму. Екранування – це один із поширених методів, коли використовуються провідні матеріали або корпуси для оточування чутливих компонентів або кабелів для блокування зовнішніх електромагнітних перешкод (ЕМІ). Фільтрація передбачає використання пасивних компонентів, таких як конденсатори та котушки індуктивності, для послаблення певних діапазонів частот, пов'язаних із певними типами шумів.

Заземлення відіграє важливу роль у мінімізації шумів і спотворень, викликаних контуром заземлення, забезпечуючи шлях із низьким опором для небажаних струмів, що протікають через шасі обладнання або сигнальну землю. Методи обробки сигналів, такі як цифрова фільтрація, адаптивні алгоритми та спектральний аналіз, можна використовувати для видалення або придушення шуму в аудіосигналах.

## 1.2 Методи зниження рівня шуму з рівномірним розподілом

Рівномірно розподілений шум є поширеною проблемою в електротехнічних додатках [29-34]. Цей тип шуму характеризується рівномірним розподілом по частотному спектру, що ускладнює його видалення традиційними методами. Розглянемо три методи зменшення

рівномірно розподіленого шуму: методи фільтрації, алгоритми обробки сигналів і статистичні підходи.

Методи фільтрації зазвичай використовуються для пом'якшення рівномірно розподіленого шуму в електротехніці. Прикладами методів фільтрації, що використовуються в цьому контексті, є фільтри низьких частот, фільтри високих частот і смугові фільтри. Фільтри низьких частот пропускають частоти нижче певної точки зрізу, одночасно послаблюючи вищі частоти. Фільтри високих частот роблять навпаки, пропускаючи високі частоти, одночасно послаблюючи нижчі частоти. Смугові фільтри націлені на певні частотні діапазони, де помітний шум, і ефективно послаблюють ці частоти [37].

Алгоритми обробки сигналів також відіграють вирішальну роль у зменшенні рівномірно розподіленого шуму. Ці алгоритми використовують математичні операції над вхідними сигналами для посилення бажаних компонентів і придушення небажаних компонентів шуму. Технології цифрової обробки сигналів (DSP), такі як швидке перетворення Фур'є (ШПФ), адаптивна фільтрація та вейвлет-приглушення, показали багатообіцяючі результати в пом'якшенні рівномірно розподіленого шуму в різних програмах.

Загалом, робота з рівномірно розподіленим шумом створює значні проблеми в електротехнічних додатках; однак за допомогою методів фільтрації, алгоритмів обробки сигналів і статистичних підходів інженери можуть ефективно зменшити або усунути цей тип шуму.

### 1.2.1 Лінійна фільтрація

Лінійна фільтрація є фундаментальною концепцією в електротехніці, яка відіграє життєво важливу роль у різних додатках. Це передбачає маніпулювання сигналами або зображеннями шляхом

застосування спеціальних методів для покращення бажаних функцій або придушення небажаних компонентів [18-21, 30, 32]. Розглянемо методи лінійної фільтрації, а саме згортки, перетворення Фур'є та методів розробки цифрових фільтрів, підкреслюючи їх важливість і застосування в електротехніці.

Згортка є широко використовуваним методом лінійної фільтрації. Він передбачає математичну операцію поєднання двох функцій для отримання третьої функції, яка представляє модифікований вхідний сигнал. У контексті лінійної фільтрації згортка використовується для застосування фільтрів до сигналів або зображень шляхом згортання їх за допомогою ядра або маски, що визначає бажану частотну характеристику. Наприклад, під час обробки зображень можна застосувати фільтри виявлення країв через згортку, щоб підкреслити краї та знизити рівень шуму.

### 1.2.2 Фільтри з нескінченною імпульсною характеристикою

Обробка аудіосигналу відіграє вирішальну роль у сучасних технологіях, дозволяючи нам підвищувати якість і точність відтворення звуку. Одним з важливих аспектів обробки аудіосигналів є застосування фільтрів для маніпулювання частотним вмістом аудіосигналів. Розглянемо фільтри нескінченної імпульсної характеристики (IIR) та їхньому значенні в обробці аудіосигналу.

IIR-фільтри - це цифрові фільтри, які мають нескінченну імпульсну характеристику завдяки наявності в своїй структурі петель зворотного зв'язку. Ці типи фільтрів широко використовуються в різних програмах, таких як зменшення шуму, вирівнювання та придушення відлуння, оскільки вони пропонують більшу гнучкість порівняно з іншими типами фільтрів.

Основні принципи, що лежать в основі роботи ІІР-фільтра, включають рекурсивні рівняння, які забезпечують зворотний зв'язок між різними етапами в архітектурі фільтра. Цей рекурсивний характер дозволяє ІІР-фільтрам досягати високої ефективності з точки зору обчислювальних ресурсів, зберігаючи бажані характеристики частотної характеристики.

Різні типи конструкцій ІІР-фільтрів зазвичай використовуються в аудіопристроях, наприклад фільтри Баттерворта, Чебишева та еліптичні фільтри. Кожна конструкція пропонує унікальні компроміси між характеристиками частотної характеристики, включаючи пульсації смуги пропускання, затухання в смузі зупинки та фазові спотворення.

ІІР-фільтри знаходять широке застосування в різних задачах обробки аудіосигналу завдяки своїй універсальності та ефективності. Наприклад, їх можна використовувати для зменшення шуму шляхом вибіркового послаблення небажаних частот, які відповідають джерелам фонового шуму, зберігаючи бажаний аудіовміст [28-36]. Крім того, ІІР-фільтри відіграють важливу роль в алгоритмах придушення луни, де небажані луни від відбитків звуку можуть бути ефективно придушені без внесення значних артефактів в оброблений аудіосигнал.

### 1.2.3 Фільтри з скінченною імпульсною характеристикою

Порівняно з фільтрами зі скінченною імпульсною характеристикою (FIR), ІІР-фільтри мають кілька переваг. По-перше, вони вимагають менше коефіцієнтів фільтра через їх рекурсивний характер

Фільтри з кінцевою імпульсною характеристикою (FIR) відіграють вирішальну роль у сфері обробки аудіосигналів. Ці фільтри призначені для обробки цифрових сигналів шляхом їх згортання за допомогою

імпульсної характеристики кінцевої довжини. FIR-фільтри знайшли широке застосування в різних додатках, таких як зменшення шуму, вирівнювання та придушення відлуння завдяки їхній чудовій продуктивності та гнучкості конструкції.

Основні принципи, що лежать в основі FIR-фільтрів, полягають у їх характеристиках імпульсної та частотної характеристики [39-42]. Імпульсна характеристика — це послідовність коефіцієнтів фільтра, яка визначає, як фільтр реагує на вхідний сигнал, тоді як частотна характеристика описує, як фільтр послаблює або підсилює різні частоти. Коефіцієнти фільтрів потім обчислюються за допомогою таких алгоритмів, як алгоритм Паркса-МакКлеллана або метод найменших квадратів [].

Однією з ключових областей застосування FIR-фільтрів є шумозаглушення, де вони можуть ефективно пригнічувати небажаний фоновий шум без спотворення основного аудіосигналу. Крім того, FIR-фільтри використовуються для вирівнювання, щоб змінити спектральний баланс аудіосигналів, що дозволяє покращити якість відтворення звуку.

#### 1.2.4 Методи синтезу фільтрів

Методи синтезу цифрових фільтрів відіграють вирішальну роль у програмах обробки сигналів, дозволяючи маніпулювати та покращувати різні типи сигналів. Зі зростанням залежності від цифрових систем і потреби в ефективних методах обробки сигналів розуміння різних методів синтезу цифрових фільтрів є важливим у галузі радіотехніки.

Порівняно з аналоговими фільтрами, цифрові фільтри пропонують ряд переваг, таких як гнучкість у реалізації, точний контроль частотних характеристик, легкість модифікації за допомогою оновлення

програмного забезпечення або перепрограмування та сумісність із сучасними обчислювальними платформами.

Під час синтезу цифрового фільтра необхідно враховувати певні конструктивні характеристики, щоб забезпечити оптимальну продуктивність. Ці специфікації включають пульсацію в смузі пропускання (допустиму зміну підсилення в смузі пропускання), затухання в смузі затримки (кількість, на яку небажані частоти послаблюються в смузі затримки), пропускну здатність переходу (діапазон між частотами смуги пропускання та смуги затримки) і порядок фільтрів (число коефіцієнтів, необхідних для реалізації фільтра).

Розробка цифрових фільтрів передбачає компроміс між цими специфікаціями, оскільки вдосконалення однієї може негативно вплинути на іншу. Наприклад, зменшення пульсації смуги пропускання може призвести до збільшення смуги пропускання або більшої складності обчислень.

Метод частотної дискретизації передбачає визначення бажаних частотних характеристик у заздалегідь визначених точках, а потім визначення відповідної імпульсної характеристики за допомогою методів зворотного перетворення Фур'є [9, 12, 31]. Перевагою цього методу є точне керування частотними характеристиками. Однак він може страждати від спектрального витоку та явища Гіббса через обмежені точки відбору проб.

Віконний метод широко використовується для проектування FIR-фільтрів. Він передбачає множення бажаної імпульсної характеристики на віконну функцію, таку як вікно Хеммінга або Блекмана, щоб зменшити бічні пелюстки та покращити затухання в смузі зупинки. Цей метод дозволяє легко контролювати довжину фільтра та має низьку

чутливість до помилок квантування коефіцієнта. Однак це вводить компроміс між шириною головної пелюстки та рівнем бічної пелюстки.

### 1.3 Програмні засоби для обробки сигналів звукових частот

Програмне забезпечення для обробки аудіосигналу відіграє вирішальну роль у галузі радіотехніки, зокрема в аудіотехніці та пов'язаних із нею додатках.

MATLAB — це потужний інструмент, який широко використовується в різних областях техніки, включаючи обробку звукових сигналів. Він пропонує широкі можливості для аналізу, синтезу та маніпулювання звуковими сигналами. Завдяки інтуїтивно зрозумілому інтерфейсу та комплексним наборам інструментів MATLAB дозволяє інженерам розробляти та впроваджувати складні алгоритми для таких завдань, як зменшення шуму, стиснення звуку, вирівнювання та фільтрація. Наприклад, дослідники використовували MATLAB для розробки вдосконалених систем розпізнавання мовлення, використовуючи такі методи, як спектральний аналіз і розпізнавання образів [31-38]. Крім того, підтримка MATLAB обробки в реальному часі дозволяє ефективно застосовувати його в інтерактивних музичних системах або налаштуваннях звуку.

Важливою особливістю MATLAB є наявність засобів для автоматизованого синтезу та відлагодження цифрових фільтрів різних типів з деталізованим аналізом багатьох видів характеристик.

Таким чином, програмне забезпечення для обробки аудіосигналу відіграє важливу роль у просуванні досліджень, розробок і практичних застосувань у галузі аудіотехніки. MATLAB надає комплексну платформу для різноманітних завдань обробки звуку.

#### 1.4 Висновки до першого розділу

В сучасній радіотехніці, засоби для зниження рівня шумів з рівномірним розподілом відіграють важливу роль. Шум є неодмінною складовою будь-якої електронної системи і може негативно впливати на якість сигналу та ефективність передавання інформації. Тому розробка та використання засобів для зниження рівня шумів є критично важливими для досягнення високої якості та надійності радіотехнічних систем.

Одним з основних методів зниження рівня шумів є застосування цифрових фільтрів. Ці фільтри дозволяють селективно подавляти шуми та виключати небажані компоненти сигналу. Це дозволяє поліпшити співвідношення сигнал-шум і покращити якість сигналу. Цифрові фільтри можуть мати різні характеристики, такі як низькочастотний чи високочастотний пропуск, розсіювання шуму та інші, що дозволяють гнучко налаштовувати фільтрацію відповідно до вимог конкретної системи. Для ефективного зниження рівня шуму також використовуються методи обробки сигналів, такі як алгоритми фільтрації, шумопонижуючі алгоритми та алгоритми виявлення та видалення шуму. Ці методи дозволяють відділити корисний сигнал від шуму та виконувати оптимальну обробку сигналу з метою зниження рівня шумів. Використання таких алгоритмів дозволяє покращити якість передавання сигналу, збільшити дальність зв'язку та забезпечити надійну передачу інформації.

Таким чином, розроблення засобу для зниження рівня шуму з рівномірним розподілом є актуальним завданням сучасної радіотехніки для підвищення чутливості та завадостійкості пристроїв приймання та обробки звукових сигналів.

## 2 РОЗРОБЛЕННЯ ЗАСОБУ ДЛЯ ЗНИЖЕННЯ РІВНЯ ШУМУ З РІВНОМІРНИМ РОЗПОДІЛОМ

### 2.1 Отримання та відтворення звукового сигналу в Simulink

Simulink Audio Toolbox є потужним інструментом для моделювання, аналізу та обробки аудіо-сигналів в середовищі Simulink. Цей набір інструментів надає широкі можливості для налаштування параметрів обробки звуку та створення складних аудіо-систем. Одним з перших етапів налаштування Simulink Audio Toolbox є додавання необхідних блоків до моделі Simulink. Це можуть бути блоки для зчитування аудіо-сигналів, обробки звуку, синтезу аудіо-сигналів, аналізу аудіо-даних та інших операцій. За допомогою відповідних блоків можна створювати складні аудіо-системи з різними функціями.

Після додавання блоків до моделі Simulink можна перейти до налаштування параметрів цих блоків. Наприклад, блок для зчитування аудіо-сигналів може бути налаштований на використання певного аудіо-джерела, такого як мікрофон або аудіо-файл. Також можна встановити параметри зчитування, такі як частота дискретизації, розмір буфера та формат аудіо-даних. Параметри блоків обробки звуку також можуть бути налаштовані відповідно до потреб користувача. Наприклад, блок для фільтрації аудіо-сигналів може бути налаштований на використання певного типу фільтра та його параметрів, таких як частоти зрізу, коефіцієнти фільтрації та інші. Це дозволяє виконувати різні операції обробки звуку, такі як еквалізація, компресія, реверберація тощо.

Simulink Audio Toolbox також надає можливість налаштування параметрів аналізу аудіо-даних. Наприклад, блок для спектрального аналізу може бути налаштований на використання певного алгоритму,

такого як швидке перетворення Фур'є (FFT), та налаштування параметрів аналізу, таких як розмір вікна, перекривання вікна та інші.

Після налаштування параметрів Simulink Audio Toolbox можна проводити симуляцію моделі та аналізувати результати. Це дозволяє перевірити правильність налаштування, оцінити якість обробки звуку та здійснити необхідні зміни для досягнення бажаного результату.

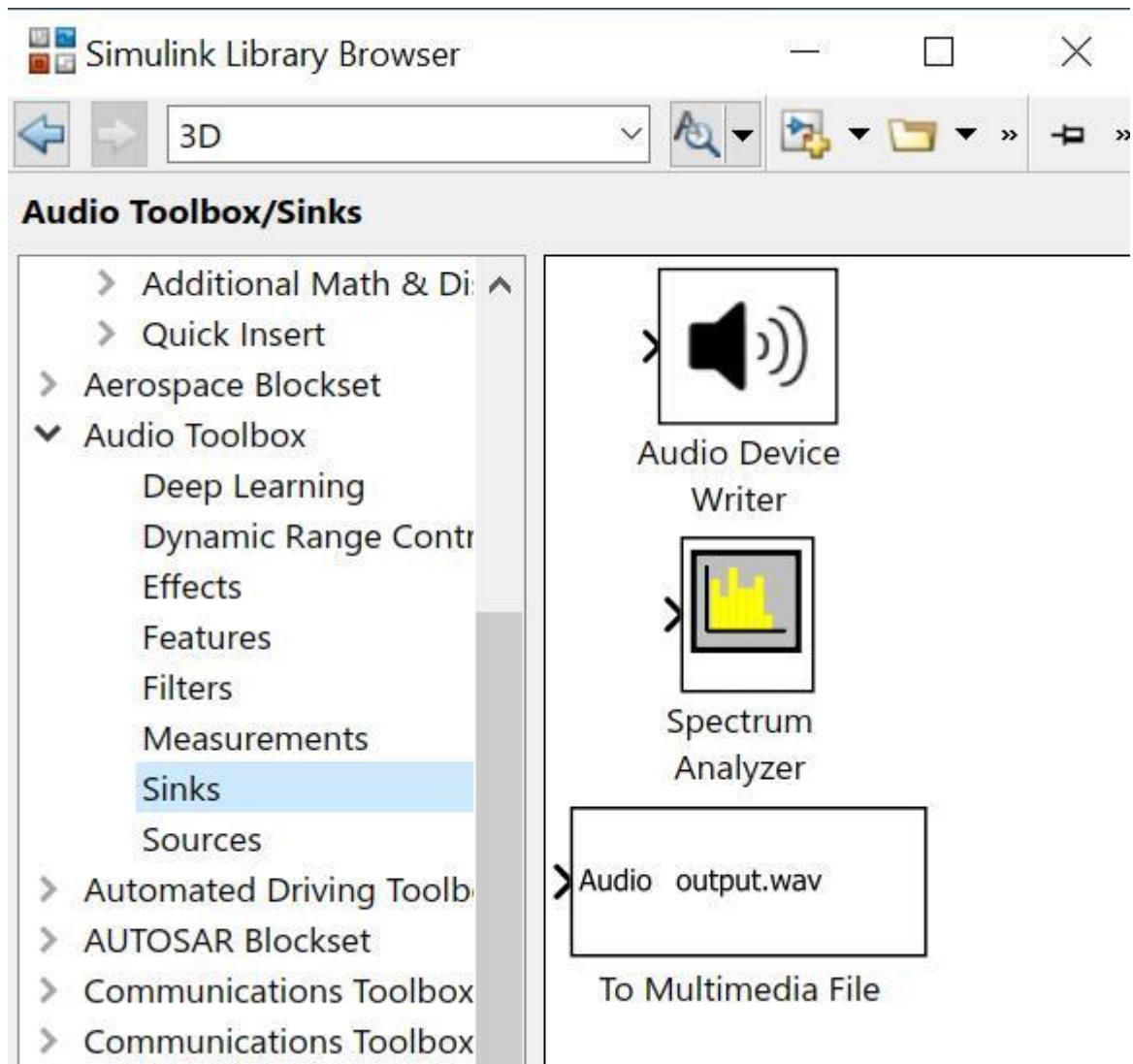


Рисунок 2.1 – бібліотека Simulink Audio Toolbox

Simulink надає блоки, призначені для ефективного відтворення, обробки та експорту аудіосигналів. Блок «Audio Device Writer» забезпечує пряме відтворення через пристрої виведення, такі як колонки

або навушники. Блок "Audio Device Writer" є важливою складовою системи Simulink для запису аудіо-сигналів на звуковий пристрій комп'ютера.



Рисунок 2.2 – Відтворення аудіосигналу в Simulink

Налаштування передачі звуку зображено на рисунку 2.3.

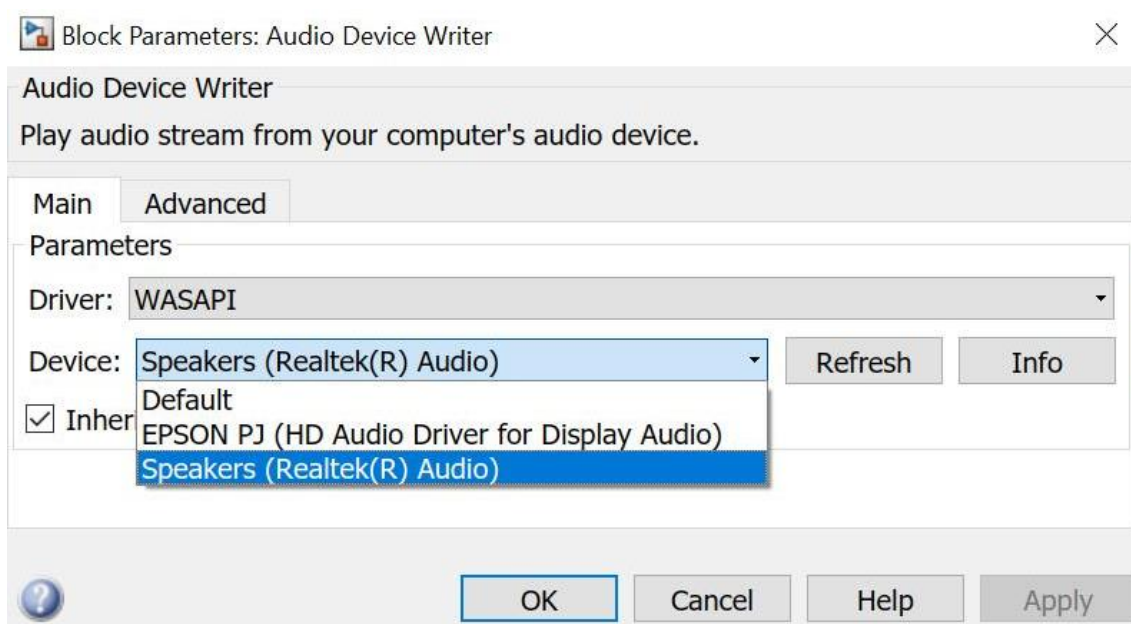


Рисунок 2.3 – Налаштування блоку Audio Device Writer

Використання блоку "Audio Device Writer" в Simulink надає можливість перевіряти результати обробки аудіо-сигналів у реальному часі. Можна підключити звуковий пристрій до комп'ютера та вивести оброблені сигнали безпосередньо на нього. Це дозволяє прослуховувати результати обробки аудіо-сигналів та оцінювати їх якість та ефективність.

Блок "Audio Device Writer" має налаштування, які дозволяють визначити параметри виводу аудіо-сигналів, такі як частота дискретизації, кількість каналів та формат даних. Це дозволяє адаптувати блок до вимог конкретного звукового пристрою та дослідження. Використання блоку "Audio Device Writer" є корисним при розробці та тестуванні аудіо-систем. Можна створювати складні аудіо-моделі в Simulink, обробляти аудіо-сигнали з використанням різних алгоритмів та ефектів, а потім виводити результати на звуковий пристрій для перевірки їх реалістичності та якості.

Блок "Audio Device Writer" в Simulink є потужним інструментом для виведення аудіо-сигналів з моделі на звуковий пристрій. Він дозволяє перевіряти та оцінювати результати обробки аудіо-сигналів у реальному часі, що сприяє розвитку та тестуванню аудіо-систем. Користувачі можуть керувати різними параметрами під час відтворення, щоб покращити якість сигналу. Ці параметри включають частоту дискретизації (кількість вибірок за секунду), бітову глибину (кількість бітів, призначених для кожної вибірки) і конфігурацію каналу (моно або стерео). Коригування цих параметрів впливають на такі фактори, як вірність, точність частотної характеристики та просторове сприйняття.

Блок "To Audio File" в Simulink є корисним інструментом для запису аудіо-сигналів з моделі Simulink у звукові файли. Цей блок дозволяє зберігати оброблені аудіо-сигнали у форматах, таких як WAV, MP3 або AIFF, для подальшого використання або аналізу.

Використання блоку "To Audio File" дозволяє зручно зберігати результати обробки аудіо-сигналів у реальному часі. Можна налаштувати параметри запису, такі як шлях до файлу, формат та якість аудіо, для отримання оптимальних результатів. Записані файли можуть бути використані для аналізу, порівняння або подальшої обробки.

Блок "To Audio File" також дозволяє встановити режим запису, наприклад, одноразовий або циклічний, що дозволяє записувати аудіо-сигнали протягом певного періоду часу або в повторюваних циклах. Це корисно для збору даних або створення звукових ефектів. Записані звукові файли можуть бути використані для різних цілей, включаючи аудіо-аналіз, музичну продукцію, аудіо-синтез та багато іншого. Блок "To Audio File" надає зручний і простий спосіб зберегти оброблені аудіо-сигнали з вашої моделі Simulink для подальшого використання.

Використання блоку "To Audio File" в Simulink дозволяє зручно зберігати і архівувати оброблені аудіо-сигнали. Цей блок дозволяє зберігати результати вашої роботи у вигляді звукових файлів, що сприяє зручному управлінню та обробці аудіо-даних.

Simulink надає кілька блоків, які полегшують імпорт аудіосигналів у його середовище. Двома часто використовуваними блоками є «Audio Device Reader» і «From Audio File». Перший дозволяє безпосередньо взаємодіяти з пристроєм введення аудіо, тоді як другий дозволяє завантажувати з наявних аудіофайлів. Обидва блоки мають певні переваги та обмеження.

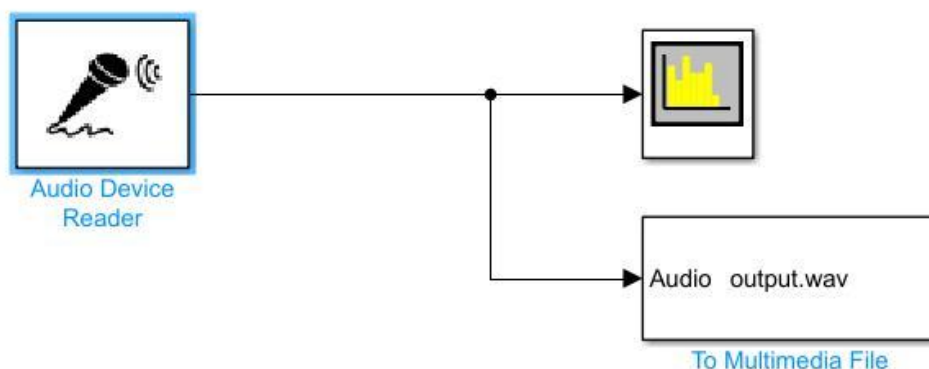


Рисунок 2.4 – Приймання аудіосигналу з мікрофона

Блок «Audio Device Reader» забезпечує можливості потокової передачі в реальному часі шляхом прямого доступу до зовнішніх пристроїв, таких як мікрофони або звукові карти. Він забезпечує

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

гнучкість щодо налаштування якості сигналу, але може мати проблеми сумісності залежно від конфігурації обладнання. Блок читання аудіопристроїв спеціалізується на зчитуванні аудіоданих із зовнішніх пристроїв. Цей блок служить інтерфейсом між Simulink і зовнішнім джерелом, забезпечуючи плавну інтеграцію реальних звукових сигналів у середовище моделювання. Використовуючи цей блок, інженери можуть обробляти й аналізувати аудіодані, отримані з різних джерел, таких як мікрофони чи інші пристрої введення звуку.

Одним із основних параметрів, які можна регулювати в блоці читання аудіопристроїв, є частота дискретизації. Частота дискретизації визначає, скільки вибірок за секунду збирається під час збору аудіоданих. Вища частота дискретизації дозволяє точніше представити високочастотні компоненти, але також призводить до більшої кількості даних для обробки. З іншого боку, менша частота дискретизації зменшує вимоги до обчислень, але може призвести до втрати інформації у високочастотних областях.

Ще одним важливим параметром є розмір буфера. Розмір буфера впливає на обробку в реальному часі та затримку в аудіододатках. Більший розмір буфера дозволяє обробляти більше зразків одночасно, зменшуючи затримки обробки за рахунок збільшення використання пам'яті. І навпаки, менший розмір буфера мінімізує затримку, але може призвести до потенційних перебоїв через часті оновлення.

Крім того, параметр вхідних каналів дозволяє користувачам вибирати конкретні канали або комбінації каналів для збору даних з багатоканальних пристроїв, таких як стереомікрофони або системи об'ємного звучання. Ця гнучкість дозволяє інженерам зосередитися на конкретних аспектах або джерелах аудіосигналу під час виконання завдань аналізу або обробки.

Підсумовуючи, розуміння та використання блоку зчитування аудіопристроїв у Simulink має важливе значення для інженерів, які працюють над аудіопроєктами в електротехнічних дисциплінах. Завдяки здатності зчитувати аудіодані із зовнішніх джерел і регулювати ключові параметри, такі як частота дискретизації, розмір буфера та вхідні канали, цей блок дає змогу інженерам виконувати точну обробку та аналіз аудіосигналу.

З іншого боку, блок «From Audio File» пропонує зручність, дозволяючи користувачам легко імпортувати попередньо записані аудіофайли. Незважаючи на те, що він забезпечує сумісність між різними системами та дозволяє уникнути можливих апаратних проблем, пов'язаних із потоковою трансляцією в реальному часі, у ньому відсутні коригування якості сигналу в реальному часі.

Використання блоку "From Audio File" дозволяє отримувати аудіо-сигнали з файлів у різних форматах, таких як WAV, MP3, або AIFF. Це дає можливість використовувати реальні аудіо-дані в моделі Simulink для дослідження, синтезу аудіо-сигналів, або розробки аудіо-процесорів.

Блок "From Audio File" має різноманітні налаштування, які дозволяють визначити параметри зчитування аудіо-файлу, такі як частота дискретизації, кількість каналів та формат даних. Це дозволяє адаптувати блок до вимог конкретного дослідження або застосування.

Після імпорту аудіо-сигналу у Simulink, можна використовувати різні сигнальні блоки для обробки аудіо, такі як фільтри, еквайзери, семплери та інші. Це дозволяє творити складні аудіо-системи та ефекти, моделювати акустичні середовища або проводити дослідження у галузі обробки звуку. Блок "From Audio File" у Simulink є потужним інструментом для роботи з аудіо-сигналами та їх моделювання. Він дозволяє імпортувати аудіо-файли та використовувати їх у модельних

системах Simulink для проведення досліджень, розробки та тестування аудіо-систем.

Блок Spectrum Analyzer (рисунок 2.4.) в Simulink є потужним інструментом для аналізу спектра сигналів у реальному часі. Він дозволяє візуалізувати та виводити спектральні характеристики сигналів, що допомагає в розумінні їх структури, частотного складу та інших важливих параметрів. Одним з головних застосувань блока Spectrum Analyzer є аналіз сигналів у реальному часі. Він може бути використаний для спостереження та аналізу спектральних характеристик аудіо- та сигналів, які можуть змінюватися з часом. Наприклад, в музичній індустрії його можна використовувати для відслідковування частотних компонентів музичного сигналу під час виконання.

Крім того, блок Spectrum Analyzer є корисним інструментом для валідації та налагодження алгоритмів обробки сигналів. Він дозволяє аналізувати вихідні та оброблені сигнали, порівнювати їх спектральні склади та визначати ефективність обробки. Це особливо важливо в областях, таких як аудіо-сигнальна обробка, радіотехніка, телекомунікації та інші, де якість та точність обробки сигналів має велике значення. Блок Spectrum Analyzer також може бути використаний для моніторингу та відладки систем передачі даних. Він допомагає виявляти проблеми зі спектральною чистотою сигналів, такі як спотворення, шуми, перекривання та інші. Це дозволяє інженерам швидко виявляти та виправляти проблеми в системах передачі даних, забезпечуючи надійність та якість передаваних сигналів.

Блок Spectrum Analyzer дозволяє дослідникам, інженерам та розробникам ефективно аналізувати спектральні характеристики сигналів, виявляти проблеми та вдосконалювати алгоритми обробки сигналів.

### 2.1.1 Налаштування звукових пристроїв

Simulation Pacing - це функціональність, що доступна у середовищі моделювання Simulink, яка дозволяє контролювати швидкість виконання симуляційних процесів та запускати їх з прив'язкою до системного часу комп'ютера. Вона забезпечує можливість регулювати швидкість симуляції з метою детальнішого аналізу та налагодження моделей. Simulation Pacing дозволяє встановлювати певні періоди затримки між кроками симуляції, що дозволяє сповільнити її виконання. Це особливо корисно, коли потрібно вивчати динаміку моделі на кожному кроці або коли необхідно приступити до налагодження алгоритмів у реальному часі.

Користувач може задати час затримки між кроками симуляції вручну або автоматично, використовуючи функцію Simulation Pacing. Вручну встановлений час затримки дозволяє встановити фіксований інтервал між кроками, тоді як автоматичне регулювання затримки відбувається в залежності від часу, потрібного для обчислення кожного кроку моделі. Ця функція корисна для виявлення проблемних ділянок моделі, пошуку ефективних оптимізацій алгоритмів та дослідження впливу різних параметрів на поведінку моделі.

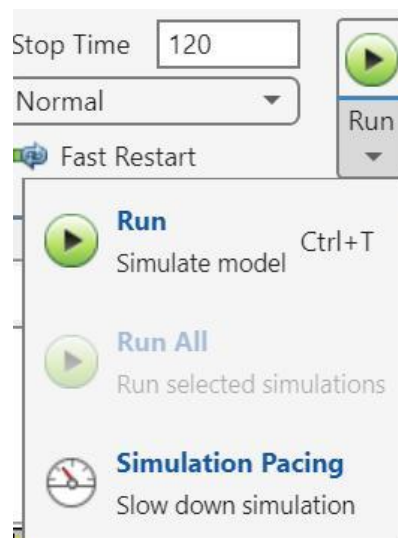


Рисунок 2.5 – Налаштування системи для роботи в реальному часі

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

На рисунку 2.6 зображено схему додавання шуму з рівномірним розподілом до вхідного сигналу. Схема призначена для дослідження завадостійкості засобів обробки звукових сигналів.

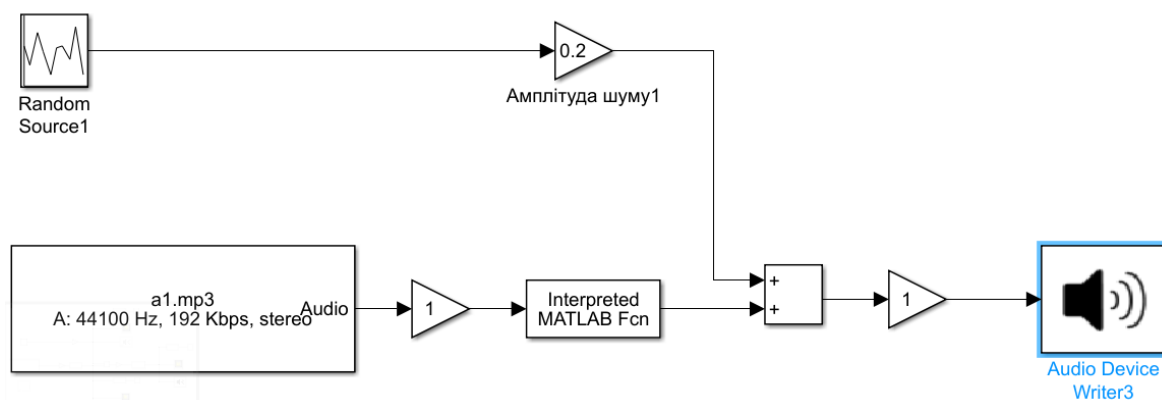


Рисунок 2.6 – Тестова схема додавання рівномірного шуму до аудіосигналу

Налаштування генератора шуму зображено на рисунку 2.7.

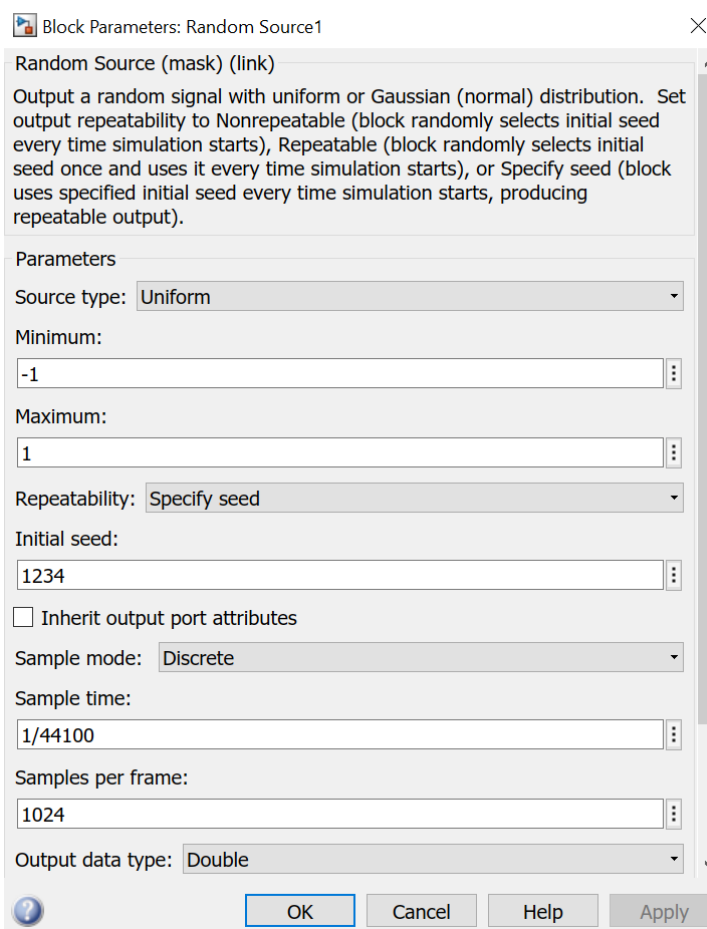


Рисунок 2.7 – Налаштування генератора шуму

## 2.1.2 Характеристики звукового сигналу

Спектр та спектрограма вхідного аудіосигналу, отримані за допомогою блоку Spectrum Analyzer, зображені на рисунку 2.8.

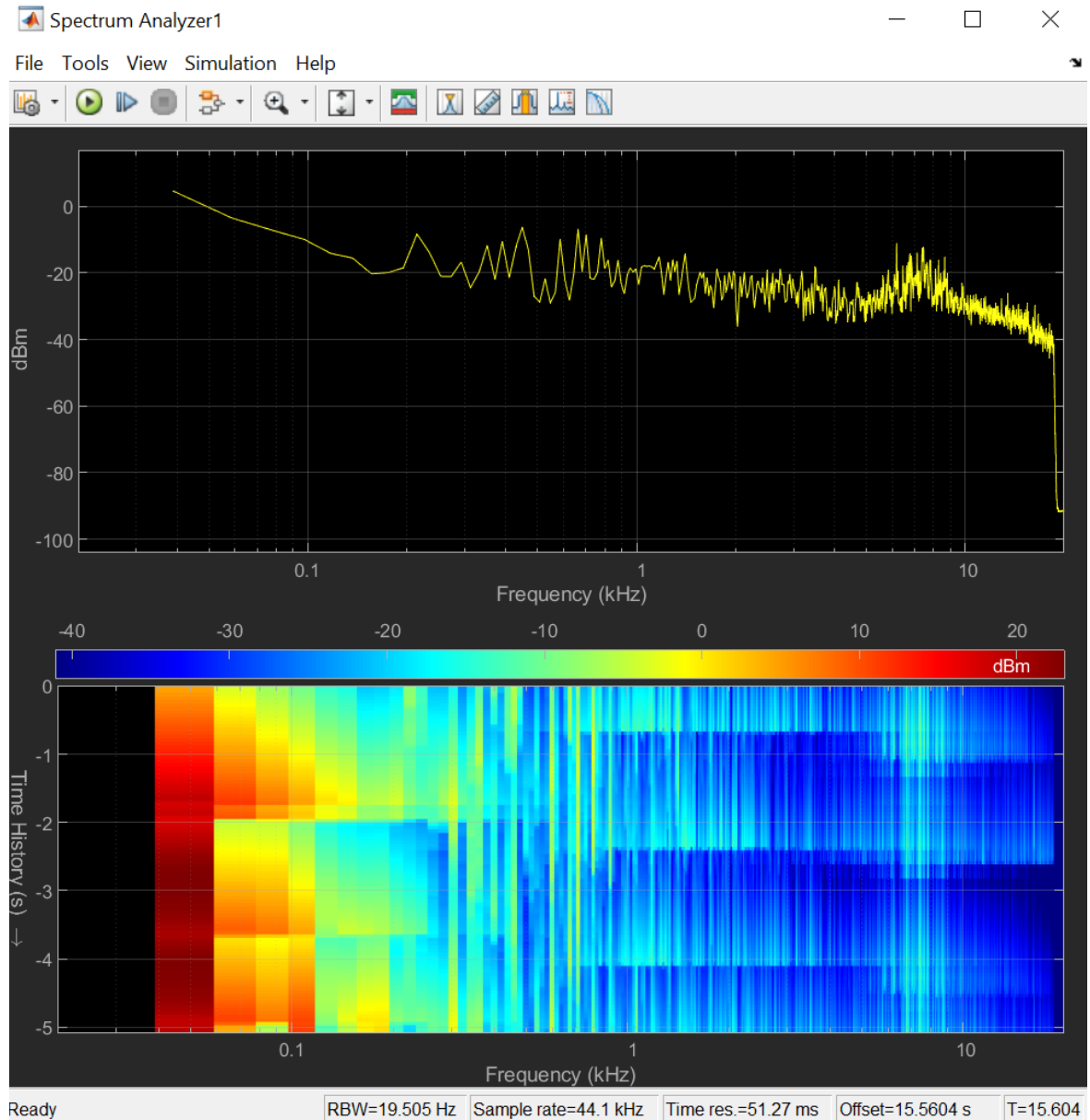


Рисунок 2.8 – Спектр і спектрограма вхідного аудіосигналу

Як показує спектрограма, звукові коливання змінюються з часом та розподілені в області звукових частот. Слід зазначити, що

відображення спектрограми залежить від вибору ширини часового вікна та віконної функції.

На рисунку 2.9 зображено спектр та спектрограму шуму, який є випадковим сигналом з рівномірним статистичним розподілом значень амплітуди.

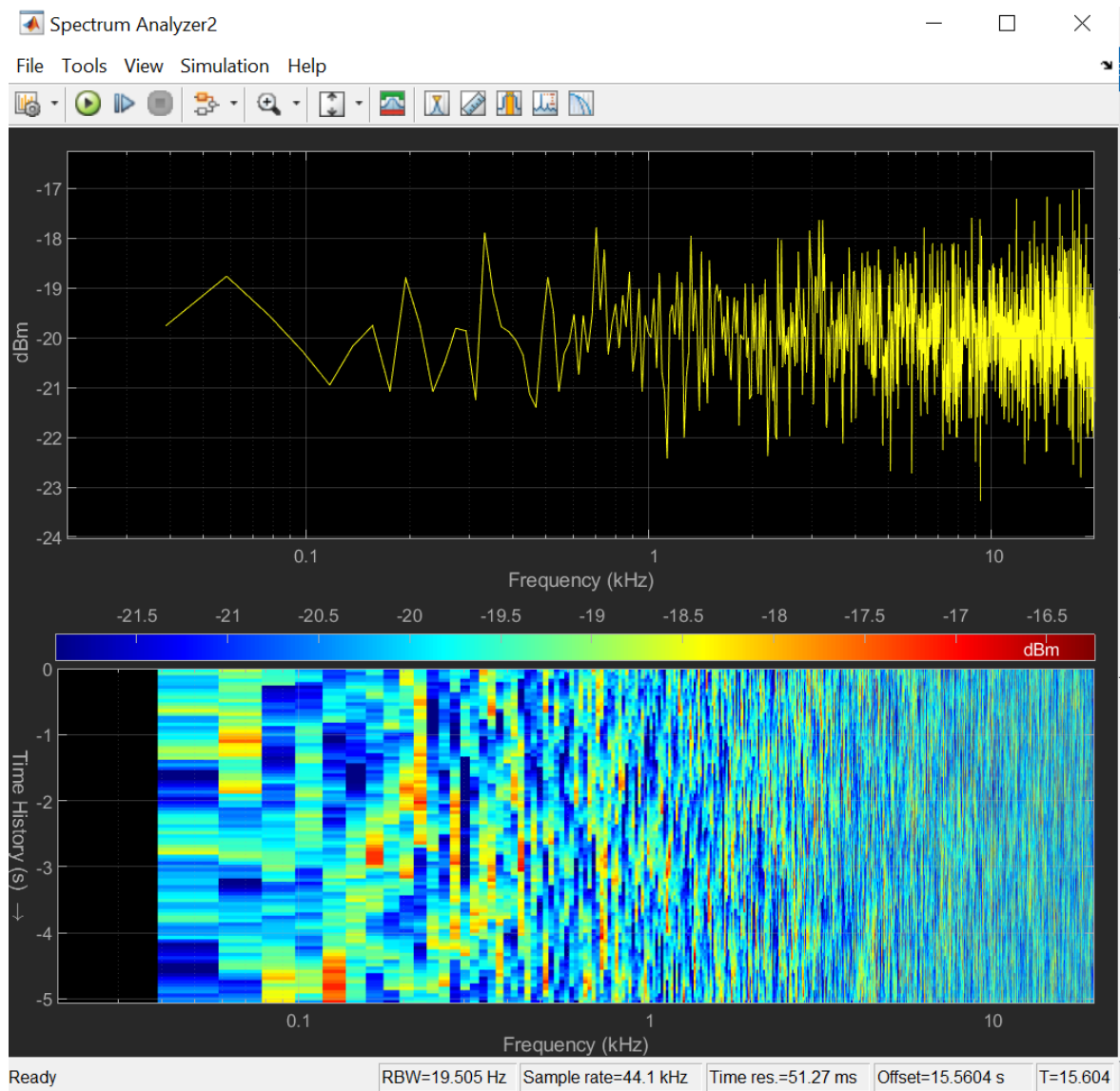


Рисунок 2.9 – Спектр і спектрограма рівномірного шуму

Як показує рисунок 2.9, шум розподілений рівномірно як за часом, так і за частотою.

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

## 2.2 Синтез цифрового фільтра

Запуск додатку filterDesigner для синтезу цифрових фільтрів у MATLAB зображено на рисунку 2.10.

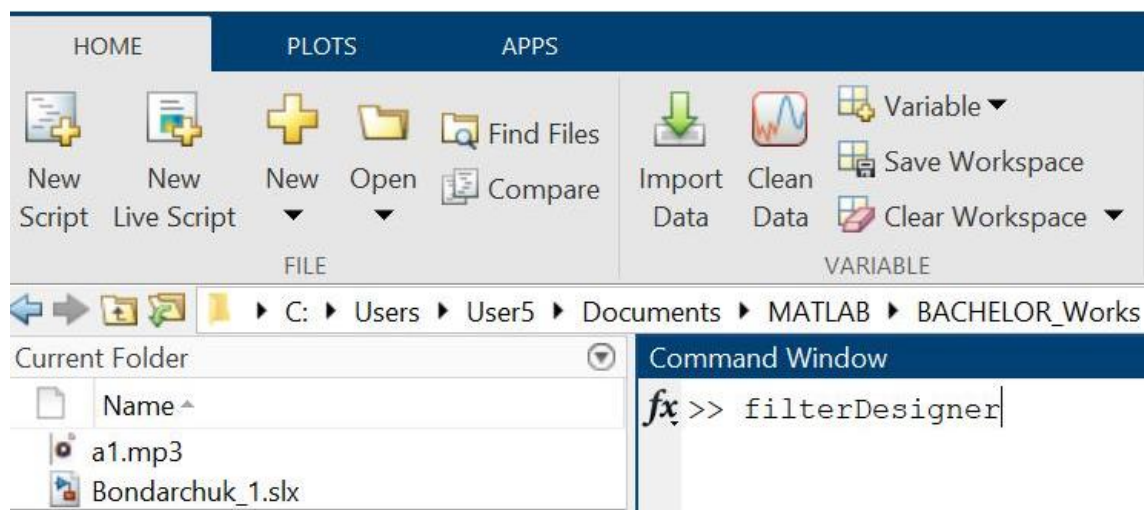


Рисунок 2.10 – Запуск додатку для синтезу цифрових фільтрів

Процес синтезу цифрових фільтрів є важливою складовою багатьох сигнальних обробок і систем обробки сигналів. Додаток filterDesigner, що доступний в середовищі MATLAB, надає зручний і потужний інтерфейс для проектування цифрових фільтрів з різноманітними характеристиками.

У filterDesigner користувач може вибрати тип фільтра (наприклад, низькочастотний, високочастотний, смугопропусний, смугозагороджуючий тощо) та специфіку його параметрів, таких як частотні характеристики, розмір вікна, децибелеве падіння, коефіцієнти переходу і затухання. FilterDesigner також підтримує різні методи проектування, такі як метод вагової функції, метод Кайзера і інші.

Після вибору типу фільтра та його параметрів, filterDesigner використовує алгоритми і методи для генерації оптимального числового представлення фільтра. Користувач може переглядати і аналізувати

частотні характеристики фільтра в режимі реального часу, а також налаштовувати його параметри для досягнення бажаної якості сигналу. Однією з переваг filterDesigner є можливість експортувати синтезований фільтр у вигляді коефіцієнтів фільтра, які можуть бути використані у програмних або апаратних реалізаціях. Користувач також може зберегти свої налаштування фільтра для подальшого використання та порівняння з іншими фільтрами.

Застосування filterDesigner дозволяє ефективно розробляти та оптимізувати цифрові фільтри з мінімальними зусиллями. Він спрощує складність проектування фільтрів і дозволяє швидко експериментувати з різними налаштуваннями для досягнення оптимального рівня обробки сигналу.

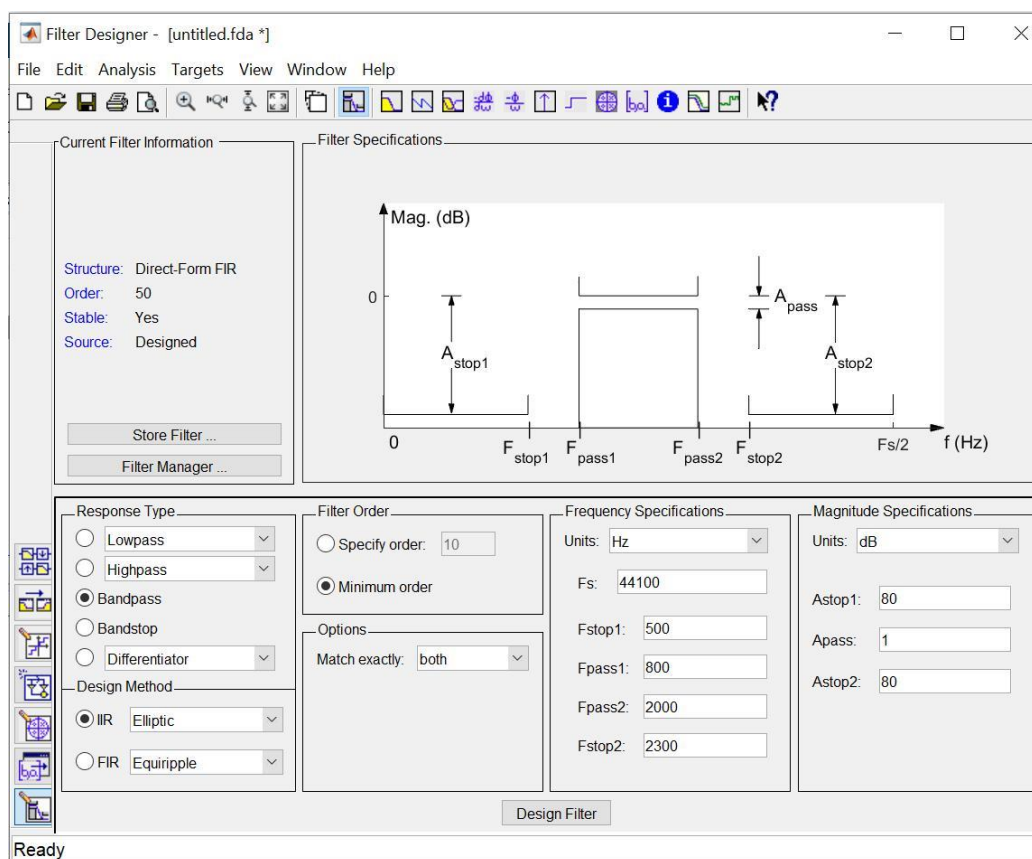


Рисунок 2.11 – Додаток FilterDesigner для синтезу цифрових фільтрів

Найголовнішим параметром на початку розробки цифрового фільтра є його частота дискретизації.

Налаштування частоти дискретизації відповідно до параметрів звукової карти комп'ютера зображено на рисунку 2.12.

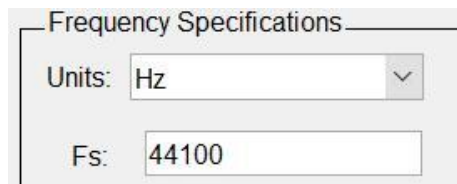


Рисунок 2.12 – Налаштування частоти дискретизації

Умови для синтезу цифрового фільтра зображені на рисунку 2.13.

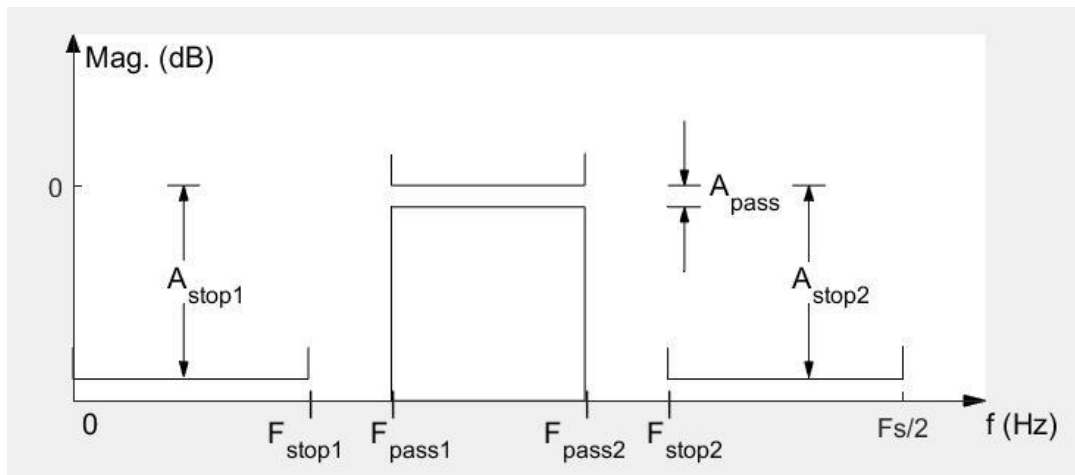


Рисунок 2.13 – Умови синтезу цифрового фільтра

Синтез цифрових фільтрів є важливим етапом в процесі обробки сигналів, і він дозволяє створювати фільтри з необхідними характеристиками для відфільтрування, підсилення або модифікації сигналів. Умови для синтезу цифрових фільтрів варіюються в залежності від конкретних вимог і задач, але загалом включають наступні аспекти.

Перш за все, визначення типу фільтра є ключовим етапом. Розрізняють різні типи фільтрів, такі як низькочастотні, високочастотні, смугопропускні, смугозагороджуючі, фазово-робочі та інші. Вибір типу

фільтра залежить від завдання і потрібних характеристик, наприклад, діапазону частот або допустимої амплітудної чи фазової характеристики.

Другим важливим аспектом є визначення частотних характеристик фільтра. Це включає визначення частотного діапазону, розмірів смуги переходу, децибелевого падіння та затухання фільтра. Ці параметри визначають, як фільтр поводитиметься з різними частотами і як буде виконуватися фільтрація сигналів.

Третім етапом є вибір методу проектування. Існують різні методи, такі як метод вагової функції, метод Кайзера, метод мінімальних квадратів та ін.

В процесі досліджень синтезовано фільтр 16 порядку, який складається із шести бікватратних секцій передавальної функції. Структура фільтра реалізована у прямій формі типу II. Як показує filterDesigner, поведінка синтезованого фільтра стабільна.

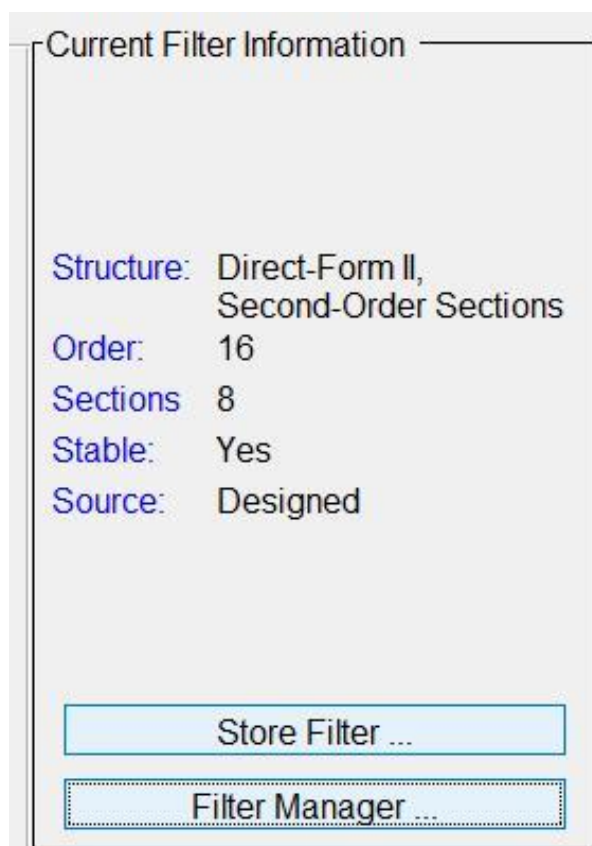


Рисунок 2.14 – Основні параметри синтезованого фільтра

Синтезований фільтр збережено у бібліотеці filterDesigner:

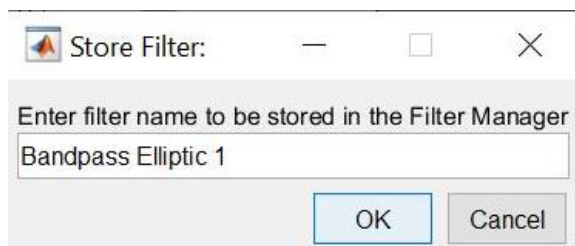


Рисунок 2.15 – Збереження фільтра у бібліотеці

Процес експорту синтезованого фільтра в Simulink зображено на рисунку 2.16.

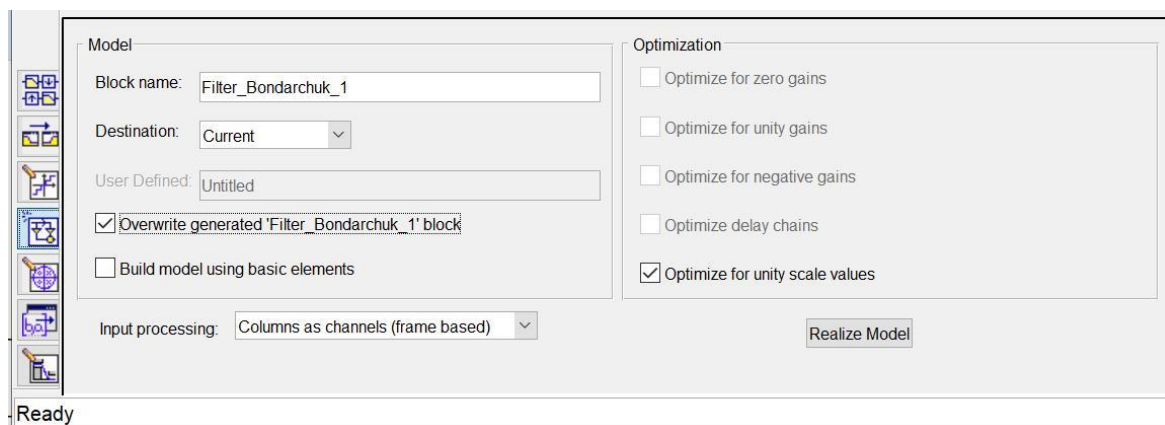


Рисунок 2.16 – Експорт синтезованого фільтра до Simulink

На рисунку 2.17 зображено блок синтезованого фільтра, отриманий в результаті експорту з filterDesigner до Simulink.

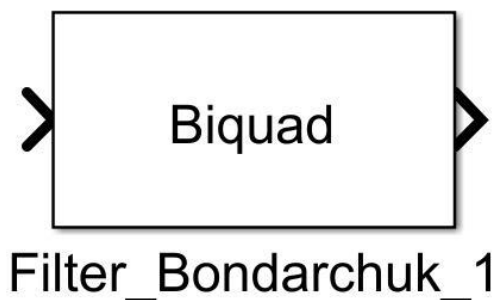


Рисунок 2.17 – Блок синтезованого фільтра в Simulink

Схема для тестування розробленого за допомогою filterDesigner засобу зображена на рисунку 2.18.

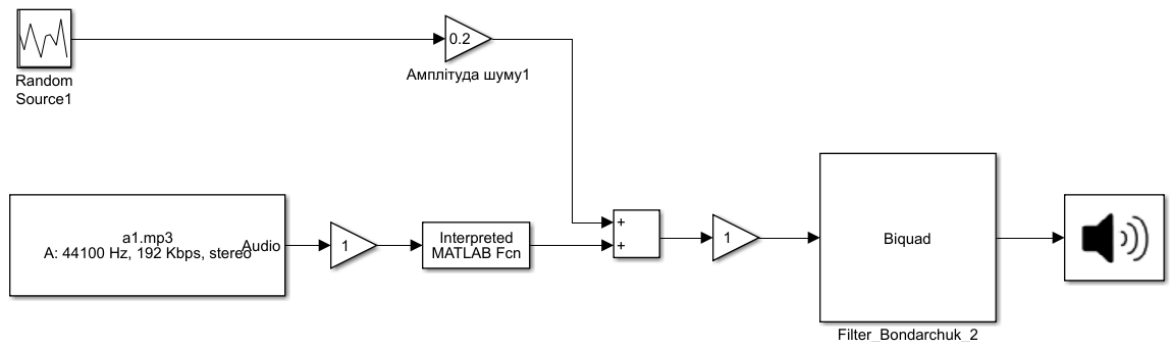


Рисунок 2.18 – Схема тестування

### 2.2.1 Частотні характеристики

Частотні характеристики цифрового фільтра є ключовими для його ефективності та функціональності. Частотний відгук фільтра показує, як фільтр реагує на різні частоти сигналу. Він може бути представлений у вигляді амплітудної характеристики та фазової характеристики. Амплітудна характеристика відображає зміну амплітуди сигналу при різних частотах. Вона визначає, як сильно смуговий фільтр підсилює або приглушує сигнали у певному діапазоні частот. Фазова характеристика показує зсув фази сигналу при проходженні через фільтр. Вона важлива для деяких застосувань, таких як обробка аудіо- або відеосигналів, де точна відтворення фази сигналу має значення.

Амплітудна характеристика цифрового смугового фільтра може мати різні форми. Наприклад, фільтр може мати "плоску" амплітудну характеристику, що означає, що він майже не змінює амплітуду сигналу у певному діапазоні частот. Це корисно для передачі або прийому сигналів у мережах передачі даних, де необхідно забезпечити незмінність амплітуди сигналу. Фільтр також може мати "пропускну"

амплітудну характеристику, де він пропускає сигнали у певному діапазоні частот, а приглушує сигнали поза цим діапазоном. Це корисно для виділення або підсилення конкретних компонентів сигналу.

Параметри амплітудної характеристики смугового фільтра включають центральну частоту, ширину смуги переходу і показники приглушення. Центральна частота визначає середину діапазону частот, який фільтр пропускає. Ширина смуги переходу вказує на діапазон частот, в якому фільтр поступово переходить з пропускового до приглушеного стану. Показники приглушення визначають, наскільки сильно фільтр приглушує сигнали поза пропусковим діапазоном.

Частотні характеристики цифрового смугового фільтра визначають його ефективність і здатність відокремлювати сигнали у певних діапазонах частот. Вони дозволяють регулювати параметри фільтра, щоб досягти необхідної функціональності і задовольнити конкретні вимоги проекту. Отже, розуміння та використання частотних характеристик цифрових смугових фільтрів є важливим аспектом їх синтезу та оптимізації.

Амплітудно-частотна характеристика розробленого засобу зображена на рисунку 2.19.

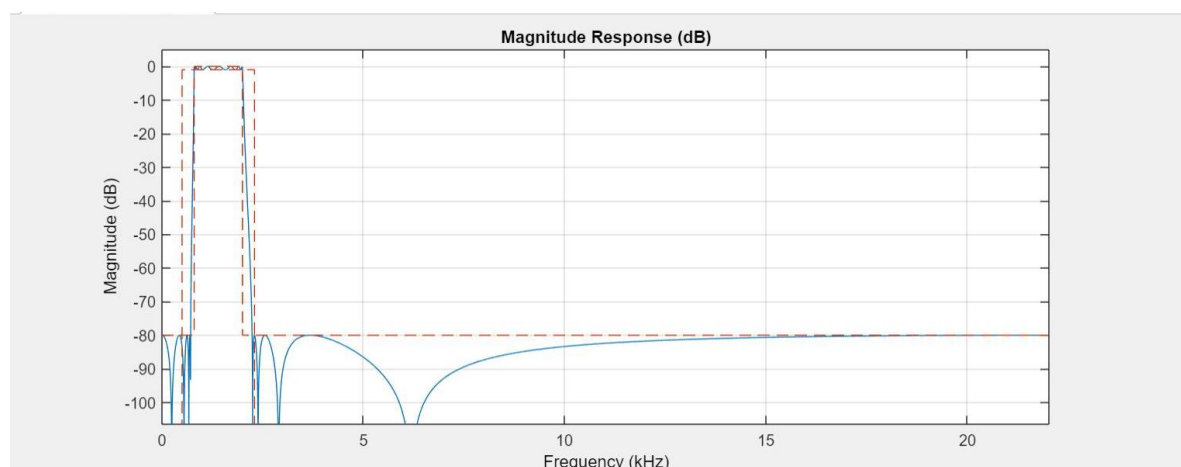


Рисунок 2.19 – Амплітудно-частотна характеристика

Фазочастотна характеристика зображена на рисунку 2.20.

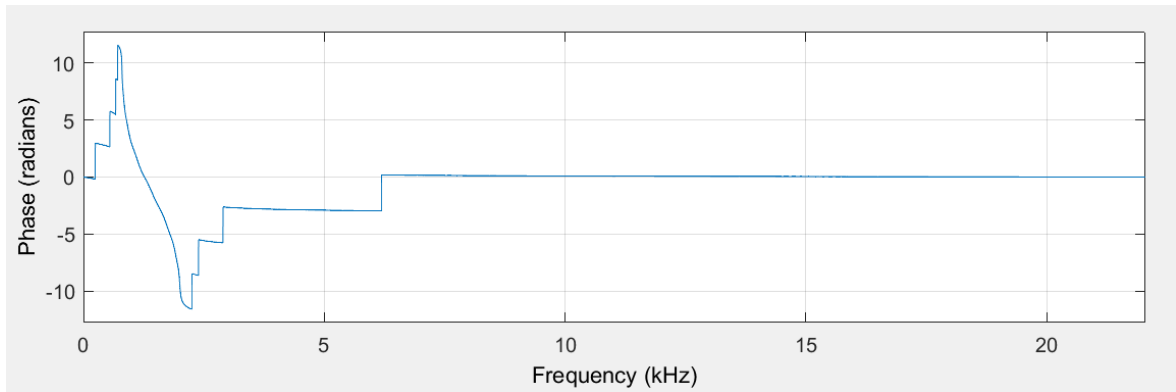


Рисунок 2.20 – Фазочастотна характеристика

На рисунку 2.21 зображено спектр потужності похибки округлення розробленого цифрового фільтра.

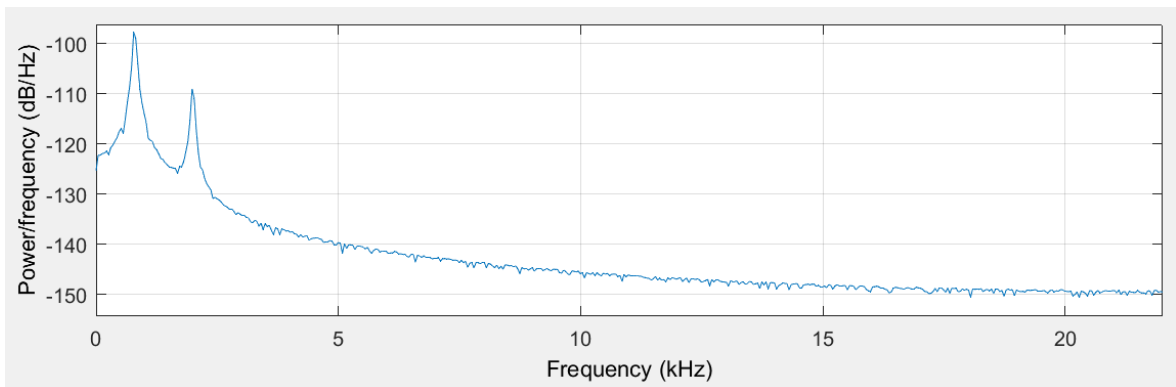


Рисунок 2.21 – Спектр потужності похибки округлення

Спектр потужності похибки округлення характеризує здатність даного цифрового фільтра створювати негативні ефекти квантування при обробці сигналів. Одна з основних похибок, пов'язаних з квантуванням, - це похибка квантування амплітуди. Вона виникає через обмежену кількість бітів, використовуваних для представлення амплітуди сигналу. Чим менша кількість бітів використовується, тим більша похибка квантування амплітуди. Ця похибка може призвести до спотворень сигналу та втрати інформації. Крім того, існує також

похибка квантування частоти. Це відбувається, коли частота сигналу потрапляє в діапазон, де точність квантування частоти обмежена. Це може призвести до некоректного представлення частоти сигналу та появи нежаданих спектральних складових.

Для зменшення впливу похибок квантування, можна використовувати більшу кількість бітів для представлення сигналу. Це дозволяє збільшити точність і зменшити похибки квантування. Також можна використовувати техніки обробки сигналів, такі як застосування компандерів або алгоритмів компресії, щоб зменшити вплив похибок квантування на якість сигналу.

На рисунку 2.22 показано відображення коефіцієнтів передавальної функції фільтра.

```
Section #1
-----
Numerator:
 1
-1.885393491235817231554960926587227731943
 1
Denominator:
 1
-1.909257689860658135927451439783908426762
 0.982741777736518717922820087551372125745
Gain:
0.730695617084542226038479384442325681448
-----
```

Рисунок 2.22 – Відображення коефіцієнтів передавальної функції

На рисунку 2.23 зображено діаграму нулів та полюсів передавальної функції фільтра.

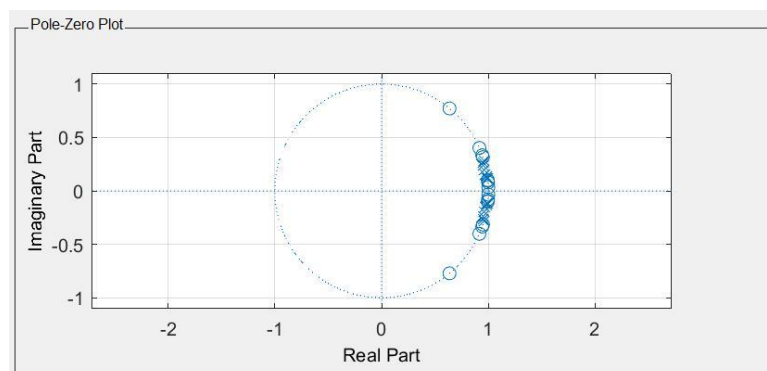


Рисунок 2.23 – Діаграма нулів та полюсів передавальної функції

## 2.2.2 Часові характеристики

Імпульсна характеристика розробленого засобу зображена на рисунку 2.24.

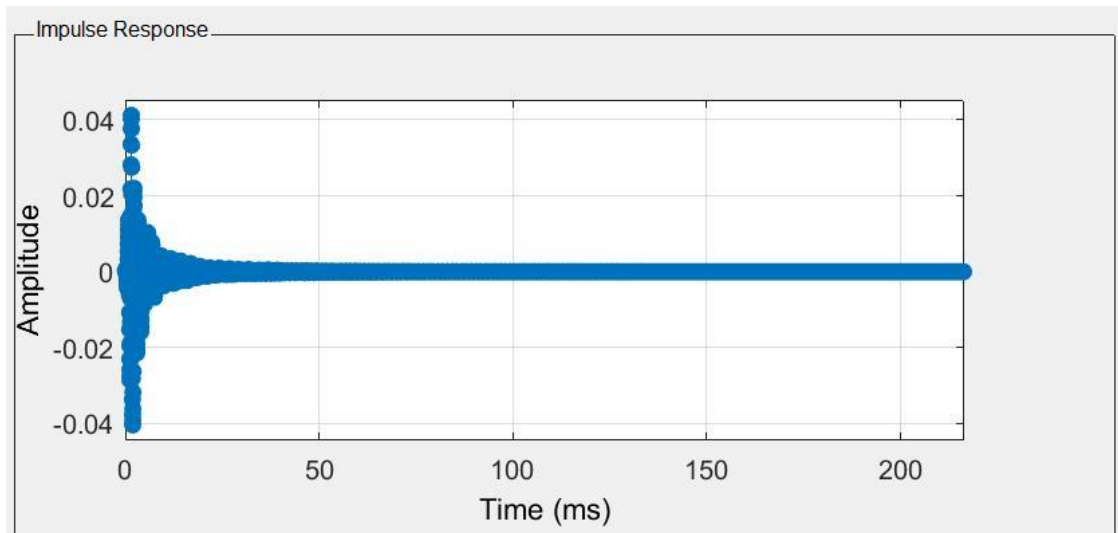


Рисунок 2.24 – Імпульсна характеристика

Перехідна характеристика зображена на рисунку 2.25.

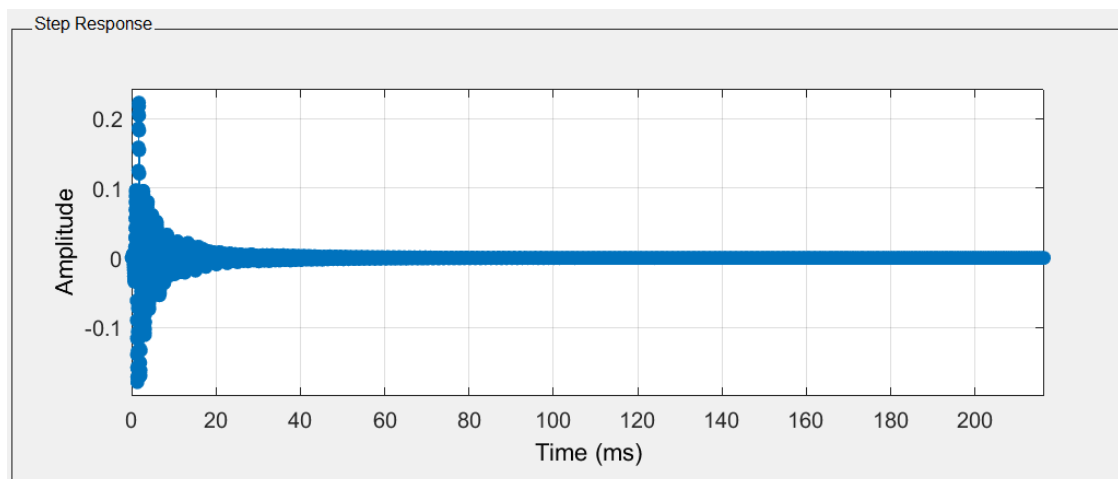


Рисунок 2.25 – Перехідна характеристика

Отримані часові характеристики дозволяють прогнозувати динаміку функціонування пристрою в часовій області

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

### 2.3 Висновки до другого розділу

Розробка пристроїв цифрової обробки аудіосигналів за допомогою застосунку filterDesigner в MATLAB є надзвичайно ефективною та корисною. FilterDesigner - це потужний інструмент, що дозволяє зручно проектувати та оптимізувати цифрові фільтри для обробки аудіосигналів.

Однією з головних переваг використання filterDesigner є його інтуїтивний та зручний інтерфейс. Він надає графічне представлення фільтрів та дозволяє вибирати різні типи фільтрів, встановлювати їх параметри та оптимізувати їх характеристики. Це значно спрощує процес проектування фільтрів і дозволяє швидко експериментувати з різними налаштуваннями, щоб досягти бажаних результатів обробки аудіосигналів. Крім того, filterDesigner забезпечує можливість візуального аналізу та оцінки характеристик фільтрів. Він дозволяє відображати амплітудну та фазову характеристики фільтрів, а також виконувати аналіз спектральних характеристик. Це дозволяє розробникам детально вивчити та візуалізувати вплив фільтрів на аудіосигнали та внести необхідні корективи для досягнення оптимальних результатів обробки.

Характеристики розробленого фільтра демонструють високу крутизну схилів амплітудно-частотної характеристики та стабільність роботи, що важливо у задачах прийому сигналів з високим рівнем шуму.

Розроблений у додатку filterDesigner цифровий фільтр експортовано до Simulink та у MATLAB Workspace, що дозволяє виконувати аналіз його часових та частотних характеристик у різних середовищах, а також проводити імітаційне моделювання і включати розроблений засіб у системи реального часу.

### 3 АНАЛІЗ ПАРАМЕТРІВ ТА ХАРАКТЕРИСТИК ЗАСОБУ ДЛЯ ЗНИЖЕННЯ РІВНЯ ШУМІВ З РІВНОМІРНИМ РОЗПОДІЛОМ

#### 3.1 Імітаційне моделювання засобу для зниження рівня шуму

Імітаційне моделювання шляхом розв'язання систем диференціальних рівнянь в середовищі Simulink є важливим інструментом для аналізу та вивчення поведінки складних систем. Цей підхід дозволяє досліджувати динаміку системи, моделювати різні сценарії та з'ясувати вплив різних факторів на систему.

Одним з ключових методів імітаційного моделювання є використання блоків для розв'язання диференціальних рівнянь. У Simulink є різні блоки, такі як "ODE Solver" (розв'язувач звичайних диференціальних рівнянь), "Differential Equation" (блок для задання диференціального рівняння) та інші, які дозволяють моделювати системи диференціальних рівнянь.

Перш за все, необхідно задати систему диференціальних рівнянь, яку потрібно розв'язати. Це може бути одне або кілька диференціальних рівнянь, що описують динаміку системи. За допомогою блоків "Differential Equation" можна вказати ці рівняння та задати початкові умови.

Після цього необхідно вибрати розв'язувач для системи диференціальних рівнянь. Simulink надає кілька вбудованих розв'язувачів, таких як "ode45", "ode23", "ode15s" та інші. Кожен з них має свої особливості і підходить для різних типів систем. Вибір розв'язувача залежить від характеристик системи та поставлених завдань моделювання.

У Simulink автоматичний вибір розв'язувача ODE (звичайних диференціальних рівнянь) дозволяє зручно та ефективно симулювати моделі з диференціальними рівняннями. При симуляції, Simulink автоматично визначає найбільш підходящий розв'язувач для заданої системи диференціальних рівнянь. Це спрощує процес моделювання та дозволяє зосередитись на аналізі результатів, замість ручного вибору розв'язувача. Автоматичний вибір розв'язувача забезпечує оптимальний баланс між точністю та швидкістю симуляції, що є важливим для ефективного моделювання динамічних систем.

Після вибору розв'язувача і задання системи диференціальних рівнянь, можна перейти до симуляції моделі. Під час симуляції Simulink обчислює чисельне розв'язання системи диференціальних рівнянь з використанням обраного розв'язувача. Результати симуляції можуть бути представлені у вигляді графіків, таблиць або інших форматів, що дозволяють аналізувати поведінку системи в часовій області.

Перевагою імітаційного моделювання шляхом розв'язання систем диференціальних рівнянь є можливість проводити параметричний аналіз. Змінюючи параметри системи, можна вивчати їх вплив на динаміку системи та знаходити оптимальні значення для досягнення заданих цілей. Це дозволяє виконувати дослідження та оптимізацію системи, необхідну для розробки ефективних алгоритмів управління, прогнозування та інших застосувань.

Імітаційне моделювання шляхом розв'язання систем диференціальних рівнянь в Simulink є потужним інструментом для вивчення та аналізу динаміки складних систем. Воно дозволяє досліджувати різноманітні сценарії, виконувати параметричний аналіз та забезпечувати ефективну розробку алгоритмів управління та прогнозування. Цей підхід є незамінним для інженерів та дослідників,

що працюють зі складними системами та шукають ефективні рішення для своїх завдань.

Використання імітаційного моделювання в середовищі Simulink дозволяє ефективно досліджувати і тестувати різні методи зниження шуму та вибрати найбільш найкращий підхід.

Засоби фільтрації звукових сигналів в Simulink надають розробникам та дослідникам потужний інструментарій для обробки аудіо-сигналів з метою зменшення шумів, видалення небажаних компонентів та покращення якості звуку. Розглянемо засоби фільтрації, доступні в FilterDesigner.

Блок "Lowpass FIR Filter" використовує фільтри нижньої частоти для видалення високочастотних компонентів зі звукового сигналу. Фільтр нижньої частоти пропускає лише низькочастотні компоненти, видаляючи при цьому високочастотний шум і зберігаючи низькочастотні компоненти, що допомагає поліпшити якість звуку.

Блок "Highpass FIR Filter" використовує фільтри верхньої частоти для видалення низькочастотних компонентів зі звукового сигналу. Фільтр верхньої частоти пропускає лише високочастотні компоненти, видаляючи при цьому низькочастотний шум і зберігаючи високочастотні компоненти, що може бути корисним при виявленні та аналізі звуків, що виникають на високих частотах.

Блок "Bandpass FIR Filter" використовує фільтри смугової пропускання для виділення певних частотних діапазонів із звукового сигналу. Фільтр смугової пропускання дозволяє пропускати лише сигнали, що знаходяться у заданому діапазоні частот, видаляючи при цьому небажані компоненти, що допомагає виявити і аналізувати конкретні звуки чи звукові ефекти.

Блок "Bandstop FIR Filter" використовує фільтри смугового затримання для видалення певних частотних діапазонів із звукового сигналу. Фільтр смугового затримання дозволяє видаляти сигнали, що знаходяться у заданому діапазоні частот, а зберігає інші, що допомагає виділити та виділити небажані компоненти аудіо-сигналу.

Схема для тестування та дослідження засобу зниження рівня шуму зображена на рисунку 3.1.

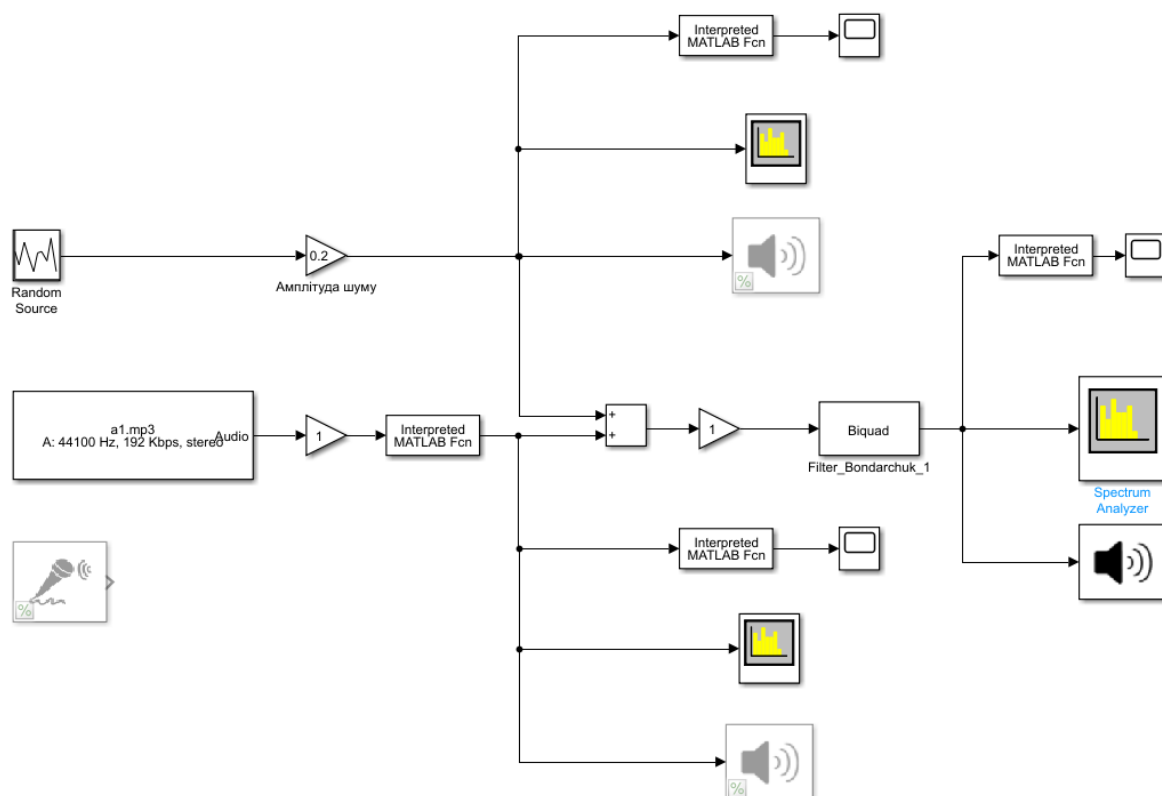


Рисунок 3.1 – Схема тестування засобу для зниження рівня шуму

Імітаційне моделювання дозволяє ефективно дослідити параметри та характеристики розробленого засобу для зниження рівня шуму з рівномірним розподілом.

Однією з особливостей імітаційного моделювання цифрових фільтрів в Simulink є наявність широкого спектра блоків, що відповідають різним типам фільтрів, які можна використовувати у моделі. Вибір відповідного блоку залежить від специфіки задачі та потреб користувача.

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

Важливим завданням імітаційного моделювання цифрових фільтрів є валідація та верифікація їхньої роботи. За допомогою введення тестових сигналів та порівняння результатів моделювання з очікуваними значеннями, можна переконатися в правильності роботи фільтра та визначити його характеристики.

Валідація та верифікація роботи цифрових фільтрів в Simulink є критичними етапами у розробці алгоритмів обробки сигналів. Ці процеси дозволяють перевірити правильність та ефективність роботи фільтрів перед їх застосуванням у реальних системах. Валідація перевіряє коректність математичного опису фільтра, тобто перевірка, чи фільтр виконує ті самі операції, що й очікувалось. Верифікація перевіряє коректність імплементації фільтра, тобто перевірка, чи програма, що реалізує фільтр, працює правильно на різних даних та умовах.

Для валідації роботи цифрових фільтрів у Simulink, перш за все, необхідно перевірити, що реалізація фільтра відповідає його математичному опису. Це може бути зроблено за допомогою спеціальних блоків для симуляції фільтрації. Наприклад, для низькочастотних фільтрів можна використовувати блок "Lowpass Filter", який дозволяє задати параметри фільтра і симулювати його роботу на тестових сигналах. Важливо переконатися, що сигнал проходить через фільтр так, як очікувалось, і отриманий результат відповідає математичному моделю.

Також, валідація роботи фільтрів може включати порівняння результатів роботи фільтра з очікуваними даними або золотим стандартом. Наприклад, якщо фільтр використовується для знімання шуму з сигналу, то можна порівняти вихідний сигнал після фільтрації з оригінальним сигналом без шуму і переконатися, що шум видалено успішно.

Після валідації необхідно провести верифікацію роботи фільтра. Верифікація включає тестування фільтра на різних тестових сигналах та умовах, для переконання, що він працює стабільно та надійно. Можна використовувати різні тестові сигнали, такі як синусоїдальні хвилі, імпульси, шуми тощо. Також можна тестувати фільтр на різних режимах роботи, змінюючи параметри фільтрації.

Важливо провести верифікацію роботи фільтрів на реальних даних, які можуть зустрічатися у реальних застосуваннях. Для цього можна використовувати реальні аудіо чи відео дані, з якими фільтр буде працювати у реальних умовах. Важливо переконатися, що фільтр працює коректно на різних типах даних і не порушує їх структуру та якість.

Таким чином, валідація та верифікація роботи цифрових фільтрів у Simulink є критичними етапами у розробці алгоритмів обробки сигналів. Валідація дозволяє перевірити коректність математичного опису фільтра, а верифікація переконатися, що фільтр працює правильно на різних даних та умовах. Ці процеси допомагають забезпечити стабільність, надійність та ефективність роботи фільтрів у реальних умовах та різних застосуваннях.

Фільтрація звукових сигналів в Simulink у реальному часі є важливим етапом обробки аудіоданих для багатьох застосувань, таких як аудіо-процесинг, голосовий ввід-вивід, звукове синтезування та інші аудіо-задачі в реальному часі. В Simulink є різноманітні інструменти та блоки для фільтрації звукових сигналів, які дозволяють розробникам легко реалізувати фільтрацію в реальному часі та налаштовувати фільтри під свої потреби.

Цифрові фільтри можуть бути реалізовані у формі різних імплементацій, таких як Finite Impulse Response (FIR) або Infinite Impulse Response (IIR). FIR фільтри характеризуються лінійною фазою, що

дозволяє легко реалізувати їх у реальному часі, тоді як ІІR фільтри зазвичай мають кращі характеристики фільтрації, але вимагають більшого обчислювального потужності.

Фільтрація звукових сигналів у реальному часі в Simulink може бути здійснена з використанням спеціальних блоків, таких як "FIR Filter" або "IIR Filter". Ці блоки дозволяють налаштовувати параметри фільтра, такі як коефіцієнти фільтрації, тип фільтра тощо. Вони також підтримують фільтрацію звукових сигналів у реальному часі на основі вхідних аудіо-даних.

За допомогою блоків для фільтрації звукових сигналів в Simulink можна виконувати різні операції, такі як:

1) фільтрація може бути використана для зменшення шуму у звукових сигналах, що дозволяє покращити якість звуку та забезпечити краще сприйняття.

2) виділення певних частот: Фільтрація дозволяє виділяти певні частотні діапазони, що корисно для аналізу та обробки звукових даних.

3) підсилення частот: Фільтрація може бути використана для підсилення певних частот, що дозволяє змінювати тембр звуку.

4) зміна рівня гучності: Фільтрація дозволяє змінювати рівень гучності звукових сигналів, що корисно для аудіо-синтезування та аудіо-ефектів.

Фільтрація звукових сигналів в Simulink у реальному часі є важливим етапом обробки аудіоданих для багатьох застосувань. Застосування цифрових фільтрів та спеціальних блоків у Simulink дозволяє розробникам легко реалізувати фільтрацію в реальному часі та налаштовувати фільтри під свої потреби. Фільтрація звукових сигналів у реальному часі може бути застосована в різних областях, таких як аудіо-процесинг, голосовий ввід-вивід, звукове синтезування та багато інших,

що робить її корисним інструментом для різноманітних аудіо-задач у реальному часі.

Крім того, Simulink також надає можливість створювати і використовувати користувацькі фільтри, які дають змогу налаштовувати фільтрацію звукових сигналів на основі власних потреб та завдань.

Нелінійна фільтрація шуму з рівномірним розподілом є важливим інструментом у обробці сигналів, що дозволяє ефективно зменшити шум та покращити якість сигналу у різних застосуваннях. В Simulink є можливість реалізації нелінійних фільтрів, які забезпечують ефективну фільтрацію шуму з рівномірним розподілом, який є одним із найпоширеніших видів шуму.

Нелінійна фільтрація шуму з рівномірним розподілом в Simulink може бути здійснена з використанням різних методів та підходів. Одним із підходів є використання розташування та розміру окна фільтрації, яке дозволяє забрати велику кількість шуму з сигналу. Для цього можна використовувати фільтри з нелінійною характеристикою або нелінійними функціями згладжування, такі як медіанний фільтр або фільтр середнього значення.

Іншим підходом є використання адаптивних фільтрів, які дозволяють налаштовувати параметри фільтрації залежно від характеристик шуму та сигналу. Адаптивні фільтри використовують алгоритми, які адаптують ваги фільтра в реальному часі для досягнення максимальної ефективності у фільтрації.

Також, важливим аспектом нелінійної фільтрації є використання різних порогових значень, які дозволяють відділити шумові компоненти від сигналу. Визначення оптимальних порогів дозволяє ефективно фільтрувати шум, забезпечуючи при цьому збереження суттєвих деталей сигналу.

Функція "NL-Means Denoising" у Simulink дозволяє здійснювати нелінійну фільтрацію шуму з рівномірним розподілом. Вона може бути використана для зменшення шуму в зображеннях, звукових сигналах та інших видів сигналів з рівномірним розподілом.

Узагальнюючи, нелінійна фільтрація шуму з рівномірним розподілом у Simulink є потужним інструментом у обробці сигналів. Вона дозволяє ефективно видаляти шум та зберігати важливі деталі сигналу. Застосування різноманітних підходів і методів фільтрації дозволяє забезпечити ефективну та точну фільтрацію шуму з рівномірним розподілом, що робить цей інструментарій незамінним для різних аудіо-задач у реальному часі.

Застосування засобів фільтрації звукових сигналів в Simulink є важливим інструментом у обробці аудіо-даних, який допомагає знизити шум, видалити небажані компоненти та покращити якість звуку. Використання різних фільтрів дозволяє отримати більш точний та чистий звук, що робить їх незамінними інструментами для різноманітних застосувань, таких як обробка аудіо-сигналів у медицині, звукові ефекти у музиці, покращення якості звуку у комунікаціях та багато інших областях.

### 3.2 Результати моделювання у часовій області

У часовій області проведено імітаційне моделювання засобу для зниження рівня шумів з рівномірним розподілом у сигналах звукових частот з використанням синтезованого цифрового фільтра, який дозволяє знижувати рівень завад на звукових частотах.

Розроблений засіб функціонує у реальному масштабі часу та синхронізується із звуковою картою комп'ютера відповідно до її частоти дискретизації і розрядності.

На рисунку 3.2 зображено осцилограму шумового сигналу.

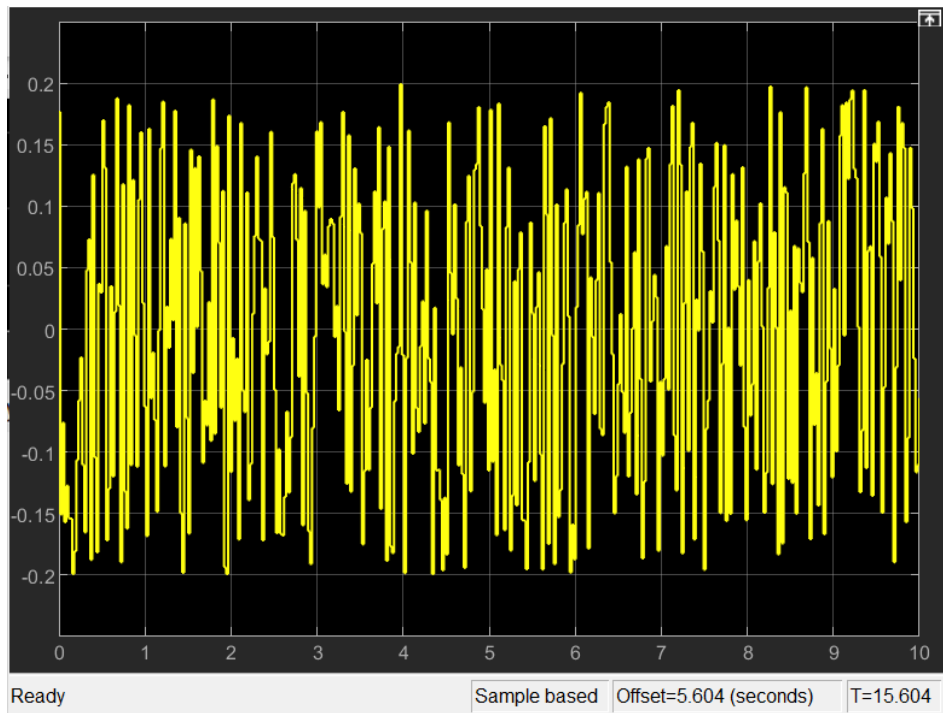


Рисунок 3.2 – Осцилограма шуму

На рисунку 3.3 зображено осцилограму корисного аудіосигналу.

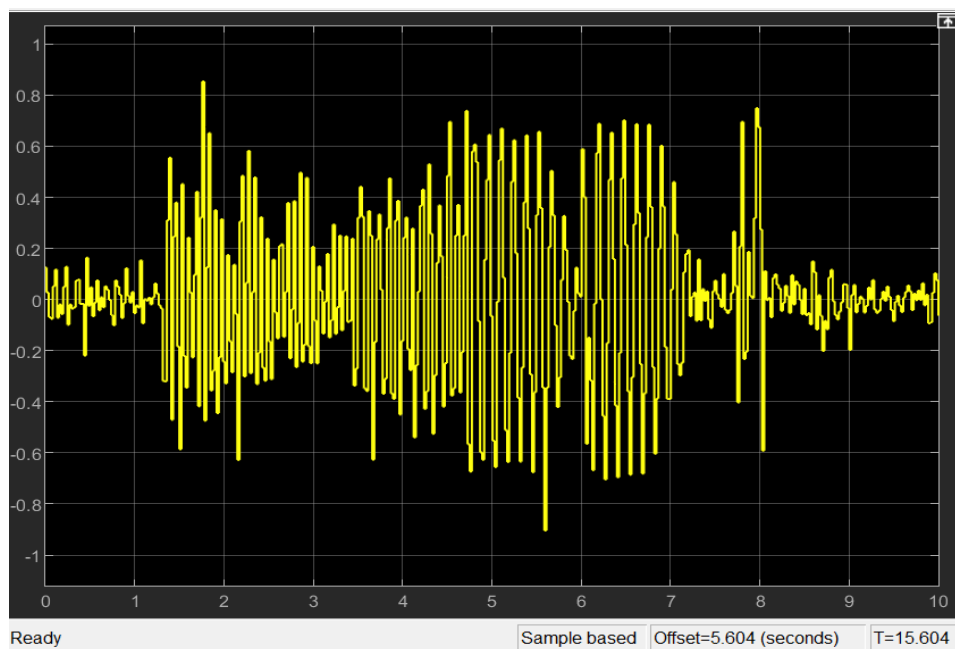


Рисунок 3.3 – Осцилограма корисного звукового сигналу

### 3.3 Результати моделювання у частотній області

Спектр та спектрограма вхідного сигналу зображені на рис. 3.4.

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

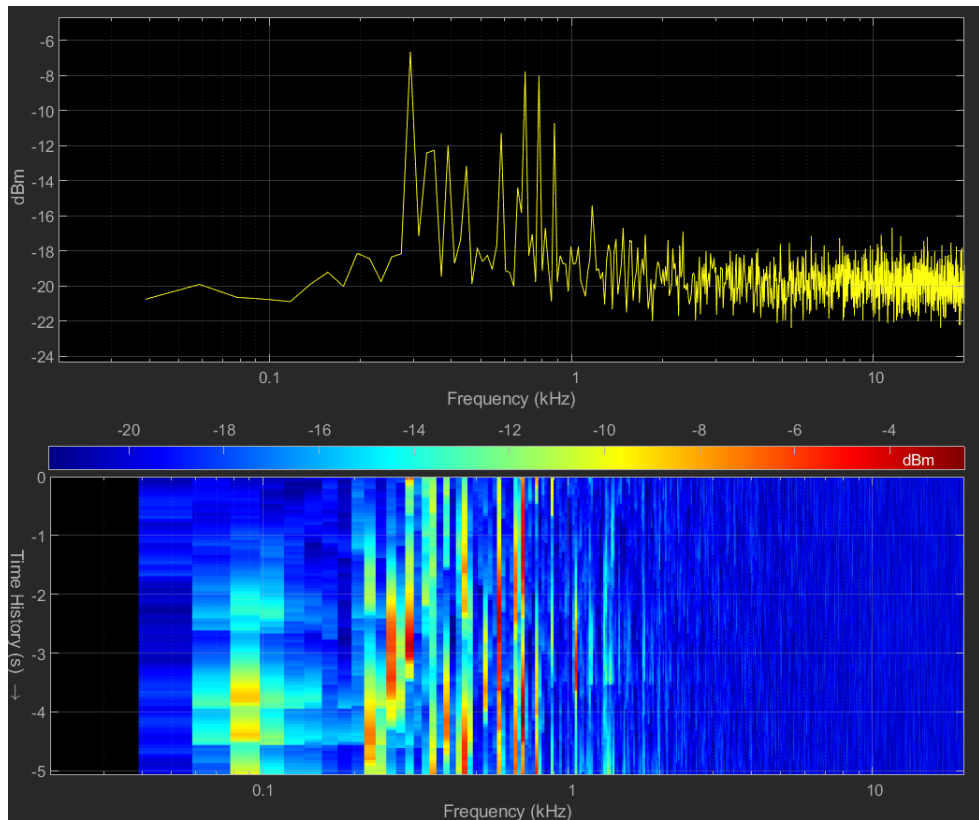


Рисунок 3.4 – Спектр та спектрограма спотвореного вхідного сигналу

Спект та спектрограма вихідного сигналу зображені на рисунку 3.5.

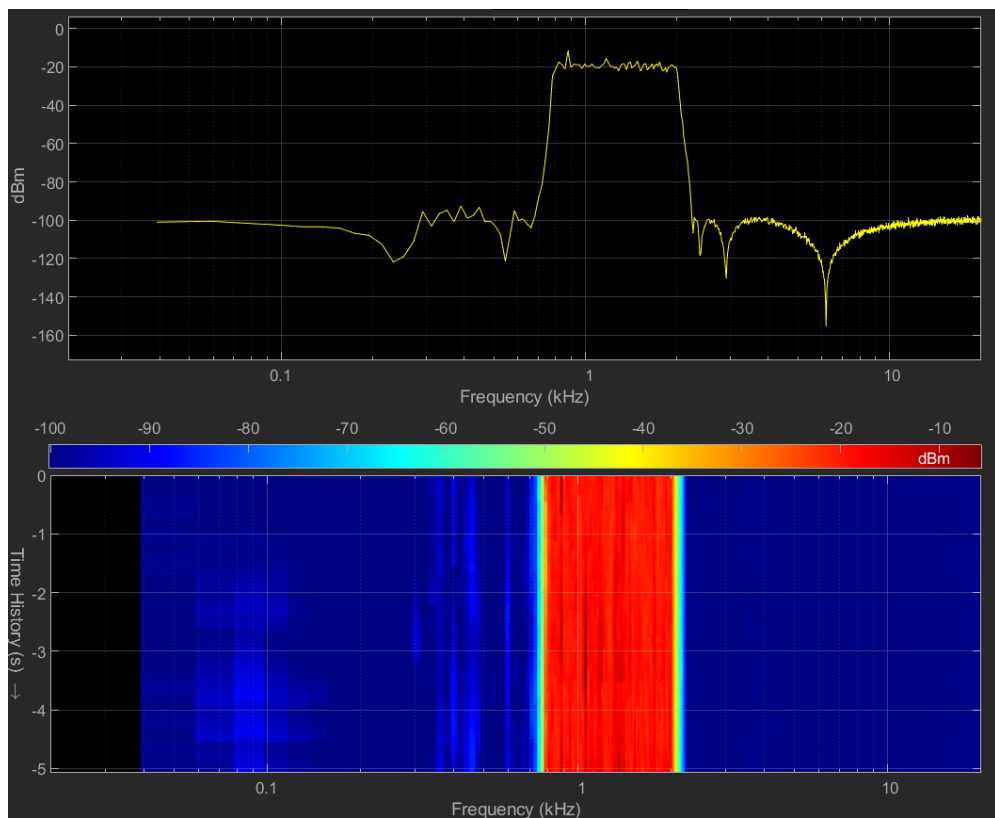


Рисунок 3.5 – Спектр та спектрограма вихідного сигналу

Таким чином, особливості фільтрації шумів з рівномірним розподілом є важливими для забезпечення якісної обробки сигналів у багатьох застосуваннях, таких як, зокрема, обробка звуку. Лінійні фільтри є одними з найбільш поширених і зручних в реалізації методів фільтрації, які дозволяють ефективно зменшити шум з рівномірним розподілом та покращити якість сигналу.

Однією з основних особливостей лінійної фільтрації є лінійність операції. Це означає, що реакція фільтра на комбінацію декількох вхідних сигналів є сумою реакцій на кожний із цих сигналів окремо. Лінійні фільтри використовують лінійні комбінації вхідних сигналів та їх коефіцієнтів для знаходження вихідного сигналу. Це робить їх дуже простими у реалізації та використанні.

Ще однією особливістю лінійних фільтрів є те, що вони дозволяють використовувати різні типи фільтрації, такі як низькочастотний, високочастотний, пасмовий та заборонені смуги. Низькочастотний фільтр допускає сигнали нижче певної частоти та загання шумів та перешкод у високочастотний діапазон. Високочастотний фільтр допускає сигнали вище певної частоти та загання нижчих частот та шумів. Пасмовий фільтр допускає сигнали у заданий діапазон частот та загання сигналів за його межі. Заборонені смуги заганняють сигнали у заданий діапазон частот та допускають сигнали за його межі.

Особливості лінійної фільтрації також включають можливість використання різних математичних моделей та функцій для визначення коефіцієнтів фільтрації. Наприклад, лінійні фільтри можуть використовувати конволюційні або кореляційні функції для знаходження коефіцієнтів фільтрації. Конволюція використовується для визначення вихідного сигналу шляхом обчислення суми добутків кожного вхідного сигналу на його відповідний коефіцієнт фільтрації.

Кореляція використовується для знаходження вихідного сигналу шляхом обчислення суми добутків кожного вхідного сигналу на його відповідний коефіцієнт фільтрації у зворотному порядку.

Ще однією особливістю лінійної фільтрації є можливість застосування різних фільтруючих функцій, які визначають залежність вихідного сигналу від вхідного. Це дозволяє здійснювати різноманітні операції фільтрації, такі як різні види згладжування, виділення різних частот тощо. Лінійна фільтрація шумів з рівномірним розподілом є простим і ефективним методом фільтрації, який дозволяє зменшити шум та покращити якість сигналу у різних аудіо- та обробці сигналів, а також у інших областях. Її простота та ефективність роблять її незамінним інструментом для обробки сигналів з рівномірним розподілом.

Нелінійні фільтри відрізняються від лінійних тим, що їх вихід залежить не тільки від вхідного сигналу, але і від його степеня, абсолютного значення або інших характеристик. В результаті, нелінійні фільтри можуть здійснювати складні операції фільтрації, які враховують неоднорідність сигналу та шуму. Однією з особливостей нелінійної фільтрації є здатність впоратися з різними типами шуму, включаючи шум з рівномірним розподілом. Шум з рівномірним розподілом є однією з найпоширеніших форм шуму, що поширюється у різних апаратних та електронних системах. Нелінійні фільтри можуть ефективно справлятися з цим типом шуму, допомагаючи видалити його з сигналу та поліпшити якість звуку або інших сигналів. Ще однією особливістю нелінійних фільтрів є їх можливість моделювати нелінійну залежність між вхідним і вихідним сигналами. Це дозволяє нелінійним фільтрам виявляти та враховувати нелінійні зміни в сигналі, що дозволяє реалізовувати більш точну та ефективну фільтрацію. Застосування нелінійних фільтрів дозволяє видалити шум та інтерференцію з сигналу, що покращує якість сигналу та забезпечує кращу розрізнюваність

деталей. Додатково, нелінійні фільтри можуть бути корисними у забезпеченні адаптивної фільтрації, де їх параметри залежать від характеристик вхідного сигналу. Це дозволяє нелінійним фільтрам адаптуватися до змінних умов та різних типів шуму, що покращує ефективність фільтрації.

Особливість нелінійної фільтрації полягає і в тому, що вона може здійснюватися у реальному часі. В Simulink існують різні блоки та функції, які дозволяють реалізувати нелінійні фільтри та виконувати фільтрацію у реальному часі. Це дозволяє використовувати нелінійну фільтрацію у реальних системах, таких як аудіо-процесинг, звуковий синтез, обробка зображень та інші аплікації, де низька затримка і точність є важливими факторами.

Отримані графіки показують здатність розробленого засобу видаляти шум, розподіл якого близький до рівномірного, з аудіосигналу в реальному масштабі часу. Спектрограма вихідного сигналу показує високу потужність в області корисного сигналу, і низьку потужність в інших областях спектру.

### 3.4 Висновки до третього розділу

У процесі розробки сучасних пристроїв цифрової обробки сигналів, особливо в контексті зниження рівня шуму, імітаційне моделювання в Simulink є надзвичайно важливим і ефективним інструментом. Імітаційне моделювання дозволяє аналізувати різні аспекти функціонування засобу та визначати його характеристики перед його фактичною реалізацією.

Крім того, Simulink надає можливість використання математичних моделей шуму з рівномірним розподілом для створення реалістичного середовища моделювання. Це дозволяє оцінити ефективність засобу для

зниження рівня шуму в умовах, які наближені до реальних сценаріїв застосування. Однією з переваг імітаційного моделювання в Simulink є також можливість швидко та ефективно змінювати параметри моделі та проводити повторні експерименти для знаходження оптимальних рішень. Таким чином можна перевіряти різні комбінації параметрів та алгоритмів, аналізувати вплив змін на характеристики вихідного сигналу та шуму, та вибирати найбільш ефективні рішення.

Розроблений засіб для зниження рівня шуму з рівномірним розподілом демонструє можливості ефективного покращення якості звукового сигналу за рахунок зниження загальної потужності шумових складових у спектрі при збереженні основних спектральних компонентів корисного сигналу.

					КвРТР.2019002.01.02.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		57

## ВИСНОВКИ

Засоби для зниження рівня шумів з рівномірним статистичним розподілом на звукових частотах мають велику актуальність в сучасній радіотехніці. Рівномірний шум має приблизно однакову інтенсивність у всьому діапазоні звукових частот. Він може бути присутнім у різних середовищах. Засоби для зниження рівня шумів з рівномірним статистичним розподілом на звукових частотах відіграють важливу роль у багатьох галузях. Наприклад, в аудіо- та відеопродукції їх використовують для поліпшення якості запису та відтворення звуку. Такі засоби допомагають виділити корисний сигнал від шуму, забезпечуючи чистий звук. У медичній діагностиці та обладнанні, засоби для зниження рівня шумів є важливими для отримання точних та надійних результатів. Вони допомагають виявляти слабкі сигнали та зменшувати вплив шумів на дослідження та діагностування.

У роботі обґрунтовано актуальність розробки засобу для зниження рівня шуму з рівномірним розподілом. У другому розділі, в програмному середовищі Simulink розроблено засіб для зниження рівня шуму з рівномірним розподілом на основі методів цифрової фільтрації. У третьому розділі виконано аналіз параметрів та характеристик засобу для зниження рівня шумів з рівномірним розподілом. Побудовано осцилограми, спектри та спектрограми вхідних та вихідних сигналів.

Отримані часові та частотні характеристики вихідних сигналів показують, що розроблений засіб дозволяє значно знижувати рівень шуму з рівномірним розподілом в аудіосигналі, особливо для випадку голосових частот, і дає можливість отримати додаткове підвищення ефективності приймання та обробки звукових сигналів.

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1 Alisher, K., Alexander, K., & Alexandr, B. (2015). Control approaches for audio signal quality improvement in the developed conference system based on the personal user devices. *Procedia Engineering*, 100(January), 1469–1474.

2 Akhtar, M. T., Albu, F., & Nishihara, A. (2019). Acoustic feedback cancellation in hearing aids using dual adaptive filtering and gain-controlled probe signal. *Biomedical Signal Processing and Control*, 52, 1–13.

3 Bansal, P., & Gill, S. S. (2022). Lightning attachment procedure optimization algorithm for optimal design of digital FIR band stop filter. *Measurement: Sensors*, 24.

4 Biswas, K., Bohannan, G., Caponetto, R., Lopes, A. M., & Machado, J. A. T. (2017). *Fractional-Order Devices*. Springer.

5 Bruni, C., Koch, G., & Papa, F. (2011a). A measurement policy in stochastic linear filtering problems. *Computers and Mathematics with Applications*, 61(3), 546–566.

6 Bruni, C., Koch, G., & Papa, F. (2011b). Measurement saving versus estimate accuracy in linear filtering problems. *IFAC Proceedings Volumes (IFAC-PapersOnline)*, 44(1 PART 1), 4212–4219.

7 Colodro, F., Martínez-Heredia, J. M., Mora, J. L., & Torralba, A. (2021). Correction of errors and harmonic distortion in pulse-width modulation of digital signals. *AEU - International Journal of Electronics and Communications*, 142.

8 Digital signal processing algorithms: Number theory, convolution, fast Fourier transforms, and applications. (1998). *Computers & Mathematics with Applications*, 36(8), 123.

9 Diouri, O., Gaga, A., Ouanan, H., Senhaji, S., Faquir, S., & Jamil, M. O. (2022). Comparison study of hardware architectures performance between

FPGA and DSP processors for implementing digital signal processing algorithms: Application of FIR digital filter. Results in Engineering, 16.

10 Dong, C. Z., Lu, T. J., Wang, Z. M., & Zhou, L. (2011). The research and design of an interpolation filter used in an audio DAC. Procedia Environmental Sciences, 11(PART A), 387–392.

11 Dora, J., Wojcieszak, D., Kaczmarek, D., Mazur, M., & Aksenczuk, A. (2020). New theory of acoustic signal detection in the inner ear – An explanation of bifilar structure of the cochlea. Medical Hypotheses, 140.

12 Griffith, T., Baker, S. A., & Lepora, N. F. (2021). The statistics of optimal decision making: Exploring the relationship between signal detection theory and sequential analysis. Journal of Mathematical Psychology, 103.

13 Gutiérrez-Gutiérrez, J., Barasoain-Echepare, Í., Zárraga-Rodríguez, M., & Insausti, X. (2023). Necessary and sufficient conditions for AR vector processes to be stationary: Applications in information theory and in statistical signal processing. Applied Mathematics and Computation, 445.

14 Han, B. (2011). Symmetric orthogonal filters and wavelets with linear-phase moments. Journal of Computational and Applied Mathematics, 236(4), 482–503.

15 Haridas, G., & George, D. S. (2016). Area Efficient Low Power Modified Booth Multiplier for FIR Filter. Procedia Technology, 24, 1163–1169.

16 Jahvani, M., & Guay, M. (2021). An adaptive filter for parameter estimation of damped sinusoidal signals. IFAC-PapersOnLine, 54(3), 354–359. <https://doi.org/10.1016/J.IFACOL.2021.08.267>.

17 Kabba, A., El Fadil, H., Hamed, A. M., Yahya, A., & Giri, F. (2022). A high gain observer design for the three-phase shunt active power filter interfacing a photovoltaic source. IFAC-PapersOnLine, 55(12), 306–311.

18 Kaczorek, T., & Rogowski, K. (2015). Fractional Linear Systems

and Electrical Circuits. Springer International Publishing.

19 Kiss, A. K., Hajdu, D., Bachrathy, D., Stepan, G., & Dombovari, Z. (2022). In-process impulse response of milling to identify stability properties by signal processing. *Journal of Sound and Vibration*, 527.

20 Kober, V., & Kuznetsov, V. (2017). Target tracking with composite linear filters on noisy scenes. *Procedia Engineering*, 201, 280–286.

21 Korneta, W., Garcia-Moreno, E., & Sena, A. L. (2015). Noise activated dc signal sensor based on chaotic Chua circuit. *Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation*, 24(1–3), 145–152.

22 Luchinsky, D. G., Mannella, R., McClintock, P. V. E., & Stocks, N. G. (1999). Stochastic resonance in electrical circuits - I: conventional stochastic resonance. *IEEE Transactions on Circuits and Systems II: Analog and Digital Signal Processing*, 46(9), 1205–1214.

23 Ma, J., & Sun, S. L. (2015). Linear Filter for Uncertain System with Transmission Delays and Losses. *IFAC-PapersOnLine*, 48(28), 1112–1117.

24 Menzhausen, R., Merino, M., Dorneanu, B., Silupú, J. J. M., Alama, W. I., & Arellano-Garcia, H. (2020). A Fuzzy Control Approach for an Industrial Refrigeration System. *Computer Aided Chemical Engineering*, 48, 1255–1260.

25 Molla, S., & Torrésani, B. (2005). A hybrid scheme for encoding audio signal using hidden Markov models of waveforms. *Applied and Computational Harmonic Analysis*, 18(2), 137–166.

26 Ozana, S., & Pies, M. (2009). Design and Implementation of Embedded Systems in Matlab&Simulink Environment. *IFAC Proceedings Volumes*, 42(1), 73–79.

27 Özer, S. M., & İftar, A. (2022). DrStabilization: A Matlab-based Software to Design Structured Time-delay Controllers. *IFAC-PapersOnLine*, 55(36), 252–257.

28 Paćzko, D., Hunek, W. P., & Piskorowski, J. (2023). A new

geometric approach to the calculation of transmission zeros in the signal processing theory. *Signal Processing*, 202.

29 Palković, L., Rodina, J., Chovanec, L., & Hubinský, P. (2012). Integration of inertial measuring unit platform into Matlab Simulink. *IFAC Proceedings Volumes (IFAC-PapersOnline)*, 9(PART 1), 200–205.

30 Pandolfi, L. (2009). On-line input identification and Active Noise Cancellation: An overview of recent results. *IFAC Proceedings Volumes (IFAC-PapersOnline)*, 8(PART 1), 1–42.

31 Popek, D., & Markowska-Kaczmar, U. (2021). Utterance style transfer using deep models. *Procedia Computer Science*, 192, 2132–2141.

32 Quirynen, R., & Berntorp, K. (2021). Uncertainty propagation by linear regression Kalman filters for stochastic NMPC. *IFAC-PapersOnLine*, 54(6), 76–82.

33 Radwan, A. G., & Salama, K. N. (2012). Fractional-order RC and RL circuits. *Circuits, Systems, and Signal Processing*, 31(6), 1901–1915.

34 Rauscher, A., Hufnagel, M., & Endisch, C. (2022). Pareto optimization of wavelet filter design for partial discharge detection in electrical machines: Pareto Optimization of Wavelet Filters. *Measurement: Journal of the International Measurement Confederation*, 205.

35 Rico, A., & Strauss, O. (2010). Imprecise expectations for imprecise linear filtering. *International Journal of Approximate Reasoning*, 51(8), 933–947.

36 Sánchez-Hevia, H. A., Gil-Pita, R., & Rosa-Zurera, M. (2021). Efficient multichannel detection of impulsive audio events for wireless networks. *Applied Acoustics*, 179.

37 Steinmann, A., Wu, N. E., Su, Q. T., & Miles, R. N. (2011). Sigma-delta control of a biased and initially-displaced MEMS microphone. *IFAC Proceedings Volumes (IFAC-PapersOnline)*, 44(1 PART 1), 3545–3550.

38 Sugimoto, S., Kubo, Y., & Munetomo, N. (2011). A quasi-linear

filter with conditional Gaussian sum distributions for nonlinear dynamical systems. IFAC Proceedings Volumes (IFAC-PapersOnline), 44(1 PART 1), 7797–7802. <https://doi.org/10.3182/20110828-6-IT-1002.01911>

39 Sun, W., Rui, G., Zhang, Y., & Wang, L. (2013). Chaotic oscillator detection method for weak signals. *Shuju Caiji Yu Chuli/Journal of Data Acquisition and Processing*, 28(3). [http://en.cnki.com.cn/Article\\_en/CJFDTOTAL-SJCJ201303016.htm](http://en.cnki.com.cn/Article_en/CJFDTOTAL-SJCJ201303016.htm)

40 Tang, C., Zhao, Z., Shao, Y. Bin, Long, H., & Du, Q. (2020). An adaptive time delay estimation method for broadcast audio based on power cepstrum. *Procedia Computer Science*, 166, 258–263. <https://doi.org/10.1016/J.PROCS.2020.02.103>

41 Utrera, J., & Vazquez, R. (2021). Implementation in MATLAB of a Multiplicative Extended Kalman Filter for live estimation of a smart device's attitude. *IFAC-PapersOnLine*, 54(12), 43–48. <https://doi.org/10.1016/J.IFACOL.2021.11.008>

42 Wojcinak, P., Pies, M., & Koziorek, J. (2012). Using methodology for MATLAB designing the first-order Chebyshev analogue and IIR digital filters. IFAC Proceedings Volumes (IFAC-PapersOnline), 11(PART 1), 399–405. <https://doi.org/10.3182/20120523-3-CZ-3015.00076>

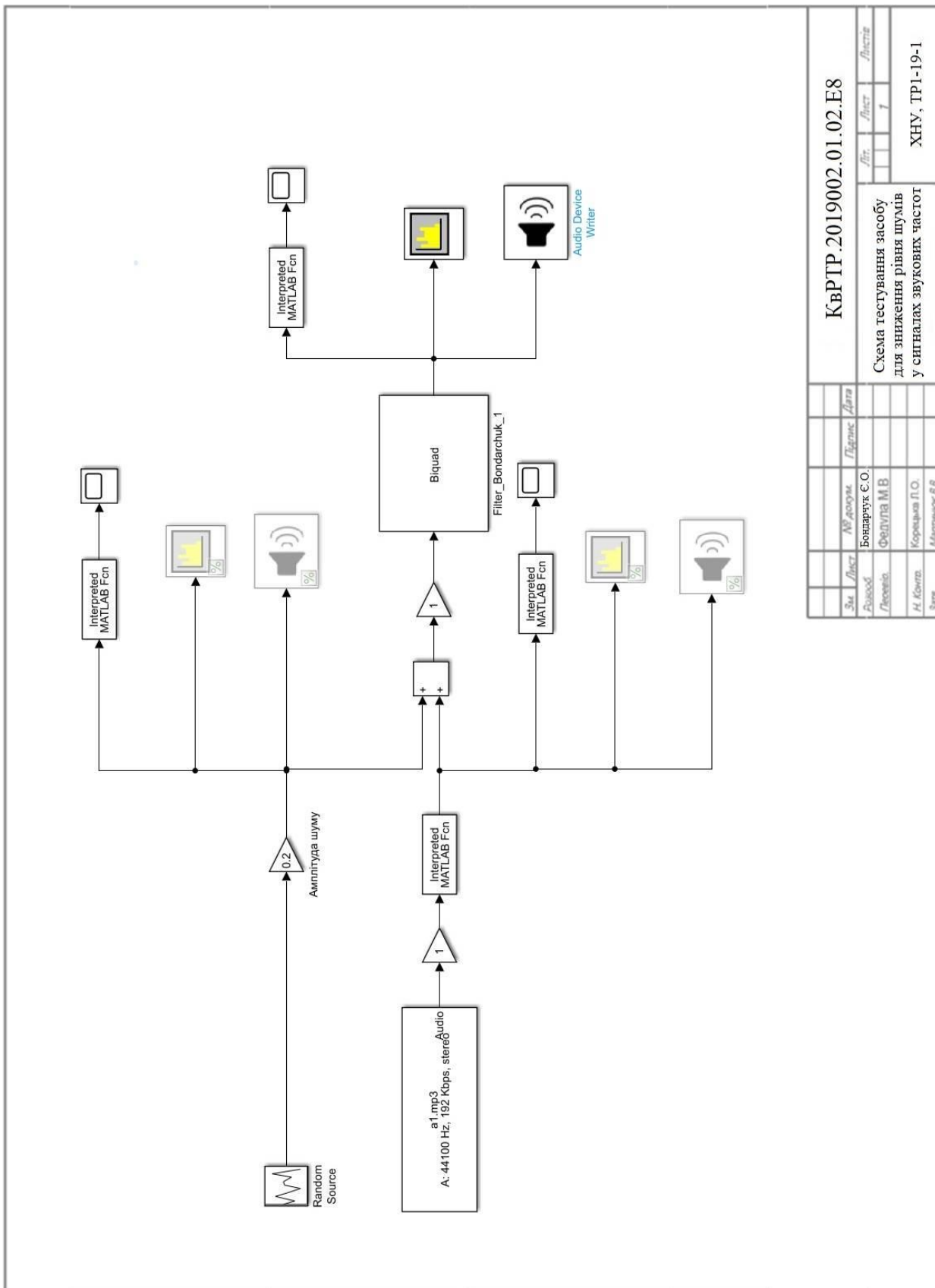
43 Wang, G., Chen, D., Lin, J., & Chen, X. (1999). The application of chaotic oscillators to weak signal detection. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 46(2), 440–444. <https://doi.org/10.1109/41.753783>

44 Zabiński, T., Maoczka, T., Kluska, J., Madera, M., & Sęp, J. (2019). Condition monitoring in Industry 4.0 production systems - The idea of computational intelligence methods application. *Procedia CIRP*, 79, 63–67. <https://doi.org/10.1016/J.PROCIR.2019.02.012>



## Додаток Б

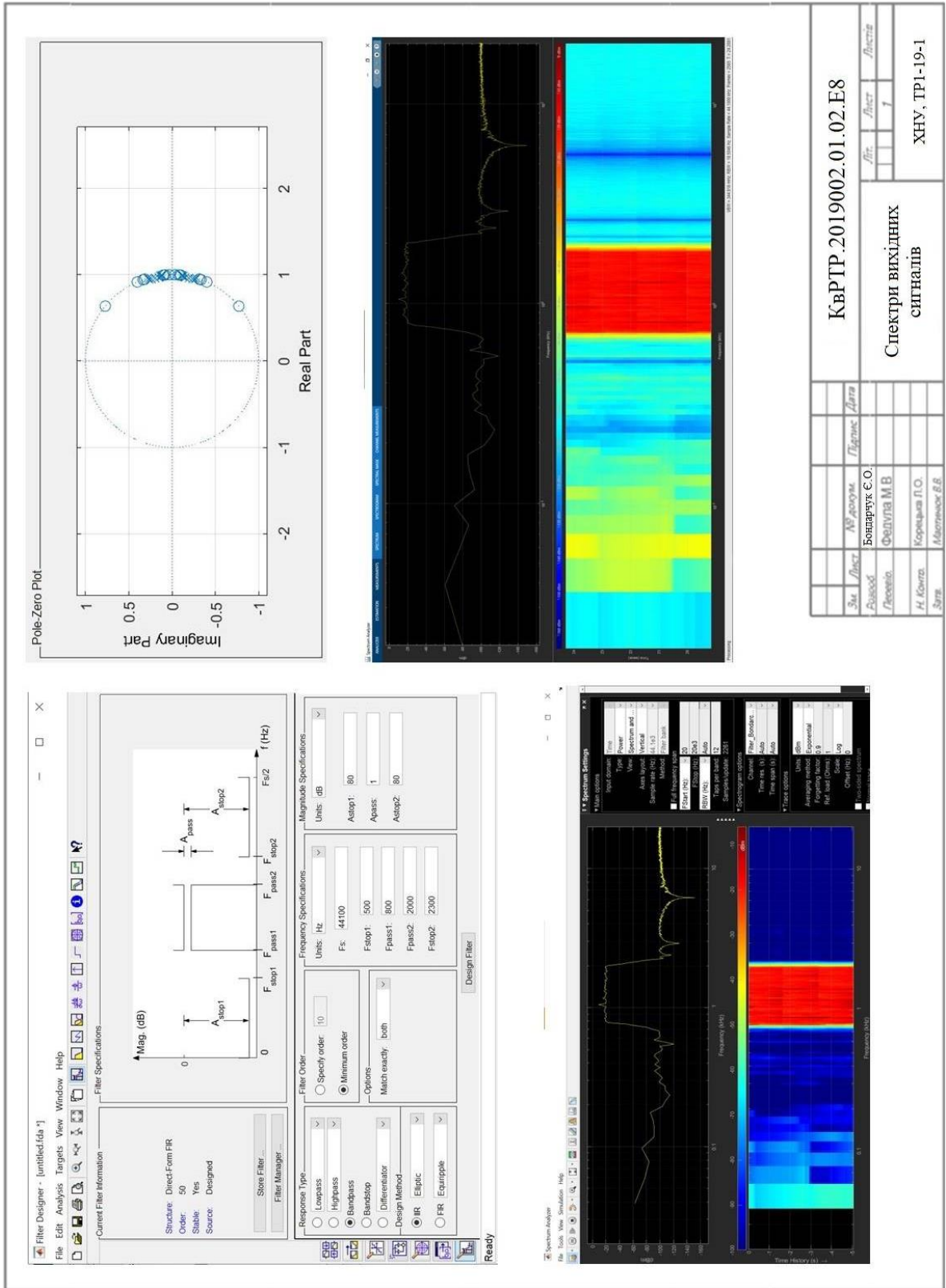
### Схема тестування



КвРРР.2019002.01.02.E8		Лист	Лист	Листів
См	Лист	№ докум	Підпис	Дата
Розроб	Левченко	Бондарчук Є.О.		
Н.Контр.	Мартинюк Є.В.	Феліца М.В.		
Серв		Н.Корняк Л.О.		
Схема тестування засобу для зниження рівня шумів у сигналах звукових частот				
ХНУ, ТР1-19-1				

# Додаток В

## Спектри вихідних сигналів



КВРТР.2019002.01.02.E8	
Спектри вихідних сигналів	ХНУ, ТР1-19-1
Зм. Лист	№ доум. Лист
Листів	Дата
Бондарук С.О.	7
Феліція М.В.	
Корчица Л.О.	
Матвишук В.В.	

Завідувачу кафедри АКПГтаР  
д-ру техн.наук, проф. Мартиноку В.В.

Бондарчук Є.О.

ПІБ здобувача вищої освіти

ФІТ, 4 курсу, групи ТР1-19-1

### ЗАЯВА

З правилами чинного Положення «Про систему забезпечення академічної доброчесності у Хмельницькому національному університеті» від 01.07.2022, згідно з яким виявлення плагіату є підставою для відмови в допуску кваліфікаційної роботи до захисту та застосування заходів дисциплінарної та академічної відповідальності, ознайомлений (а). Про використання програмно-технічних засобів для перевірки кваліфікаційних робіт здобувачів вищої освіти на наявність плагіату ознайомлений(а) та надаю свою згоду на обробку та збереження університетом моєї роботи в інституційному репозитарії університету.

Також надаю університету право на передачу моєї роботи для обробки та збереження в базах даних програмно-технічних засобів (Unicheck та Anti-Plagiarism) та використання роботи для виявлення плагіату в інших роботах, які перевіряються програмно-технічними засобами та користувачами, що мають доступ до цих програмно-технічних засобів, виключно в обмежених цілях для виявлення плагіату в текстах робіт.

Робота для перевірки університетом надається в друкованому та електронному варіанті. Електронна версія моєї роботи збігається (ідентична) з друкованою.

05 06 23

дата

підпис

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

РЕЦЕНЗІЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Дипломник: Бондарчук Стор Олександрович

Тема: Засіб для зниження рівня шумів з рівномірним розподілом у сигналах звукових частот

Спеціальність: 172 «Телекомунікації та радіотехніка»

Обсяг кваліфікаційної роботи:

Кількість листів креслень 3 Кількість сторінок записки 55

1. Короткий зміст роботи та прийнятих рішень: розроблено засіб для зниження рівня шумів з рівномірним розподілом у сигналах звукових частот.
2. Висновок про відповідність роботи дипломному завданню: Робота повністю відповідає поставленому завданню
3. Характеристика виконання кожного розділу, ступінь використання останніх досягнень науки і техніки і передових методів роботи: у першому розділі кваліфікаційної роботи проведено огляд предметної області (проаналізовано напрями розвитку сучасних засобів видалення шуму з сигналів звукових частот, зокрема для випадків шуму з рівномірним розподілом) та виконано постановку задачі дослідження. В другому розділі кваліфікаційної роботи побудовано модель засобу для зниження рівня шумів з рівномірним розподілом у сигналах звукових частот. У третьому розділі проаналізовано результати імітаційного моделювання розробленого засобу для зниження рівня шуму, побудовано графіки осцилограм, спектрів та спектрограм вхідних і вихідних сигналів та шуму. Отримані результати дають можливість знижувати рівень шуму в сигналах звукових частот та підвищувати якість і розбірливість відтворення звуку.
4. Позитивні сторони роботи: значна практична цінність роботи; розроблений засіб дозволяє підвищувати якість звукових сигналів в умовах дії шумів

5. Негативні сторони роботи: у роботі недостатньо описані математичні операції часово-частотних перетворень з ваговими функціями.

6. Оцінка графічного оформлення та пояснювальної записки роботи: Пояснювальна записка оформлена коректно, згідно діючих стандартів оформлення документації

7. Відгук про роботу в цілому: Робота виконана на належному науково-технічному рівні.

8. Інші зауваження: відсутні

9. Оцінка дипломної роботи: добре (В)

Рецензент (прізвище, ім'я, по батькові, посада, місце роботи) Капустян  
Марія Вікторівна, доцент кафедри АІС АНУ

"19" 06 2023 р.

MA (підпис)

# Anti-Plagiarism v-15.257

Максимальне співпадіння з одним документом 0.0%

Словниці перевірки: en\_US, ru\_RU, ua\_UA. Помилки в документах: 7%

ID: 117445 Назва: БКР Засіб для зниження шуму з рівномірним розподілом у сигналах звукових частот Додано в БД: 2023-06-21 Автора: Єгор БОНДАРЧУК Керівники: Микола ФЕДУЛА Консультанти: Опоненти:	Документ		Сумарний збіг по Базі Даних	
	Символи	Лексеми	Символи	Лексеми
	27597	227	0 (0%)	0 (0%)

Джерело плагіату

ID	Опис	Наявність плагіату в документі	
		Символи	Лексеми

Ім'я користувача:  
Кафедра АКІТІТК

Дата перевірки:  
21.06.2023 09:31:56 EEST

Дата звіту:  
21.06.2023 09:38:15 EEST

ID перевірки:  
1015663258

Тип перевірки:  
Doc vs Internet + Library

ID користувача:  
100005862

Назва документа: Бондарчук

Кількість сторінок: 25 Кількість слів: 3972 Кількість символів: 29743 Розмір файлу: 470.93 KB ID файлу: 1015308113

## 2.97% Схожість

Найбільша схожість: 0.78% з Інтернет-джерелом ([http://antibotan.com/file.html?work\\_id=528689](http://antibotan.com/file.html?work_id=528689))

2.97% Джерела з Інтернету 101 ..... Сторінка 27

0.25% Джерела з Бібліотеки 1 ..... Сторінка 27

## 0% Цитат

Вилучення цитат вимкнено

Вилучення списку бібліографічних посилань вимкнено

## 0% Вилучень

Немає вилучених джерел

## Модифікації

Виявлено модифікації тексту. Детальна інформація доступна в онлайн-звіті.

Замінені символи 34

РІШЕННЯ ЕКСПЕРНОЇ КОМІСІЇ  
КАФЕДРИ АВТОМАТИЗАЦІЇ, КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ТА  
РОБОТОТЕХНІКИ  
ПРО ДОПУСК КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ ДО ЗАХИСТУ

Підтверджуємо ознайомлення з результатом звіту подібності щодо роботи, генерованого системою виявлення текстових збігів/ідентичності/схожості:

Назва: Засіб для зниження рівня шумів з рівномірним розподілом у сигналах звукових частот

Автор: Бондарчук Єгор Олександрович

Спеціальність: 172 – Телекомунікації та радіотехніка

Освітня програма: Освітньо-професійна програма «Телекомунікації та інформаційно-комунікаційні технології»

Науковий керівник: Федула Микола Васильович, кандидат технічних наук, доцент

Після аналізу звіту подібності зроблено такий висновок:

№	Висновок	Позначка про відповідність
1	Запозичення, виявлені в роботі, є законними і не є плагіатом. Робота приймається до захисту.	<b>відповідає</b>
2	Виявлені запозичення не є плагіатом, розміщені в розділах, які не описують безпосередньо авторське дослідження, але кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи. Робота приймається до захисту, але має бути відкоригована. Відкоригований варіант має бути поданий на кафедру за 2 дні до захисту, разом із заявою щодо самостійності виконання письмової роботи та ідентичності друкованої й електронної версії роботи	
3	Виявлені запозичення не є плагіатом, але частково розміщені в розділах, які описують безпосередньо авторське дослідження, а кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи. В зв'язку з цим мета роботи та поставлені завдання не були досягнені. Робота може бути допущена до захисту (наступного року) після того, як буде відкоригована та допрацьована і успішно пройде повторну перевірку на академічний плагіат.	
4	Робота містить навмисні текстові спотворення, передбачувані спроби укриття запозичень або інші прояви академічного плагіату. Робота містить фабрикацію або фальсифікацію даних. Робота не допускається до захисту.	
5	Інше:	

Підтвердження:

Запозичення, виявлені в роботі, є законними і не є плагіатом, оскільки:

1) у тексті кваліфікаційної роботи системами перевірки на плагіат виявлено схожість з деякими документами в частині загальноживаних обов'язкових словосполучень у стандартних бланках (титулка, відомість документів), у структурі змісту, назвах розділів/підрозділів тощо, у назвах публікацій у переліку джерел посилання;

2) усі запозичення є фрагментарними або мають належним чином оформленні посилання;

3) виявлені модифікації тексту не впливають на відсоток схожості.

Сумарний обсяг всіх запозичень, визначений системою виявлення збігів ідентичності/схожості, складає 2,97% і адресується до 102 джерел, що, з урахуванням наведених обґрунтувань, відповідає характеру теми і свідчить на користь кваліфікаційної роботи.

Дата 22.06.2023р.

Завідувач кафедри

Гарант освітньої програми

Керівник кваліфікаційної роботи



Валерій МАРТИНЮК

Денис МАКАРИШКІН

Микола ФЕДУЛА