

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

бакалавр
Освітній рівень

Програмно-технічний засіб для обробки звукових сигналів
Назва теми

КвРКІ.180121.18.01.18 ПЗ
Шифр

Галузь знань 12 «Інформаційні технології»
Шифр, назва

Спеціальність 123 «Комп'ютерна інженерія»
Шифр, назва

Освітня програма «Комп'ютерна інженерія»
Назва

Виконав: студент IV курсу, група КІ-18-1


Підпис

З.А. Трачук
Ініціали, прізвище

Керівник


Підпис, дата

М.В. Федула
Ініціали, прізвище

Нормоконтролер


Підпис, дата

С.М. Лисенко
Ініціали, прізвище

До захисту допускаю:
Зав. кафедри комп'ютерної
інженерії та інформаційних
систем


Підпис

Т.О. Говорущенко
Ініціали, прізвище

« 9 » червня 2022 р.

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Кафедра КОМП'ЮТЕРНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ

Освітній рівень БАКАЛАВР

Галузь знань 12 ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

Спеціальність 123 КОМП'ЮТЕРНА ІНЖЕНЕРІЯ

Освітня програма ОСВІТНЯ ПРОГРАМА «КОМП'ЮТЕРНА ІНЖЕНЕРІЯ»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри Г.О.Говорушенко

“ 11 ” 01 2022 р.

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА**

Трачук Зоряні Артурівні

Прізвище, ім'я, по батькові студента

1. Тема проекту (роботи) Програмно-технічний засіб для обробки звукових сигналів

Керівник проекту (роботи) Федула М.В., к.т.н., доцент.

Прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання

Затверджена наказом ректора університету від 06.01.2022 р. № 1

2. Строк подання студентом проекту (роботи) на кафедру 07.06.2022 р.

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

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) _____

Дослідження предметної області та постановка задачі

Проектування програмно-технічного засобу для обробки звукових сигналів



Програмно-апаратна реалізація засобу для обробки звукових сигналів

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

Програмно-технічний засіб обробки звукового сигналу в програмному середовищі
Simulink

Налаштування параметрів High Pass фільтра в Filter Designer

6. Консультанти розділів дипломного проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видані	завдання прийняті
Нормоконтроль	Лисенко С.М., професор кафедри КНП		
Антиплагіат	Нічесторук А.О., доцент кафедри КНП		

7. Дата видачі завдання « 06 » 09 2021 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№з/п	Назва етапів (розділів) дипломного проекту (роботи)	Термін виконання етапів проекту (роботи)	Примітки
1	Вибір напряму дослідження та узгодження тематики кваліфікаційної роботи з керівником	11.01.2022	виконано
2	Ознайомлення з предметною областю; формулювання мети та задач дослідження; визначення об'єкта та предмета дослідження	01.02.2022	виконано
3	Робота над розділом 1 – дослідження предметної області та постановка задачі	01.03.2022	виконано
4	Робота над розділом 2 – проектування програмно-технічного засобу для обробки звукових сигналів	01.04.2022	виконано
5	Робота над розділом 3 – програмно-апаратна реалізація засобу для обробки звукових сигналів	30.04.2022	виконано
6	Оформлення пояснювальної записки згідно вимог	31.05.2022	виконано
7	Попередній захист ВКР	02.06.2022	виконано
8	Захист ВКР на засіданні ЕК	Червень 2021 року	

Студент


Підпис

З.А. Трачук
Ініціали, прізвище

Керівник проекту (роботи)


Підпис

М.В. Федула
Ініціали, прізвище

АНОТАЦІЯ

Тема кваліфікаційної роботи: «Програмно-технічний засіб для обробки звукових сигналів».

Автор роботи: Трачук Зоряна Артурівна.

Керівник роботи: Федула Микола Васильович.

Пояснювальна записка: 61 с., 56 рис., 3 дод., 21 джерело.

ОБРОБКА ЗВУКОВИХ СИГНАЛІВ, ЦИФРОВИЙ ФІЛЬТР, MATLAB

Метою роботи є розробка програмно-технічного засобу для обробки звукових сигналів та його реалізація у середовищі MATLAB/Simulink.





У цій роботі розроблено програмно-технічний засіб для обробки звукових сигналів у середовищі MATLAB/Simulink. Розроблений програмно-технічний засіб дозволяє змінювати характеристики звукового сигналу в реальному часі, зокрема використовувати фільтри нижніх частот, фільтри верхніх частот та смугові фільтри. Розроблений програмно-технічний засіб дозволяє обробляти звукові сигнали з файлів, а також з периферійних пристроїв комп'ютера, наприклад, з мікрофону.



09.06.2022

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
1 РОЗГЛЯД ТЕОРІЇ ЦИФРОВОЇ ФІЛЬТРАЦІЇ ТА ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ	7
1.1 Аналогові, дискретні та цифрові сигнали	7
1.2 Аналого-цифрове та цифро-аналогове перетворення	8
1.3 Зв'язок Z-перетворення з перетворенням Фур'є	9
1.4 Основи цифрової фільтрації.....	9
1.6 Дискретне перетворення Фур'є	14
1.7 Швидке перетворення Фур'є	16
1.8 Висновки	18
2 ПРОЄКТУВАННЯ ПРОГРАМНО-ТЕХНІЧНОГО ЗАСОБУ ДЛЯ ОБРОБКИ ЗВУКОВИХ СИГНАЛІВ	19
2.1 Обґрунтування вибору апаратних ресурсів та програмного забезпечення	19
2.2 Дискретні сигнали в MATLAB	20
2.3 Розрахунок часових функцій	21
2.4 Дискретна фільтрація в MATLAB.....	24
2.5 Можливості MATLAB у дослідженні спектрального перетворення Фур'є	26
2.6 Спектрограма	29
2.7 Висновки	30
3 ПРОГРАМНО-АПАРАТНА РЕАЛІЗАЦІЯ ТА ТЕСТУВАННЯ ПРОГРАМНО-ТЕХНІЧНОГО ЗАСОБУ ДЛЯ ОБРОБКИ ЗВУКОВИХ СИГНАЛІВ	32
3.1 Реалізація програмно-технічного засобу обробки звукового сигналу в програмному середовищі Simulink.....	32
3.2 Фільтри, розроблені в ході виконання роботи	39
3.2.1 High Pass Filter (HPF)	39
3.2.2 Low Pass Filter (LPF)	41
3.2.3 Bandpass.....	43

КвРКІ. 180121.18.01.18 ПЗ									
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата	Програмно-технічний засіб для обробки звукових сигналів Пояснювальна записка	Літера	Аркуш	Аркушів	
Виконав	Грачук З.А.							2	
Перевір.	Федула М.В.								
Н.контр.	Лисенко С.М.								
Затвер.	Говорущенко Т.О.							ХНУ, КІ-18-1	

3.3 Аналіз оригінального звуку з аудіофайлу	45
3.4 Фільтрація звукового сигналу.....	53
3.4.1 Game of Thrones B&B Project.wav	53
3.4.2 ONUKA – Other.wav.....	58
ВИСНОВКИ.....	64
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ.....	66
Додаток А Копія креслення «Програмно-технічний засіб обробки звукового сигналу в програмному середовищі Simulink».....	68
Додаток Б Копія креслення «Налаштування параметрів High Pass фільтра в Filter Designer».....	69

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ

АЦП – аналого-цифровий перетворювач (ADC – Analog-to Digital Converter)

ЕКГ – електрокардіографія

ПЛІС – програмована логічна інтегральна схема

ЦАП – цифро-аналоговий перетворювач (DAC – Digital-to-Analog Converter)

ЦОС - цифрова обробка сигналів

ЦП – цифровий процесор

ASIC – application-specific integrated circuit (інтегральна схема для специфічного застосування)

DFT – discrete Fourier transform (ДПФ - дискретне перетворення Фур'є)

IIR-фільтр – infinite impulse response filter (рекурсивний фільтр)

FIR-фільтр – finite impulse response filter (фільтр зі скінченною імпульсною характеристикою)

HDL – hardware description language (мова опису апаратури)

FFT – fast Fourier transform (ШПФ - швидке перетворення Фур'є)

Fs – sampling signal frequency ()

					КвРКІ. 180121.18.01.18 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		4

ВСТУП

Будь-яке середовище, незалежно від його форми, може розглядатися як фільтр, якщо пропускає через себе музичний сигнал. Але зазвичай ми думаємо про щось як про фільтр тільки тоді, коли воно якимось чином впливає на звук і змінює його.

Голосні звуки в мові утворюються перш за все за рахунок зміни форми ротової порожнини, яка змінює резонанси, тобто фільтруючі характеристики голосового тракту.

У звичайному автомобільному радіоприймачі схема управління тоном є фільтром, так само як і посилення низьких, середніх та високих частот у стереофонічному передпідсилювачі. Прикладами аудіофільтрів також являються: ревербератори, фазорегулятори, графічні еквайзери та мережі зворотних зв'язків.

Існують і небажані фільтри, наприклад, нерівномірне посилення певних частот в приміщенні з так званою «поганою акустикою». Говорять, що один відомий майстер обробки сигналів якось зауважив: «Коли ви думаєте про це, то все стає фільтром».

Цифровий фільтр – це просто фільтр, що працює з цифровими сигналами, такими як звук, представлений всередині комп'ютера. Це обчислення, яке приймає одну послідовність чисел (у вигляді вхідного сигналу) і створює нову послідовність чисел (відфільтрований вихідний сигнал).

Нам важливо розуміти, що цифровий фільтр може робити все те саме, що і фільтр реального світу. Тобто, всі фільтри, які були описані вище, можна представити з довільним ступенем точності у цифровому вигляді. Цифровий фільтр – лиш формула для переходу від одного цифрового сигналу до іншого. Він може існувати як рівняння на папері, як цикл в комп'ютерній підпрограмі або як кілька мікросхем інтегральної схеми, які з'єднані між собою.

Метою роботи є проектування та реалізація програмно-технічного засобу для обробки звукових сигналів.

Об'єктом дослідження є обробка звукових сигналів.

					КвРКІ. 180121.18.01.18 ПЗ	Арк.
Зм..	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		5

Предметом дослідження є програмно-технічний засіб для обробки звукових сигналів.

Практична цінність полягає в реалізованому засобі фільтрації звуків в реальному часі в середовищі MATLAB/Simulink, який може бути застосований для видалення непотрібних шумів в сигналах, які будуть на нього подаватись.

					КвРКІ. 180121.18.01.18 ПЗ	Арк.
						6
Зм..	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

1 РОЗГЛЯД ТЕОРІЇ ЦИФРОВОЇ ФІЛЬТРАЦІЇ ТА ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

1.1 Аналогові, дискретні та цифрові сигнали

Вихідний фізичний сигнал є безперервною функцією часу. Такі сигнали, які визначені в кожен момент часу називають аналоговими (analog). Дискретним сигналом (discrete series) є послідовність чисел, що представляє сигнал при цифровій обробці. Дискретний сигнал не може повністю відповідати аналоговому сигналу. Числа, які складають послідовність – значення сигналу в окремі (тобто дискретні) моменти часу, їх називають відліками сигналу (samples). Зазвичай, відліки беруться через однакові проміжки часу T – період дискретизації (інтервал або крок дискретизації – sample time).

Дискретизація – це процес перетворення аналогового сигналу в послідовність відліків. Результатом цього перетворення є дискретний сигнал.

Квантування за рівнем (quantization) – процес перетворення відліків сигналу в числа. А помилки округлення, які виникають при цьому, називають помилками квантування або шумами квантування (quantization error, quantization noise).

Дискретний сигнал (discrete-time) – сигнал, який дискретний у часі, але не квантований за рівнем. Цифровий сигнал – сигнал, який дискретний у часі та квантований за рівнем. Існують також сигнали, які квантовані за рівнем та безперервні у часі, але вони доволі рідко зустрічаються на практиці. Різниця між аналоговим, дискретним та цифровим сигналами демонструє рисунок 1.1.

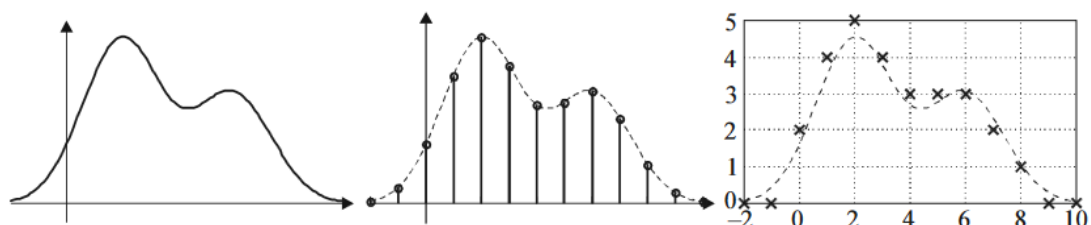


Рисунок 1.1 – Аналоговий, дискретний та цифровий сигнали

Зм..	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

1.2 Аналого-цифрове та цифро-аналогове перетворення

Узагальнена структура системи цифрової обробки сигналів наведена на рисунку 1.2. На вхід надходить аналоговий сигнал $s_{\text{вх}}(t)$. Його тимчасова дискретизація і квантування за рівнем виробляються в аналого-цифровому перетворювачі (АЦП; англ. термін — Analog-to-Digital Converter, ADC). Взагалі ці два процеси - дискретизація і квантування — є незалежними один від одного, але вони, як правило, виконуються всередині однієї мікросхеми. Вихідним сигналом АЦП є послідовність чисел, що надходить в цифровий процесор (ЦП), що виконує необхідну обробку. Процесор здійснює різні математичні операції над вхідними відліками; раніше отримані відліки і проміжні результати можуть зберігатися в пам'яті процесора для використання в наступних обчисленнях. Результатом роботи процесора є нова послідовність чисел, що представляють собою відліки вихідного сигналу. Аналоговий вихідний сигнал $s_{\text{вих}}(t)$ відновлюється по цій послідовності чисел за допомогою цифроаналогового перетворювача (ЦАП; англ. термін-Digital-to-Analog Converter, DAC). Напряга на виході ЦАП має ступінчасту форму (це також показано на рисунку 1.2); при необхідності воно може бути перетворено в плавно мінливий вихідний сигнал за допомогою згладжує фільтра Φ .

Використання вхідних і вихідних сигналів в аналоговій формі (і, отже, наявність АЦП і ЦАП) не завжди є необхідним. Так, при реалізації цифрового генератора сигналів не потрібен вхідний аналоговий сигнал, а ЦАП може бути відсутнім, якщо кінцевий результат необхідний тільки в цифровій формі.

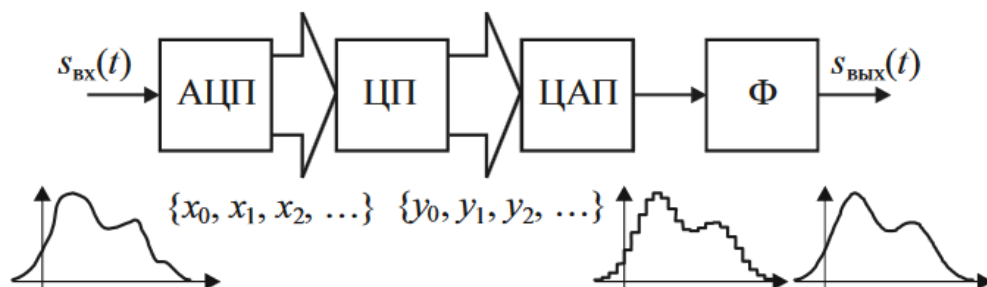


Рисунок 1.2 – Структурна схема системи цифрової обробки сигналів

Зм..	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

1.3 Зв'язок Z-перетворення з перетворенням Фур'є

Зручним способом аналізу дискретних послідовностей є z-перетворення (z-transform). Сенс його полягає в тому, що послідовності чисел $\{x(k)\}$ ставиться у відповідність функція комплексної змінної z , яка визначається наступним чином:

$$X(z) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} x(k)z^{-k}. \quad (1.1)$$

Зрозуміло, функція $X(z)$ визначена тільки для тих значень z , при яких ряд(1.1) сходиться.

Дискретне Z-перетворення дуже просто пов'язане з перетворенням Фур'є. При розгляді цього зв'язку немає необхідності вважати послідовність односторонньою:

$$X(z) = \dot{S}\left(\frac{1}{jT} \ln z\right), \quad \dot{S}(\omega) = X(e^{j\omega T}). \quad (1.2)$$

1.4 Основи цифрової фільтрації

Цифрові фільтри є дуже важливою частиною ЦОС. Насправді, їх висока продуктивність є однією з ключових причин того, що ЦОС стала такою популярною. Фільтри мають два призначення: розділення сигналу і відновлення сигналу.

Розподіл сигналів необхідний, коли сигнал був забруднений перешкодами, шумом або іншими сигналами. Наприклад, уявіть собі пристрій для вимірювання електричної активності серця дитини (ЕКГ) ще в утробі матері. Необроблений сигнал, швидше за все, буде спотворений диханням і серцебиттям матері. Для поділу цих сигналів може бути використаний фільтр, щоб їх можна було аналізувати окремо.

Відновлення сигналу використовується, коли сигнал був будь-яким чином спотворений. Наприклад, аудіозапис, зроблений з використанням поганого

					КвРКІ. 180121.18.01.18 ПЗ	Арк.
Зм..	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		9

обладнання, може бути відфільтрований, щоб краще представити звук таким, яким він був насправді.

Ці проблеми можуть бути усунені за допомогою аналогових або цифрових фільтрів. Що краще? Аналогові фільтри дешеві, швидкі і мають великий динамічний діапазон як по амплітуді, так і по частоті. Цифрові фільтри, в порівнянні з ними, значно перевершують за рівнем продуктивності, який може бути досягнутий.

Цифрові фільтри можуть забезпечити в тисячі разів кращу продуктивність, ніж аналогові фільтри. Це істотно змінює підхід до вирішення проблем фільтрації. При використанні аналогових фільтрів акцент робиться на подоланні обмежень електроніки, таких як точність і стабільність резисторів і конденсаторів. Для порівняння, цифрові фільтри настільки хороші, що продуктивність фільтра часто ігнорується.

Акцент зміщується на обмеження сигналів і теоретичні питання, що стосуються їх обробки.

У ЦОС прийнято говорити, що вхідні і вихідні сигнали фільтра знаходяться в тимчасовій області. Це пов'язано з тим, що сигнали зазвичай створюються шляхом вибірки через регулярні проміжки часу. Але це не єдиний спосіб відбору зразків.

Другий найбільш поширений спосіб вибірки - через рівні інтервали в просторі. Наприклад, уявіть, що ви одночасно знімаєте показання з безлічі тензодатчиків, встановлених з кроком в один сантиметр по довжині крила літака.

Можливі багато інших областей; однак час і простір, безумовно, є найбільш поширеними. Коли ви бачите термін "часова область" в ЦОС, пам'ятайте, що насправді він може відноситися до зразків, взятих з плином часу, або це може бути загальним посиланням на будь-яку область, в якій відбираються вибірки.

Як показано на рисунку 1.3, кожен лінійний фільтр має імпульсну, ступінчасту і частотну характеристику. Кожен з цих параметрів містить повну інформацію про фільтр, але в різних формах. Якщо заданий один з трьох параметрів, то два інших є фіксованими і можуть бути розраховані безпосередньо.

					КвРКІ. 180121.18.01.18 ПЗ	Арк.
Зм..	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		10

Всі три з цих представлень є важливими, оскільки вони описують, як буде реагувати фільтр за різних обставин.

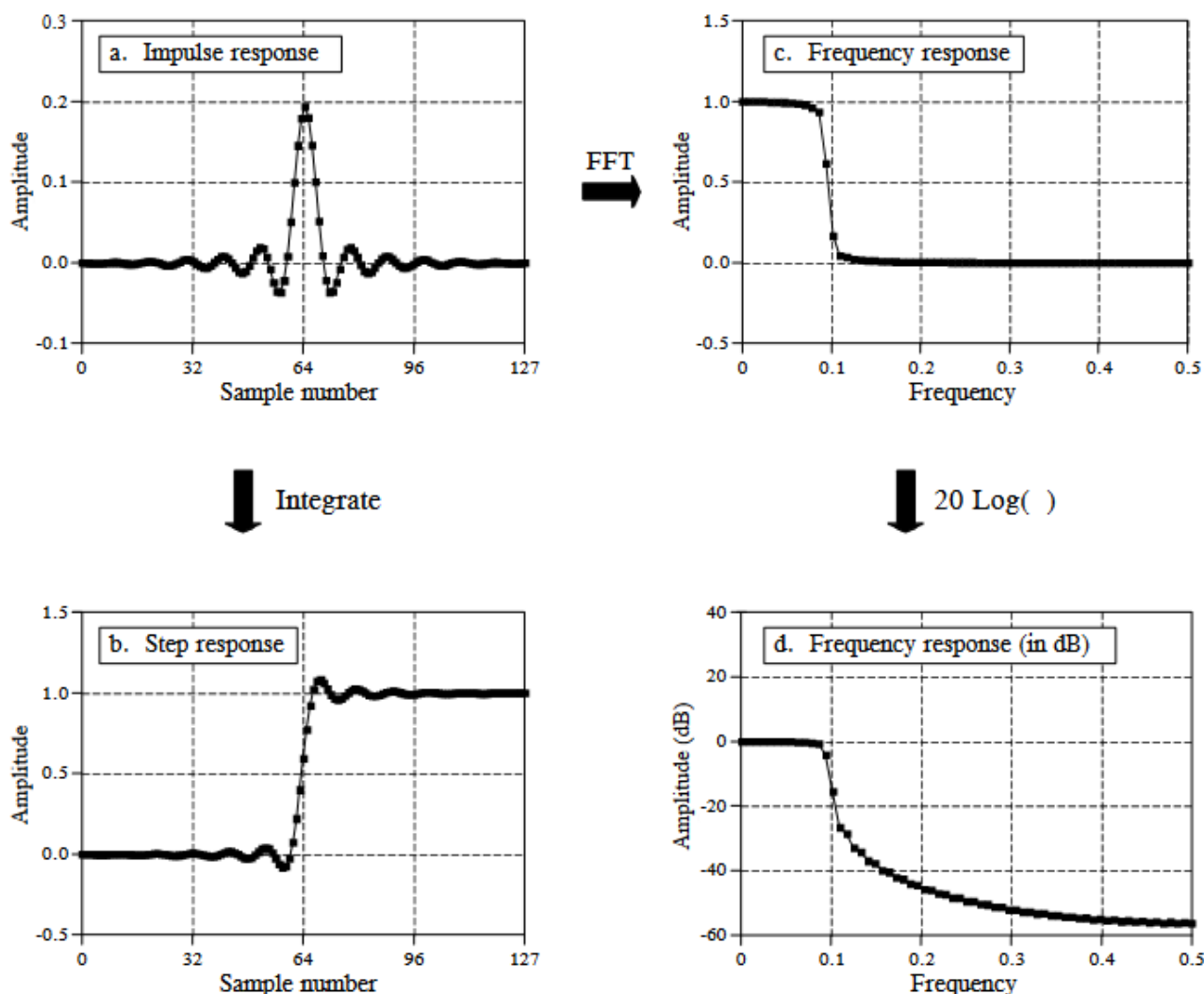


Рисунок 1.3 – Параметри фільтра

Ступінчаста характеристика (b) може бути знайдена шляхом дискретного інтегрування імпульсної характеристики (a). Частотна характеристика може бути знайдена з імпульсної характеристики за допомогою швидкого перетворення Фур'є (FFT) і може відображатися або в лінійному масштабі (c), або в децибелах (d).

Найпростіший спосіб реалізувати цифровий фільтр - це згорнути вхідний сигнал з імпульсною характеристикою цифрового фільтра. Таким чином можуть бути виготовлені всі можливі лінійні фільтри.

Існує також інший спосіб створення цифрових фільтрів, званий рекурсією. Коли фільтр реалізується за допомогою згортки, кожна вибірка на виході обчислюється шляхом зважування вибірок на вході і складання їх разом.

Рекурсивні фільтри є розширенням цього, використовуючи раніше обчислені значення з вихідних даних, крім точок з вхідних даних. Замість використання ядра фільтра рекурсивні фільтри визначаються набором коефіцієнтів рекурсії. Імпульсні характеристики рекурсивних фільтрів складаються з синусоїд, які експоненціально затухають по амплітуді. В принципі, це робить їх імпульсні відгуки нескінченно довгими. Однак амплітуда в кінцевому підсумку падає нижче шуму округлення системи, і залишилися відліки можна ігнорувати.

Через цю характеристику рекурсивні фільтри також називаються фільтрами з нескінченною імпульсною характеристикою або IIR.

Для порівняння, фільтри, що виконуються шляхом згортки, називаються фільтрами з скінченною імпульсною характеристикою або FIR -фільтрами.

Імпульсна характеристика - це вихідний сигнал системи, коли вхідним сигналом є імпульс. Таким же чином, крокова відповідь є вихідним, коли вхідним сигналом є крок. Оскільки крок є інтегралом від імпульсу, крокова характеристика є інтегралом від імпульсної характеристика.

Це забезпечує два способи визначення ступінчастої характеристики: (1) подати ступінчасту форму сигналу в фільтр і подивитися, що вийде, або (2) інтегрувати імпульсну характеристику.

Частотну характеристику можна знайти, використовуючи DFT (використовуючи алгоритм FFT) імпульсної характеристики. Частотна характеристика може бути нанесена на лінійну вертикальну вісь або в логарифмічному масштабі (децибели).

Лінійна шкала найкраще показує пульсацію і спад смуги пропускання, в той час як шкала децибел необхідна для відображення ослаблення смуги пропускання.

					КвРКІ. 180121.18.01.18 ПЗ	Арк.
Зм..	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		12

1.5 Спектр Фур'є неперервних та дискретних сигналів

Нехай $x(t)$ – неперервний сигнал, що задовольняє умову $\int_{-\infty}^{\infty} |x(t)| dt < \infty$. Сигнал $x(t)$ у цьому випадку може бути поданий у вигляді інтегрального розкладу за системою комплексних синусоїдальних функцій – інтеграла Фур'є:

$$x(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} X(\omega) e^{j\omega t} d\omega = \int_{-\infty}^{\infty} X(f) e^{j2\pi f t} df, \quad (1.3)$$

де $X(\omega)$ - комплексна функція, що визначає амплітуду та фазову затримку комплексної синусоїди із частотою ω : $e^{i\omega t} = \cos(\omega t) + i * \sin(\omega t)$.

У загальному випадку ця функція визначена на всій осі частот $\omega \in [-\infty, \infty]$ і називається вона Фур'є-спектром сигналу $x(t)$.

У свою чергу Фур'є-спектр $X(\omega)$ може бути отриманий з вихідного сигналу $x(t)$ за допомогою співвідношення:

$$X(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) e^{-j\omega t} dt. \quad (1.4)$$

Співвідношення (1.3), (1.4) являють собою пари інтегральних перетворень Фур'є, причому (1.4) – пряме перетворення Фур'є, (1.3) – обернене перетворення Фур'є.

Відмітимо, що сигнал $x(t)$ і Фур'є-спектр $X(\omega)$ – дві взаємно-однозначні характеристики, перша є часовим поданням сигналу, друга – частотним. Часове подання більш наочне та звичне для повсякденного сприйняття, друге – менш наочне, але винятково корисне при математичному описі перетворень сигналів у лінійних системах з постійними параметрами.

Основні властивості Фур'є-спектра $X(\omega)$:

1. Функція $X(\omega)$ в загальному випадку є комплексною:

$$X(\omega) = \text{Re}X(\omega) + i\text{Im}X(\omega) = |X(\omega)| e^{i\text{arg}X(\omega)} = A(\omega) e^{i\Phi(\omega)}. \quad (1.5)$$

					КвРКІ. 180121.18.01.18 ПЗ	Арк.
Зм..	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		13

Функцію $A(\omega) = |X(\omega)|$ називають амплітудним спектром (іноді магнітудою спектра), вона визначає дійсну амплітуду синусоїди із частотою ω , що бере участь у формуванні сигналу. Функцію $\Phi(\omega) = \arg X(\omega) = \arctan\left(\frac{\text{Im } X(\omega)}{\text{Re } X(\omega)}\right)$ називають фазовим спектром, вона показує зсув, якому варто піддати комплексну синусоїду частоти ω перед підсумовуванням при відновленні вихідного сигналу.

2. Внаслідок дійсності сигналу $x(t)$ функція $X(\omega)$ має комплексно спряжену симетрію

$$\begin{aligned} X(\omega) &= X^*(-\omega), \\ \text{Re } X(\omega) &= \text{Re } X(-\omega), \\ \text{Im } X(\omega) &= -\text{Im } X(-\omega), \\ |X(\omega)| &= |X(-\omega)|, \\ \text{Arg } X(\omega) &= -\text{Arg } X(-\omega). \end{aligned} \tag{1.6}$$

3. Енергія спектра Фур'є обмежена й дорівнює енергії вихідного сигналу (рівність Парсеваля):

$$\frac{1}{(2\pi)^2} \int_{-\infty}^{\infty} X^2(\omega) d\omega = \int_{-\infty}^{\infty} x^2(t) dt < \infty. \tag{1.7}$$

1.6 Дискретне перетворення Фур'є

Дискретне перетворення Фур'є можна отримати безпосередньо з інтегральних перетворень та шляхом дискретизації аргументів:

$$t \rightarrow t_k = k\Delta t, \quad \omega \rightarrow \omega_n = n\Delta\omega, \tag{1.8}$$

$$F(\omega_n) = \Delta t * \sum_{k=-\infty}^{\infty} f(t_k) e^{-i\omega_n k \Delta t}, \tag{1.9}$$

$$f(t_k) = \frac{\Delta\omega}{2\pi} \sum_{n=-\infty}^{\infty} F(\omega_n) e^{it_k n \Delta\omega}. \tag{1.10}$$

Тут варто нагадати, що дискретизація функції за часом призводить до періодизації її спектру і, навпаки, дискретизація спектру за частотою – до періодизації функції. Отже, звідси можна зробити наступне зауваження. Для дискретних Фур'є перетворень і функція, і її спектр є дискретними та періодичними.

Перетворення Фур'є дискретного сигналу має дві основні реалізаційні проблеми. По-перше, сумування нескінченного числа вхідних відліків в дійсності неможливе, тому потрібен який-небудь спосіб скорочення кількості відліків, що необхідна. По-друге, для реалізації процедури розрахунку потрібно замінити неперервну змінну ω на дискретну, тобто обрати крок дискретизації спектру $\Delta\omega$.

Перша проблема легко вирішується виділенням кінцевого числа відліків або, інакше кажучи, накладанням вікна. При цьому необхідно зауважити, що в цьому випадку спектр дискретного сигналу буде являти собою згортку Фур'є-образу цього сигналу з функцією вікна. Згідно з теоремою відліків частотний спектр повторюється з періодом, що дорівнює частоті дискретизації ω_d , тому можливо встановити, яка кількість відліків N необхідна для точного опису сигналу, що визначається функцією $f(t)$. При дискретному перетворенні Фур'є кількість спектральних складових, щопотрібно розрахувати, зазвичай дорівнює кількості відліків вхідного сигналу N (рисунок 1.4). Якщо покласти, що відстань між частотними відліками в спектрі $\Delta\omega$ є такою, що:

$$N\Delta\omega = \omega_d \quad \text{або} \quad \Delta\omega = \omega_d/N. \quad (1.11)$$

Зазначені рівності дають змогу перетворити неперервну частотну шкалу в дискретну, враховуючи, що $\omega_d = \frac{2\pi}{\Delta t}$ можна записати:

$$\Delta\omega * \Delta t = \frac{\omega_d}{N} * \frac{2\pi}{\omega_d} = \frac{2\pi}{N}. \quad (1.12)$$

					КвРКІ. 180121.18.01.18 ПЗ	Арк.
Зм..	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		15

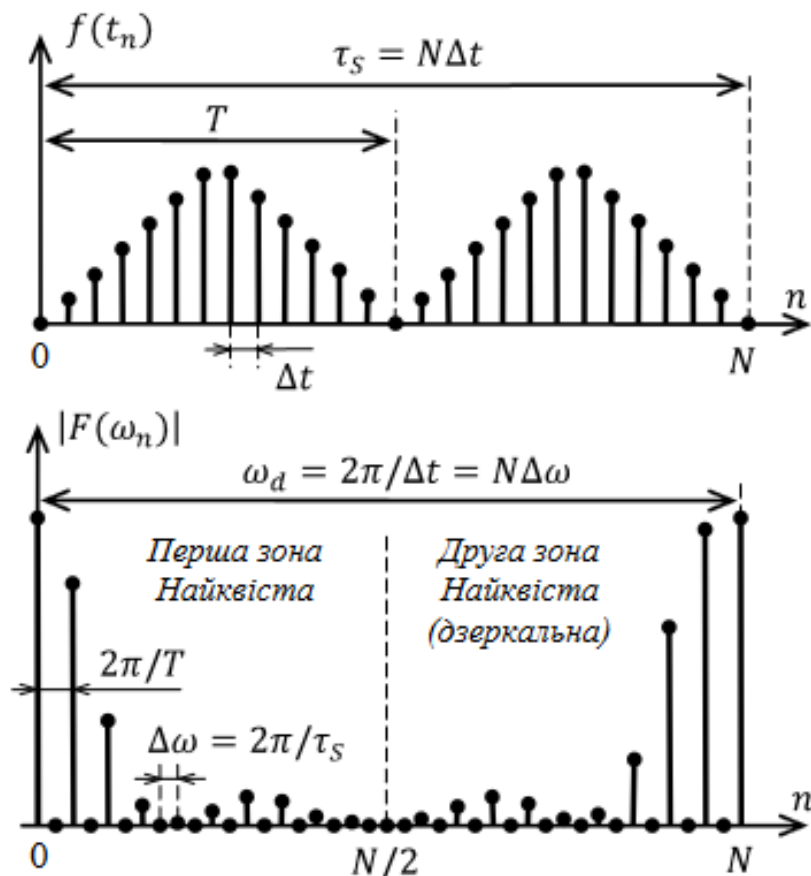


Рисунок 1.4 - Дискретизований сигнал $f(t_n)$ та його амплітудний спектр $F(\omega_n)$, отриманий шляхом дискретного перетворення Фур'є

1.7 Швидке перетворення Фур'є

Оснoву швидкого перетворення Фур'є (ШПФ) складає проріджування по частоті та пірамідальний алгоритм, який виключає повторний розрахунок членів ряду Фур'є, що періодично повторюються.

Припустимо, що масив чисел f_k містить $N = 2^r$ відліків (r – ціле число). Розділимо цей масив на два проміжних масиви з парними та непарними відліками:

$$f'_k = f_{2k}, \quad f''_k = f_{2k+1}, \quad 0 \leq k \leq \frac{N}{2} - 1. \quad (1.13)$$

Якщо тепер виконати ДПФ кожного з масивів з урахуванням того, що крок дискретизації функції збільшився вдвічі, отримаємо два проміжних спектри, період яких буде дорівнювати $N/2$:

Зм..	Арк.	№докум.	Підпис	Дата
------	------	---------	--------	------

$$f'_k = F'_n, \quad f''_k = F''_n, \quad 0 \leq n \leq \frac{N}{2} - 1. \quad (1.14)$$

Для отримання однієї половини спектру F_n складемо отримані спектри з врахуванням того, що відліки функції f''_k зсунуті відносно функції f'_k на один крок дискретизації:

$$F_n = F'_n + F''_n * e^{-i\frac{2\pi n}{N}}. \quad (1.15)$$

Інша половина спектру, що комплексно спряжена з першою, з врахуванням періоду повторення $N/2$ проміжних спектрів визначається виразом:

$$F_{n+N/2} = F'_n + F''_n * e^{-i\frac{2\pi(n+N/2)}{N}} = F'_n - F''_n * e^{-i\frac{2\pi n}{N}}. \quad (1.16)$$

Неважко побачити, що для розрахунку повного спектру в даному випадку знадобиться $N^2/4$ операцій для розрахунку проміжних спектрів плюс ще N операцій комплексного додавання та множення, що створює досить відчутний ефект порівняно із звичайним ДПФ.

Але розділення масивів на дві частини може бути застосовано і до перших проміжних масивів, і до других, і т.д. до тих пір, доки в масивах не залишиться по одному відліку. Таким чином алгоритм перетворення стає пірамідальним алгоритмом перестановок зі складанням/відніманням та з одиничним множенням на значення $e^{-i2\pi n/N}$, що відповідає рівню піраміди.

Виходячи з цього, загальна кількість операцій, що необхідна для повного розрахунку спектру дорівнює $N \log_2 N$. Отже, порівняно з ДПФ швидкість розрахунку збільшується в $N / \log_2 N$ разів. При чому чим більше N , тим більший ефект від ШПФ.

Алгоритми прямого та зворотного ШПФ сьогодні широко застосовуються в сучасному програмному забезпеченні для аналізу та обробки цифрових даних.

					КвРКІ. 180121.18.01.18 ПЗ	Арк.
Зм..	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		17

1.8 Висновки

В даному розділі було розглянуто теорію цифрової фільтрації. Були досліджені особливості аналогових, дискретних та цифрових сигналів. Також були розглянуті специфіки їх перетворення і окремі характеристики фільтрів. Впродовж роботи над цим розділом ще було досліджено питання використання перетворень Фур'є в контексті поставленої задачі та властивості, які притаманні цим перетворенням. Всі ці питання були розглянуті для того, щоб завдяки отриманим теоретичним знанням в подальшому мати можливість використати їх на практиці для розробки засобу для фільтрації звукових сигналів.

					КвРКІ. 180121.18.01.18 ПЗ	Арк.
Зм..	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		18

2 ПРОЄКТУВАННЯ ПРОГРАМНО-ТЕХНІЧНОГО ЗАСОБУ ДЛЯ ОБРОБКИ ЗВУКОВИХ СИГНАЛІВ

2.1 Обґрунтування вибору апаратних ресурсів та програмного забезпечення

Для створення програмно-технічного засобу для обробки звукових сигналів було використано MATLAB/Simulink.

Інженери з обробки сигналів використовують MATLAB і Simulink на всіх етапах розробки - від аналізу сигналів і вивчення алгоритмів до оцінки компромісів при проектуванні і реалізації для створення систем обробки сигналів в реальному часі.

MATLAB і Simulink пропонують:

- 1) вбудовані функції і додатки для аналізу і обробки даних часових рядів, спектрального і частотно-часового аналізу, а також вимірювань сигналів;
- 2) програми та алгоритми для проектування, аналізу та впровадження цифрових фільтрів від базових FIR і IIR до адаптивних, багатошвидкісних і багатоступеневих конструкцій;
- 3) середовище для моделювання та імітації систем обробки сигналів за допомогою комбінації програм і блок-схем;
- 4) можливості моделювання поведінки з фіксованою точкою і автоматичної генерації коду на C / C++ або HDL для розгортання на вбудованих процесорах, ПЛІС і ASIC;
- 5) інструменти для розробки прогнозних моделей на основі сигналів і даних датчиків з використанням процесів машинного навчання і глибокого навчання.

Можливості MATLAB і Simulink.

Аналіз і вимірювання сигналів. MATLAB і Simulink допомагають аналізувати сигнали за допомогою вбудованих додатків для візуалізації та попередньої обробки сигналів у часовій, частотній і частотно-часовій областях для виявлення закономірностей і тенденцій без необхідності ручного написання коду. Є можливість охарактеризувати сигнали і системи обробки сигналів за допомогою

					КвРКІ. 180121.18.01.18 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		19

специфічних для предметної області алгоритмів в різних додатках, таких як зв'язок, радар, аудіо, медичні пристрої та Інтернет речей.

Проектування та аналіз фільтрів. Проектування та аналіз цифрових фільтрів від базових одношвидкісних низькочастотних або високочастотних до більш складних конструкцій FIR і IIR, включаючи багатошвидкісні, багатоступінчасті і адаптивні фільтри. Є можливість візуалізувати величину, фазу, групову затримку і імпульсну характеристику, а також оцінити продуктивність фільтра, включаючи стабільність і лінійність фази. Конструкції фільтрів можуть бути проаналізовані і змодельовані для оцінки впливу різних внутрішніх структур і типів даних з фіксованою точкою. Вони також можуть створювати вбудовані програмні або апаратні реалізації. Для розширених і специфічних для конкретного додатка варіантів використання можна використовувати попередньо розроблені фільтри і банки фільтрів.

Заснований на моделі дизайн для обробки сигналів. При проектуванні систем обробки сигналів можна використовувати комбінацію блок-схем і мовного програмування. Можна використовувати Simulink для застосування дизайну на основі моделей до систем обробки сигналів для моделювання, імітації, ранньої перевірки та генерації коду. Можна використовувати бібліотеки блоків з алгоритмами, специфічними для конкретного додатку, для обробки базового сигналу, аудіо, аналогового змішаного сигналу і радіочастотного сигналу, дротового і бездротового зв'язку, а також радіолокаційних систем. Можна візуалізувати сигнали в реальному часі під час моделювання за допомогою віртуальних областей, включаючи спектральні та логічні аналізатори, сузір'я та очні діаграми.

2.2 Дискретні сигнали в MATLAB

Дискретний сигнал являє собою послідовність чисел, а тому в MATLAB він представляється у вигляді вектора. Якщо необхідно реалізувати багатоканальну обробку сигналів, для цього зручно використовувати другий вимір, представивши

					КвРКІ. 180121.18.01.18 ПЗ	Арк.
Зм..	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		20

набір сигналів у вигляді матриці. Багатоканальна обробка підтримується багатьма функціями MATLAB.

Якщо сигнал одновимірний, то в більшості випадків функції MATLAB правильно оброблять його при будь-якій орієнтації вектора-як у вигляді рядка — так і у вигляді стовпця. Однак в багатоканальному випадку, коли вхідний сигнал представлений у вигляді матриці, обробка проводиться по стовпцях.

Таким чином, стовпці матриці трактуються як сигнали різних каналів, а рядки — як окремі векторні відліки багатоканального сигналу. Для уникнення плутанини рекомендується і в одноканальному випадку задавати сигнали у вигляді стовпців. Відліки дискретного сигналу можуть бути отримані двома шляхами. Перший варіант – розрахунок значень сигналу (моделювання сигналу), другий — отримання сигналу ззовні шляхом зчитування його запису.

2.3 Розрахунок часових функцій

Аналоговий сигнал з математичної точки зору являє собою функцію (як правило — функцію часу), і при його дискретизації ми отримуємо відліки, які є значеннями цієї функції, обчисленими в дискретні моменти часу. Тому для розрахунку дискретизованого сигналу необхідно, перш за все, сформуванати вектор дискретних значень часу.

Для цього зручно задати значення частоти дискретизації F_s (sampling frequency) і використовувати зворотну величину в якості кроку часового ряду:

```
>> Fs = 8e3;           % частота дискретизації 8 кГц
>> t = 0: 1 / Fs: 1;   % одна секунда дискретних значень часу
>> t = T';             % перетворимо рядок у стовпець
```

Сформувавши вектор опорних значень часу, можна обчислювати значення сигналу, використовуючи цей вектор у відповідних формулах. Більшість математичних функцій MATLAB обробляють векторний аргумент поелементно, так що з цим проблем не виникає. Однак слід пам'ятати про те, що операції множення, ділення і зведення в ступінь в MATLAB мають матричний сенс, тому

при розрахунку одновимірних функцій часу слід використовувати поелементні версії цих операцій (\cdot , \cdot / i \cdot \wedge).

Для візуалізації дискретних сигналів можуть використовуватися різні графічні засоби MATLAB в залежності від конкретної ситуації. Часто цілком допустимим є з'єднання дискретних відліків лініями, тобто побудова графіка за допомогою функції plot (рисунок 2.1, зверху зліва). При цьому добре видно загальну форму сигналу (фактично в цьому випадку отримуємо графік аналогового сигналу, отриманого шляхом лінійної інтерполяції), але непомітні відлікові точки. Якщо необхідно відобразити саме їх, можна відмовитися від з'єднання точок лініями (рисунок 2.1, зверху праворуч).

Крім функції plot існують інші графічні функції, спеціально призначені для відображення дискретних послідовностей. Функція stem зображує сигнал у вигляді "стеблинок" (рисунок 2.1, знизу ліворуч), а функція stairs - в ступінчастому вигляді (рисунок 2.1, знизу праворуч). В останньому випадку зображується аналоговий сигнал з кусково-постійною інтерполяцією (інтерполяцією нульового порядку).

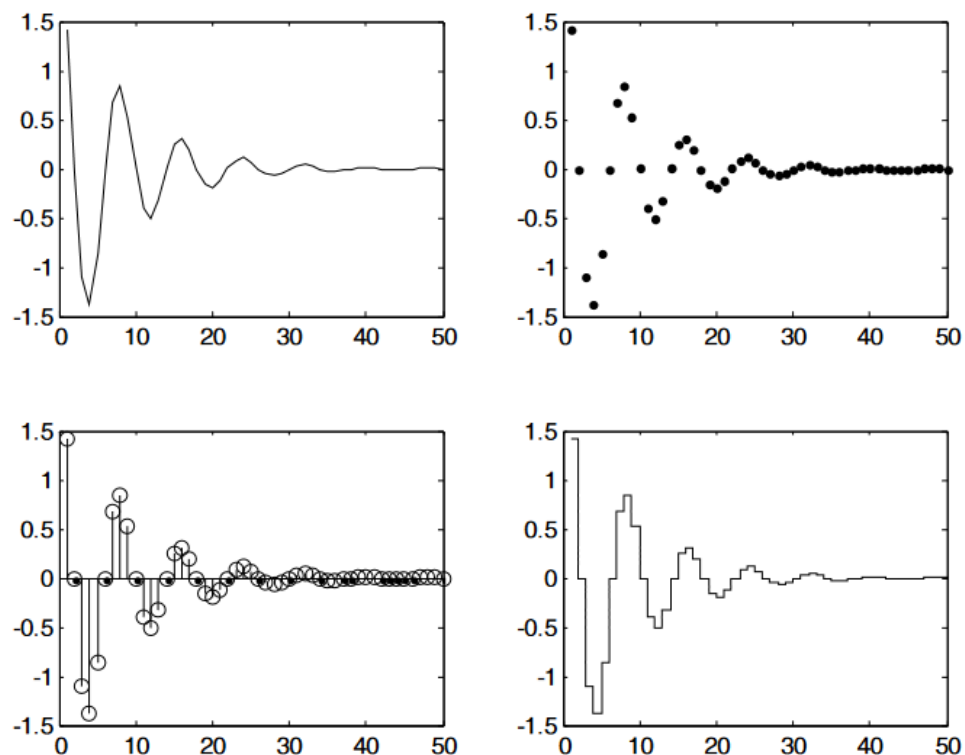


Рисунок 2.1 – Різноманітні форми представлення графіків дискретного сигналу

Горизонтальна вісь на наведених графіках проградуєвана в номерах відліків. Щоб показати на цій осі значення часу, при виклику графічних функцій слід використовувати два параметри, передавши в першому з них відповідний часовий вектор, наприклад, так:

```
>> plot(t(1:50), s2(1:50))
```

Якщо необхідно згенерувати багатоканальний сигнал, канали якого описуються однією і тією ж формулою, але з різними числовими значеннями параметрів, для цього можна ефективно використовувати засоби матричних операцій MATLAB. Найпростіший приклад - генерація набору синусоїд із заданими частотами (в наведеному далі коді використовується вектор t , сформований раніше):

```
>> f = [600 800 1000 1200 1400]; % вектор частот (рядок!)
```

```
>> s3 = cos (2*pi*t * f); % п'ятиканальний сигнал
```

Тут стовпець значень часу t множиться на рядок частот f . в результаті виходить матриця, що містить всі необхідні значення добутку часу і частоти. Далі ця матриця піддається поелементним перетворенням (множення на 2π і обчислення косинуса). Результат обчислень показаний на рисунку 2.2:

```
>> plot(t(1:50), s3(1:50,:))
```

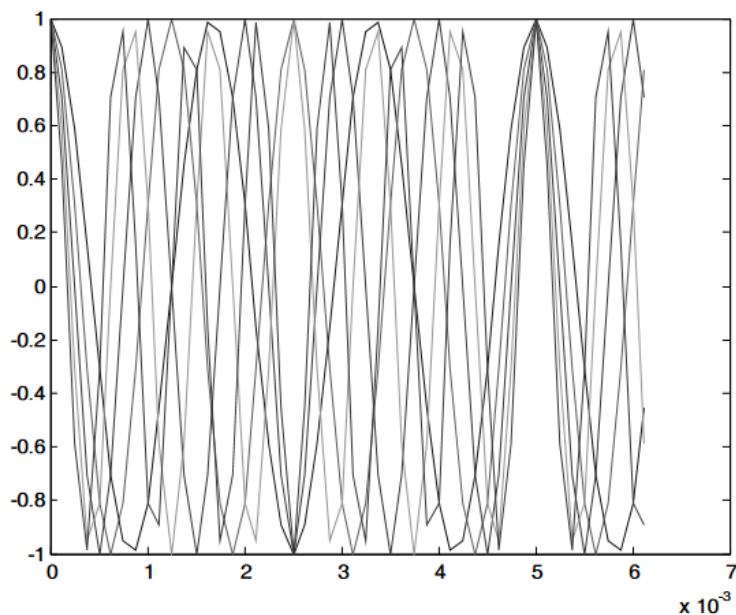


Рисунок 2.2 – Багатоканальний сигнал

2.4 Дискретна фільтрація в MATLAB

Слід зазначити, що сфера застосування технологій дискретної фільтрації в даний час не обмежується обробкою сигналів — це технології обробки будь-яких даних. Даний факт знайшов своє відображення і в тому, що в MATLAB базові функції дискретної фільтрації не відносяться до пакету розширення Signal Processing, а є вбудованими в ядро програми.

Крім численних функцій розрахунку параметрів дискретних фільтрів у складі пакету Signal Processing є програма FDATool (Filter Design & Analysis Tool) - графічне середовище для аналізу дискретних фільтрів. Ця програма дозволяє не тільки аналізувати, але і розраховувати (синтезувати) фільтри із заданими властивостями.

Розрахунок імпульсної характеристики

Щоб отримати імпульсну характеристику, необхідно подати на вхід фільтра одиничний відлік, доповнений деякою кількістю нулів:

```
filter(b, a, [1 zeros(1, N)])
```

Для зручності такий розрахунок реалізований у функції `impz`, яка до того ж володіє рядом додаткових можливостей. У найпростішому вигляді синтаксис виклику функції `impz` наступний:

```
h = impz(b, a);
```

Вхідні параметри `b` і `a` – коефіцієнти поліномів чисельника і знаменника функції передачі відповідно. Повертається значення `h` — вектор відліків імпульсної характеристики. Число розраховуються відліків вибирається автоматично (для цього використовується функція `impzlength`) і залежить від поведінки імпульсної характеристики. Більше детальну інформацію про це можна знайти в документації пакету Signal Processing. Щоб явно задати число розраховуються відліків імпульсної характеристики, слід використовувати третій вхідний параметр `n`:

```
h = impz(b, a, n);
```

Тепер звернемося до вихідних параметрів функції. У наведених раніше варіантах використовувався один вихідний параметр - вектор відліків імпульсної

характеристики. Якщо вихідні параметри відсутні, функція `impz` будує графік імпульсної характеристики з використанням графічної функції `stem`.

Побудуємо графік імпульсної характеристики фільтра Баттерворта 5-го порядку з частотою зрізу, що дорівнює 0,1 частоти дискретизації (рисунок 2.3):

```
>> [b, a] = butter(5, 0,2);  
>> impz(b, a)
```

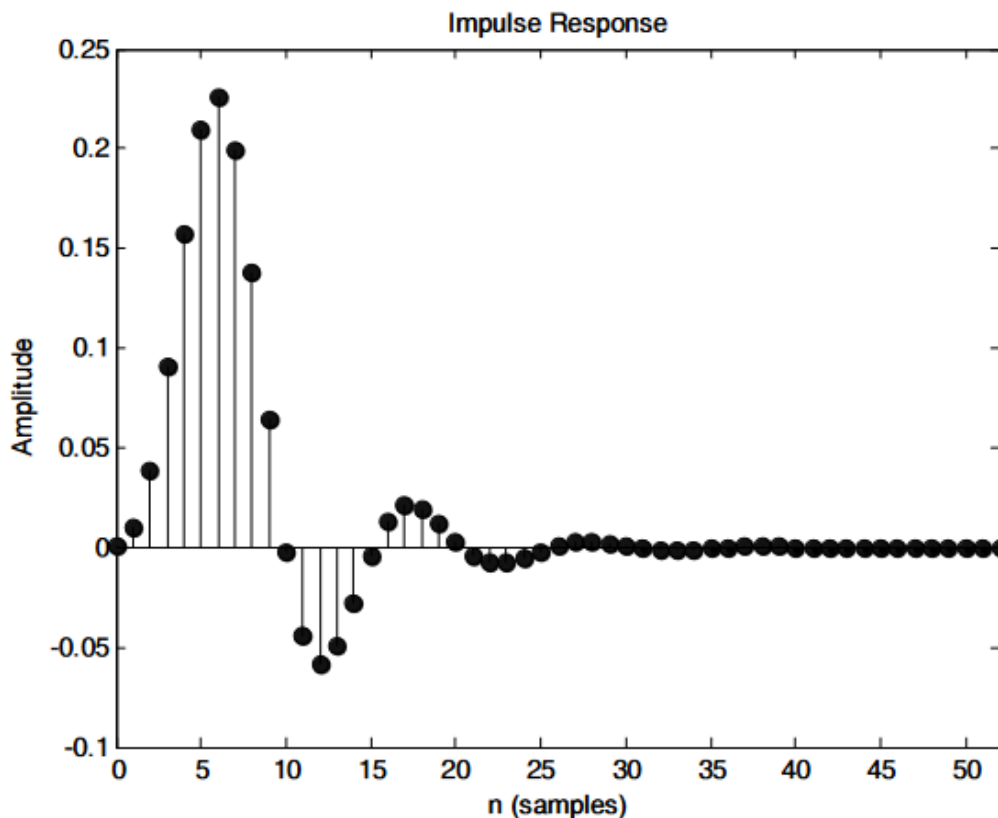


Рисунок 2.3 – Графік імпульсної характеристики, побудований функцією `impz`

Розрахунок перехідної характеристики

Щоб отримати перехідну характеристику, необхідно подати на вхід фільтра послідовність одиничних відліків:

```
filter(b, a, ones(1, N))
```

Для зручності такий розрахунок реалізований у функції `stepz`, використання якої повністю аналогічно щойно розглянутої функції `impz`:

```
g = stepz(b, a);
```

```
g = stepz(b, a, n);
```

Зм..	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

Побудуємо графік перехідної характеристики того ж фільтра Баттерворта 5-го порядку, що використовувався в попередньому прикладі (рисунок 2.4):

```
>> [b, a] = butter(5, 0,2);  
>> stepz(b, a)
```

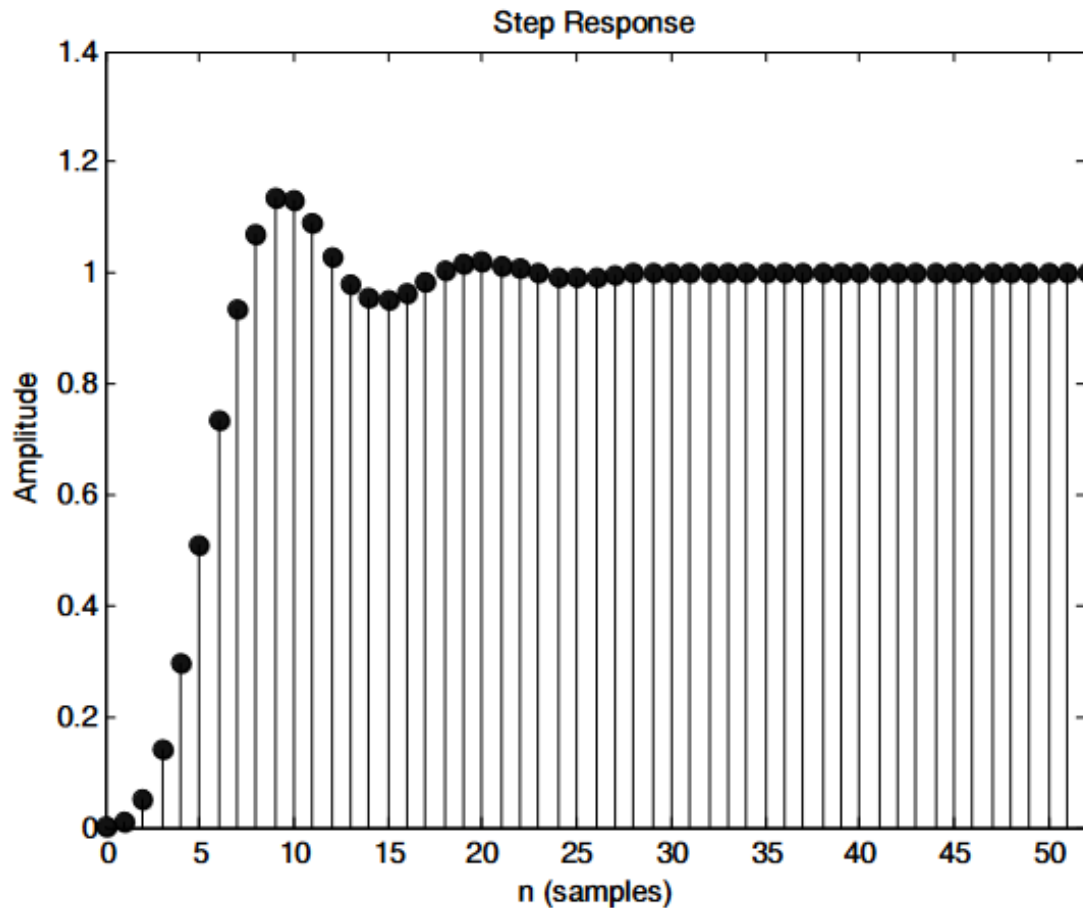


Рисунок 2.4 – Графік перехідної характеристики, побудований функцією stepz

2.5 Можливості MATLAB у дослідженні спектрального перетворення Фур'є

Спектральний аналіз – це один із методів обробки сигналів, який дозволяє характеризувати частотний склад сигналу і є одним з найбільш важливих параметрів вихідного звукового сигналу. Математичною основою спектрального аналізу є перетворення Фур'є, яке пов'язує часовий сигнал з його представленням в частотній області. В основі перетворення Фур'є лежить проста, але дуже результативна ідея – довільну періодичну функцію можна представити сумою окремих гармонічних складових.

Зм..	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

Періодичні сигнали, які описуються періодичними функціями $s(t)$, можуть бути розвинені на певному інтервалі у ряд Фур'є, якщо вони на цьому інтервалі задовольняють умови Діріхле:

- 1) можуть мати скінченну кількість розривів неперервності першого роду;
- 2) скінченну кількість екстремумів;
- 3) якщо t_0 – точка розриву першого роду функції $f(t)$, то $f(t_0) =$

$$\frac{f(t_0-0)+f(t_0+0)}{2}$$

Синусно-косинусна форма ряду Фур'є:

$$s(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{k=1}^{\infty} (a_k \cos k\omega_1 t + b_k \sin k\omega_1 t). \quad (2.1)$$

Розглянемо ідеальну періодичну послідовність прямокутних імпульсів, яку показано на рисунку 2.5. Аналітичний запис такої послідовності має вигляд:

$$s(t) = \begin{cases} A, & |t| \leq \frac{\tau}{2}, \\ 0, & |t| > \frac{\tau}{2}, \end{cases} \quad \tau < T. \quad (2.2)$$

Розвинемо послідовність прямокутних імпульсів $s(t)$ в ряд Фур'є із періодом T , амплітудою A та тривалістю τ кожного імпульсу.

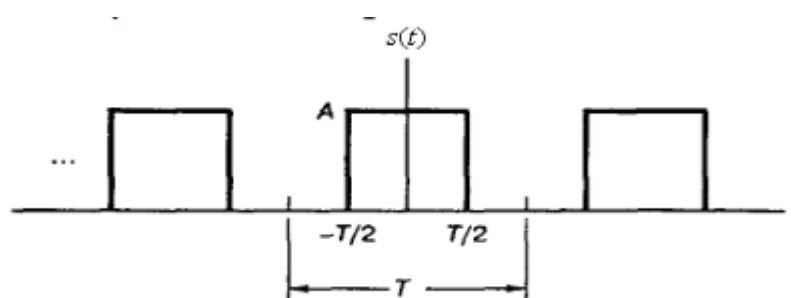


Рисунок 2.5 – Періодична послідовність прямокутних імпульсів

Після розрахунків розклад Фур'є періодичної послідовності прямокутних імпульсів набуває вигляду:

$$s(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{k=1}^{\infty} (a_k \cos k\omega_1 t + b_k \sin k\omega_1 t) = \frac{A\tau}{T} + \sum_{k=1}^{\infty} \frac{2A}{k\pi} \sin \frac{k\pi\tau}{T} \cos \frac{2k\pi t}{T}. \quad (2.3)$$

Наступний код (рисунок 2.6) дозволяє будувати обвідну криву спектра послідовності прямокутних імпульсів з різними періодами, для 60 гармонік. Якщо форму цього сигналу залишити незмінною, а період збільшити у два рази, то як показано на рисунку 2.7 щільність ліній спектру збільшується, а форма обвідної спектра залишається незмінною. Для порівняння форми спектрів незалежно від зміни основного періоду сигналу відлік по осі абсцис проводиться не в одиницях n , а в $w = \frac{2\pi n}{T}$.

У результаті роботи програми створено вікно (рисунок 2.7) з чотирма графіками: зліва спектри послідовності прямокутних імпульсів з різними періодами T , для 60 гармонік, справа побудований ряд Фур'є, що зображає послідовність прямокутних імпульсів з періодами $T = 40$ і $T = 80$, амплітудою $A = 1$ та тривалістю $\tau = 4$ кожного імпульсу.

```
w=2*pi*k/T(i);%частота
t=(-3)*T(i):T(i)/(20*N):3*T(i);
a=2*sin(k*pi*tau/T(i))./(k*pi);
a(1)=tau/T(i);
Ak=abs(a);
fik=angle(a);
subplot(2,2,1)
stem(w,Ak)
title('Спектр прямокутного імпульсу')
% відновлення прямокутного сигналу
s(1:length(t))=a(1);
for n=2:N
s=s+a(n)*cos(2*n*pi*t/T(i));
end
```

Рисунок 2.6 – Фрагмент коду

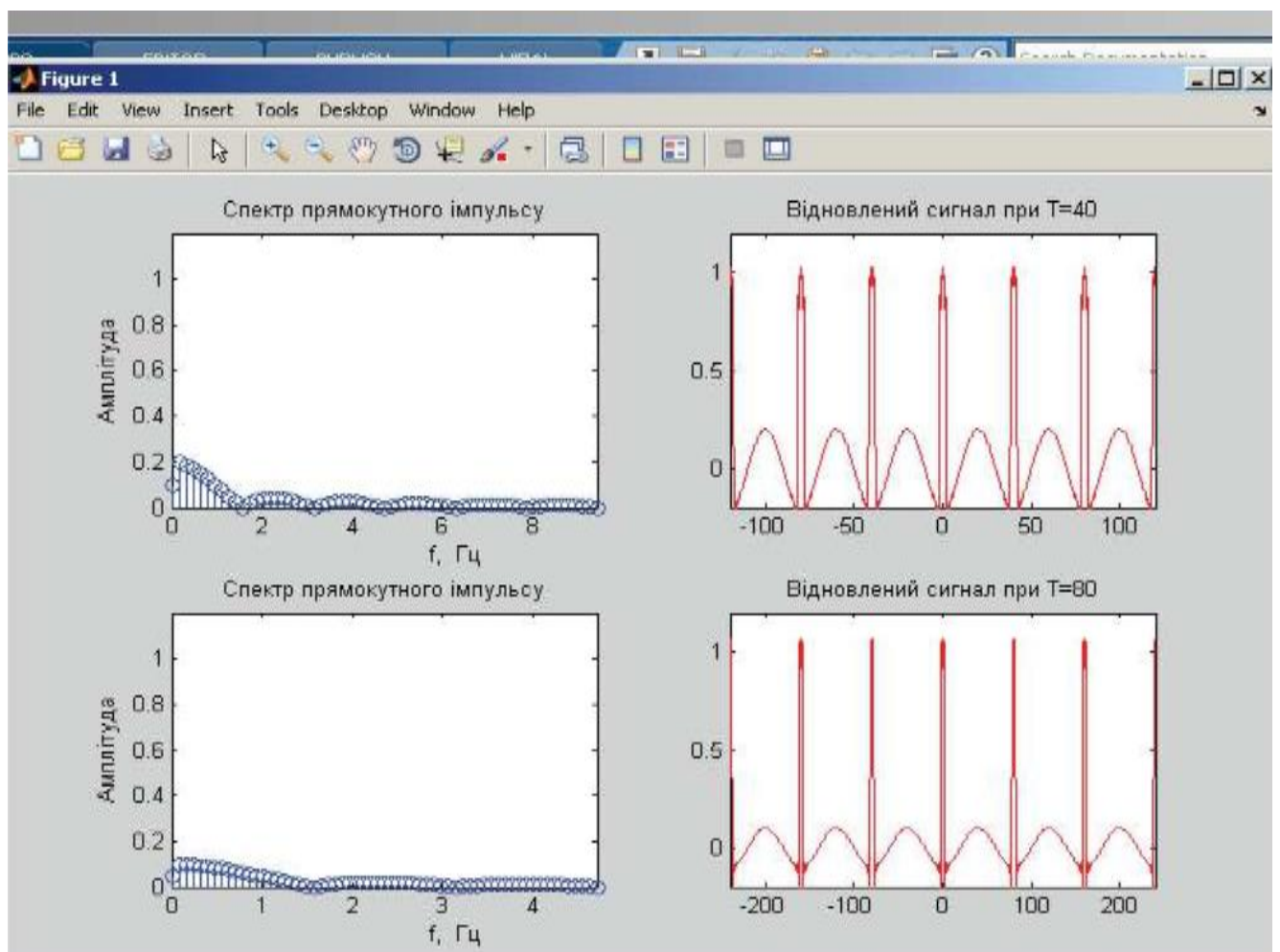


Рисунок 2.7 – Спектр і відновлення послідовності прямокутних імпульсів

2.6 Спектрограма

Спектрограмою (spectrogram) сигналу називається його миттєвий спектр, що залежить від часу. Для обчислення спектрограми вектор сигналу розбивається на фрагменти (можливо, з перекриттям). Для кожного фрагмента обчислюється спектр за допомогою функції `fft`. Набір спектрів всіх фрагментів і утворює спектрограму.

Для обчислення спектрограми служить функція `spectrogram`:

`[S, F, T, P] = spectrogram(x, w, noverlap, nfft, fs)`

Тут `x` — вектор сигналу (сигнал не може бути багатоканальним), `w` — довжина використовуваного вікна або вектор його відліків (довжина цього вектора визначає розмір фрагментів, на які розбито аналізований сигнал), `nooverlap` —

величина перекриття сусідніх фрагментів (в звітах), `nfft` — використовується розмірність дискретного перетворення Фур'є, `fs` — частота дискретизації в герцах. Обов'язковим вхідним параметром є тільки вектор значень сигналу `x`, інші параметри мають значення за замовчуванням, які використовуються, якщо в якості параметра вказана порожня матриця `[]` або якщо кілька останніх параметрів при виклику пропущені.

Вихідний параметр `S` - матриця, стовпці якої є комплексними спектрами окремих фрагментів сигналу. Якщо вхідний вектор `x` є дійсним, спектр обчислюється тільки для додатних частот, і матриця `s`, яка повертається, містить $nfft/2+1$ (для парного `nfft`) або $(nfft + 1) / 2$ (для непарного `nfft`) рядків. У випадку комплексного аналізованого вектора `x` спектр не володіє симетрією, і матриця `S`, що повертається, містить `nfft` рядків.

Наступні два вихідних параметри, `F` і `T`, є векторами, що містять відповідно частотну і часову шкали спектрограми. Довжина вектора `F` дорівнює числу рядків матриці `S`, а довжина вектора `T` - числу її рядків.

Останній вихідний параметр - матриця `P` - містить спектри потужності фрагментів сигналу. Вона пов'язана з матрицею комплексних спектрів `s` наступним чином:

$$P = \text{abs}(S).^2 / \text{sum}(w.^2);$$

За відсутності вихідних параметрів функція `spectrogram` буде графічне зображення спектрограми в координатах "час-частота", відображаючи значення спектра потужності за допомогою кольору. У цьому випадку можна використовувати додатковий вхідний строковий параметр `'freqloc'`, що визначає напрямок частотної осі на графіку: `spectrogram(..., 'freqloc')`

2.7 Висновки

В цьому розділі було обране програмне середовище для реалізації поставленого завдання – проектування програмно-технічного засобу для обробки звукових сигналів. Досліджені принципи роботи, можливості та інструменти, які пропонує нам обране програмне середовище для досягнення поставлених цілей. В результаті було обране середовище MATLAB/Simulink та наданий список переваг

					КвРКІ. 180121.18.01.18 ПЗ	Арк.
Зм..	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		30

використання саме цього інструменту для реалізації проставленого завдання – реалізації програмно-технічного засобу для обробки звукових сигналів. Також був розглянутий спосіб виконання завдання за допомогою написання коду та результати, які ми отримуємо внаслідок такої роботи.

					КвРКІ. 180121.18.01.18 ПЗ	Арк.
Зм..	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		31

3 ПРОГРАМНО-АПАРАТНА РЕАЛІЗАЦІЯ ТА ТЕСТУВАННЯ ПРОГРАМНО-ТЕХНІЧНОГО ЗАСОБУ ДЛЯ ОБРОБКИ ЗВУКОВИХ СИГНАЛІВ

3.1 Реалізація програмно-технічного засобу обробки звукового сигналу в програмному середовищі Simulink

Будь-який звуковий сигнал може бути представлений у часовій області, як дискретна послідовність значень x_n , пропорційних звуковому тиску. Послідовність x_n може бути представлена як сума синусоїд та косинусоїд, амплітуди яких описуються спектром X_m .

Спектр X_m - це множина комплексних чисел. Дійсна частина спектру пропорційна амплітудам синусоїд, а уявна – амплітудам косинусоїд з яких складається сигнал x_n .

Дискретний спектр X_m розраховується шляхом дискретного перетворення Фур'є:

$$X_m = \sum_{n=1}^N x_n e^{-j \cdot 2\pi \cdot \frac{(n-1)(m-1)}{N}}. \quad (3.1)$$

Частотна фільтрація дозволяє змінити співвідношення між амплітудами синусоїд і косинусоїд різних частот у сигналі.

Частотна фільтрація описується операцією множення спектру вхідного сигналу X_m на передавальну функцію фільтра H_m .

$$Y_m = X_m * H_m, \quad (3.2)$$

де Y_m - результат фільтрації у частотній області (спектр вихідного сигналу фільтру).

Фільтр звукових сигналів спроектовано на основі методів дискретної математики та теорії цифрової обробки сигналів, за допомогою програмного засобу Filter Designer з пакету MATLAB, в автоматизованому режимі.

Нижче на рисунку 3.1 зображено схему нашого програмно-технічного засобу обробки звукового сигналу в програмному середовищі Simulink.

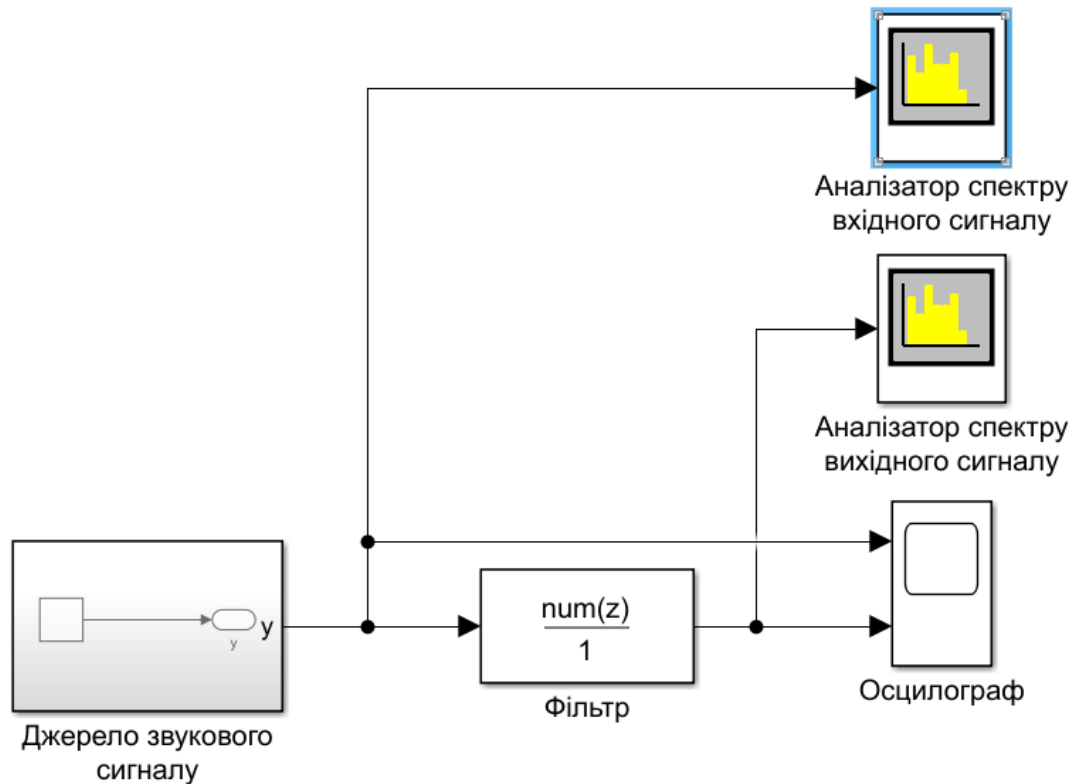


Рисунок 3.1 – Програмно-технічний засіб обробки звукового сигналу в програмному середовищі Simulink

Створена система має п'ять складових: джерело звукового сигналу, аналізатор спектру вхідного сигналу, фільтр, аналізатор спектру вихідного сигналу та осцилограф.

Джерелом звукового сигналу можуть бути сигнали як з аудіофайлів, так і з периферійних пристроїв комп'ютера, наприклад, мікрофону.

Аналізатор спектру вхідного сигналу оброблює вхідний сигнал та відображає модуль спектру отриманого сигналу в частотній та часово-частотній областях.

Фільтр. В даному випадку маємо приклад смугового фільтра, який пропускає сигнали в межах між мінімальною та максимальною допустимими частотами. Налаштування цього фільтра можемо побачити на рисунку 3.2.

Аналізатор спектру вихідного сигналу працює так як і аналізатор вхідного сигналу. Спочатку оброблює отриманий сигнал, а потім відображає модуль його спектру в частотній та часово-частотній областях.

Осцилограф аналізує і вхідний і вихідний сигнали та відображає їх у часовій області.

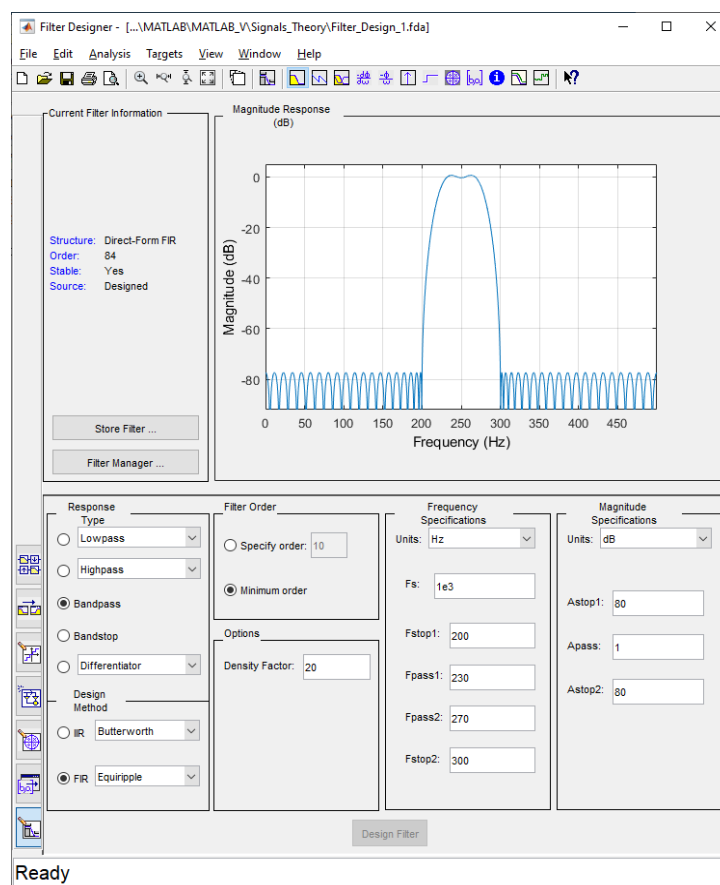


Рисунок 3.2 – Налаштування параметрів фільтра в Filter Designer

В цьому фільтрі були зроблені наступні налаштування:

- 1) тип фільтра: смуговий;
- 2) мінімально допустима частота: 230 Гц;
- 3) максимально допустима частота: 270 Гц;
- 4) частота дискретизації: 1кГц.

Також, розглядаючи рисунок 3.2, можемо побачити графік Magnitude Response, на якому зображено модуль спектру передавальної функції фільтра $|H_m|$

Нижче на рисунку 3.3 зображено імпульсну характеристику та процес експорту фільтра з Filter Designer в Simulink

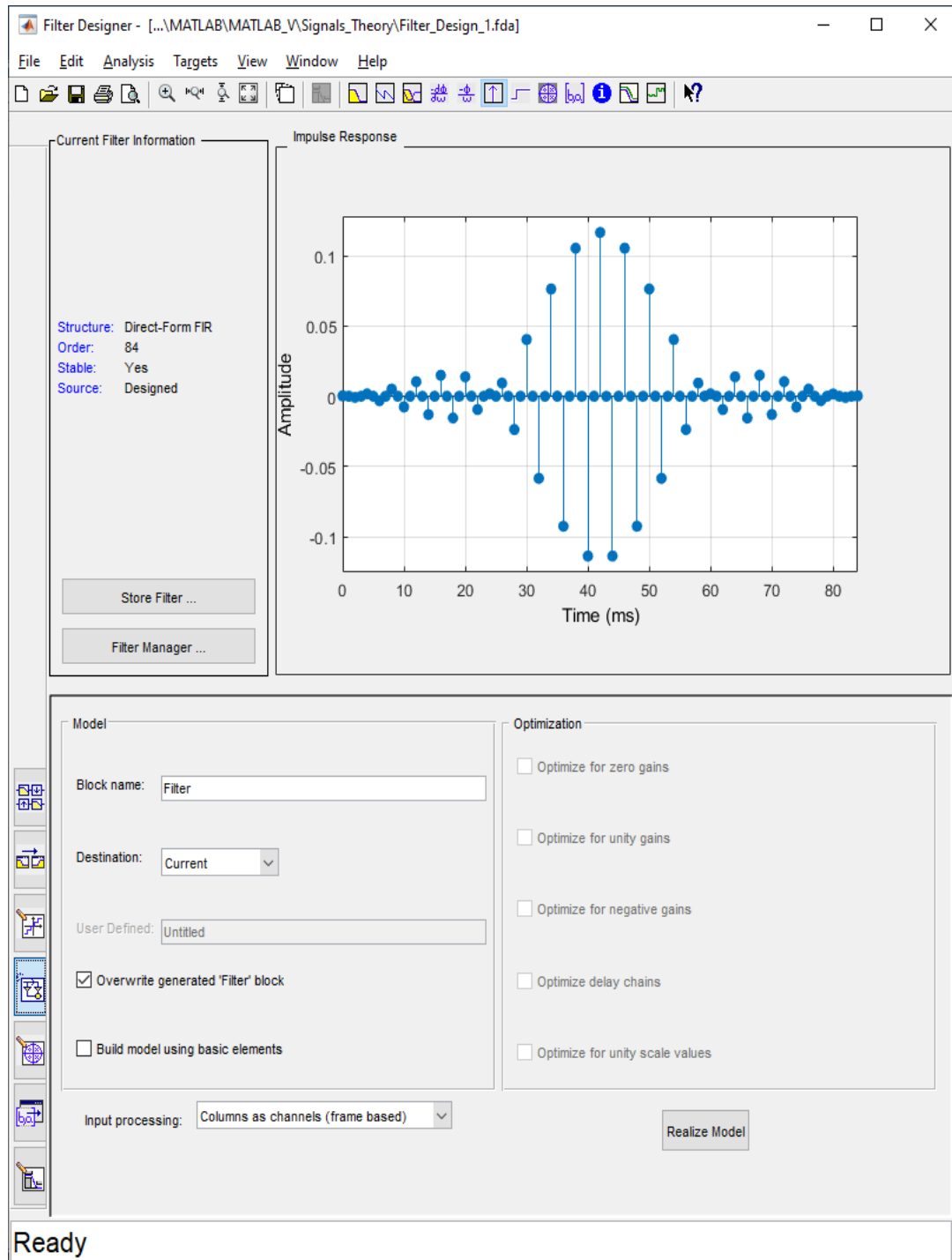


Рисунок 3.3 – Імпульсна характеристика та експорт фільтра з Filter Designer в Simulink

На рисунку 3.4 ми можемо спостерігати приклад відображення сигналів на осцилографі: вхідного та вихідного, який вже пройшов через смуговий фільтр, у часовій області

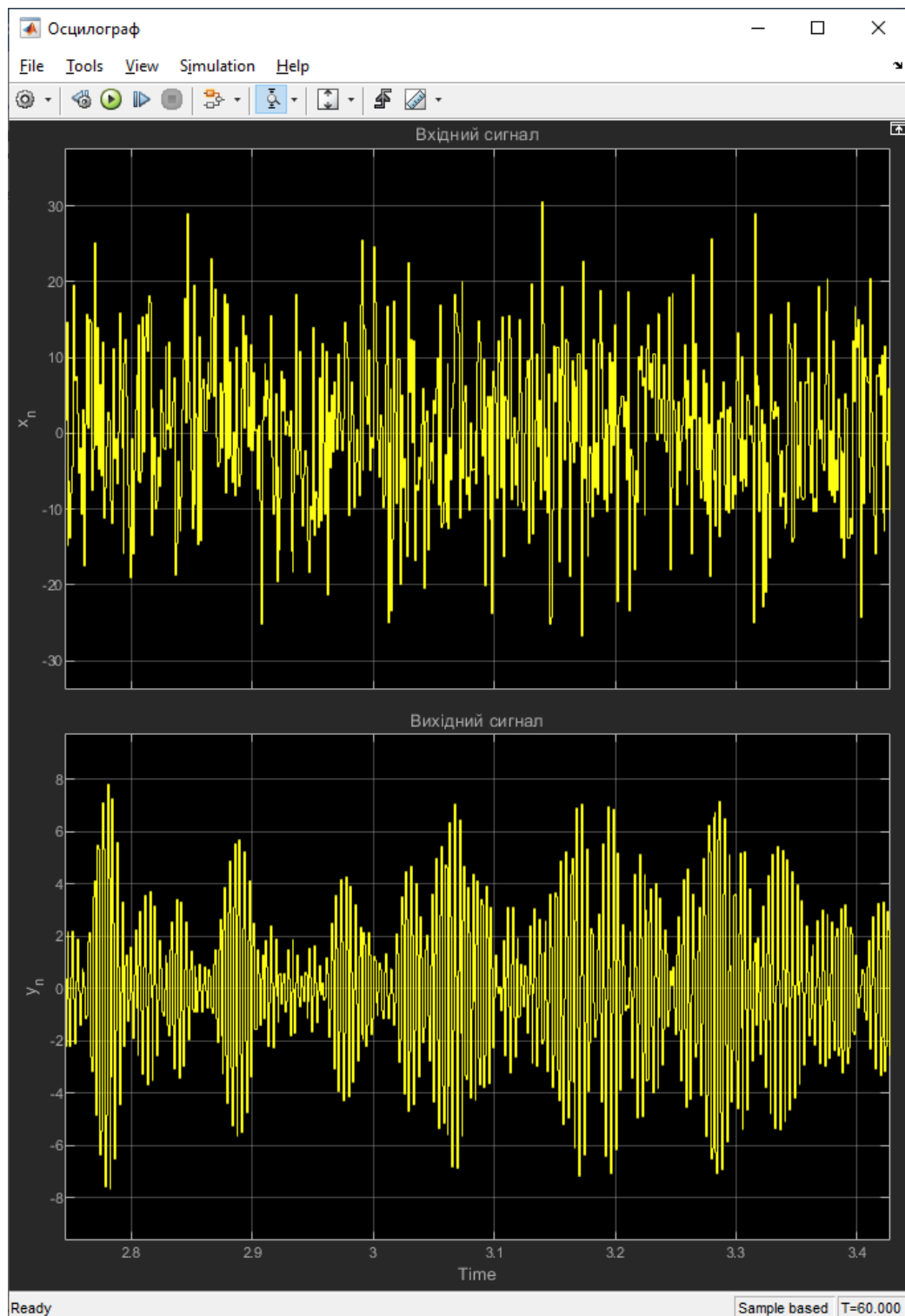


Рисунок 3.4 – Вхідний сигнал x_n (перший графік) та вихідний сигнал y_n (другий графік) у часовій області

Зм..	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

На рисунку 3.5 ми можемо бачити приклад відображення модуля спектру вхідного сигналу в частотній та часово-частотній областях на аналізаторі спектру вхідного сигналу.

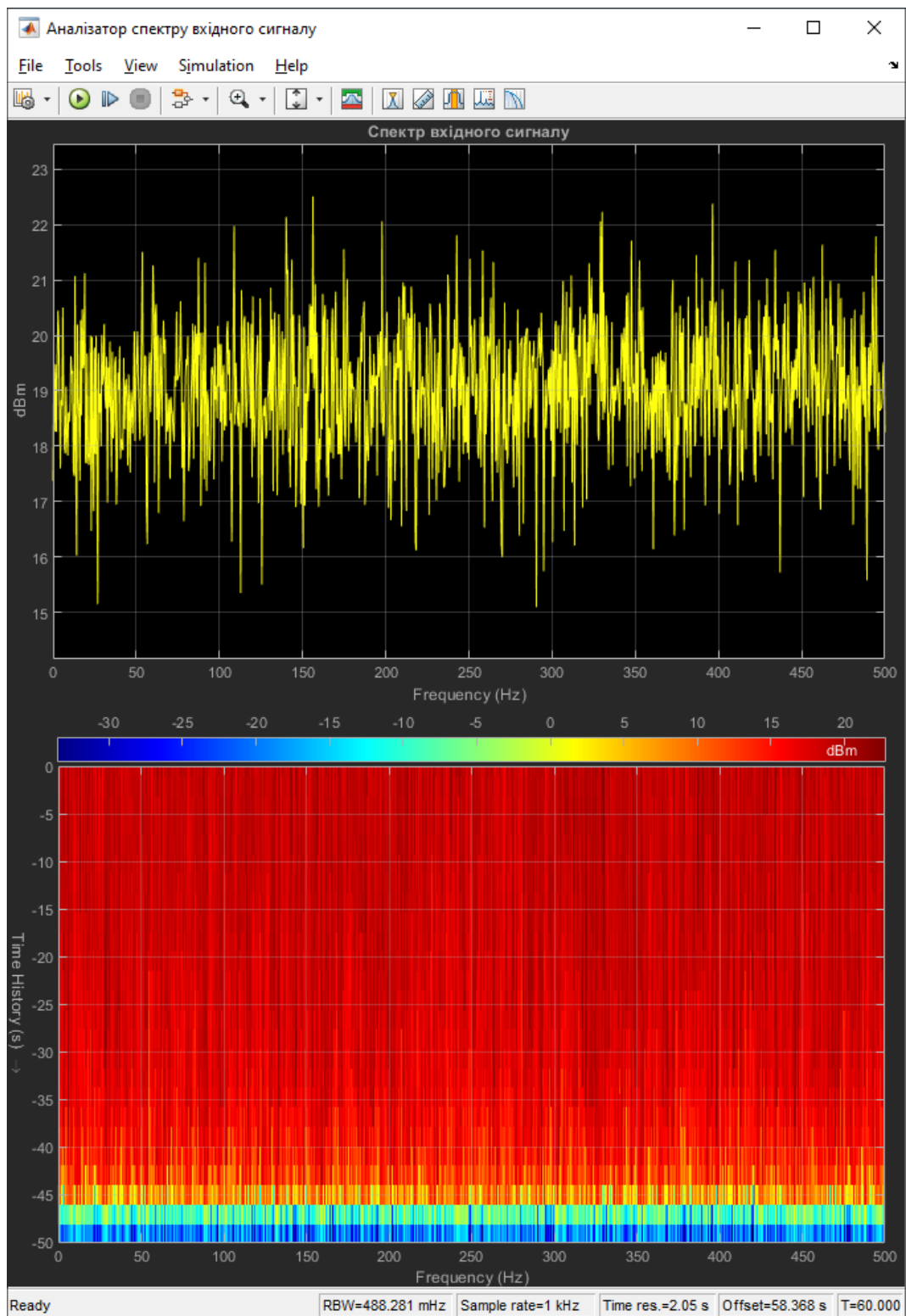


Рисунок 3.5 – Модуль спектру $|X_m|$ вхідного сигналу в частотній області (перший графік) та в часово-частотній області (другий графік)

Зм..	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

На рисунку 3.6 ми можемо спостерігати приклад відображення модуля спектру вихідного сигналу в частотній та часово-частотній областях на аналізаторі спектру вихідного сигналу.

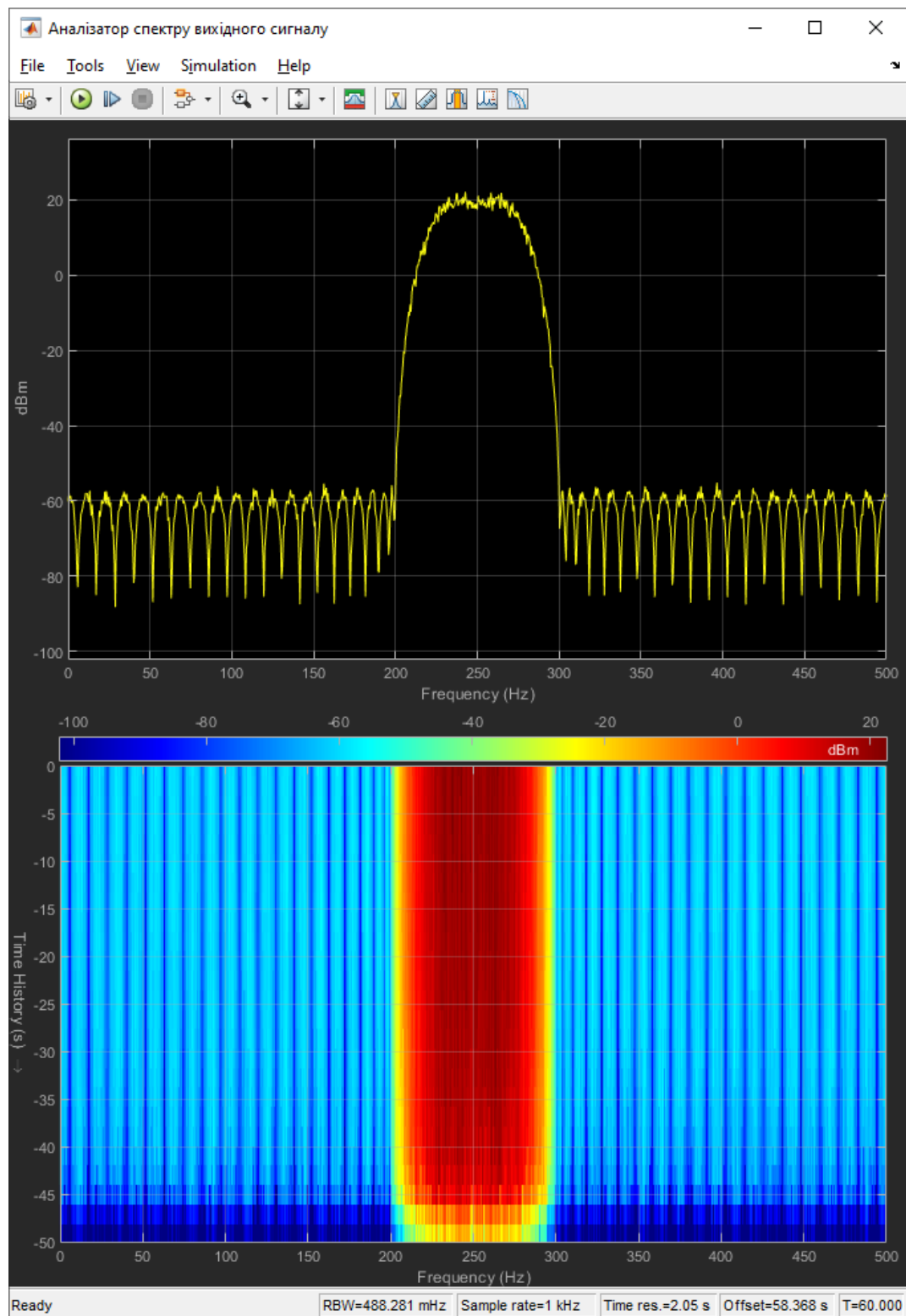


Рисунок 3.6 – Модуль спектру $|Y_m|$ вихідного сигналу в частотній області (перший графік) та в часово-частотній області (другий графік)

Зм..	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

3.2 Фільтри, розроблені в ході виконання роботи

3.2.1 High Pass Filter (HPF)

Фільтр високих частот. Він пропускає високочастотні сигнали і послаблює ті сигнали, у яких частота нижча, ніж частота зрізу.

Такі фільтри знаходять собі застосування в блокуванні постійного струму, який йде від електричної схеми, що чутлива до ненульової середньої напруги або ж радіочастотного пристрою.

Вони також використовуються в поєднанні з фільтром нижніх частот для створення смугового фільтру.

В області аудіосигналів такі фільтри використовуються як частина аудіо кросовера, направляють високі частоти до твітера, в той же час ослаблюють низькочастотні сигнали, які можуть заважати або пошкодити динамік.

Також існує таке поняття як фільтр гуркиту це фільтр верхніх частот, який застосовується для видалення небажаних звуків поруч з нижнім кінцем чутого діапазону або нижче. Наприклад, шум (кроки чи моторні шуми програвачів та магнітофонів) може бути видалений, оскільки він є небажаними або може призвести до перевантаження RIAA компенсації ланцюга попереднього підсилювача.

На рисунку 3.7 зображені налаштування, які потрібно зробити, щоб отримати високочастотний фільтр.

Отже, в цьому фільтрі були виконані наступні налаштування:

- 1) тип фільтра: високочастотний;
- 2) фільтр пропускає сигнали вище допустимої частоти, а саме: 4000 Гц;
- 3) частота дискретизації: 44100 Гц.

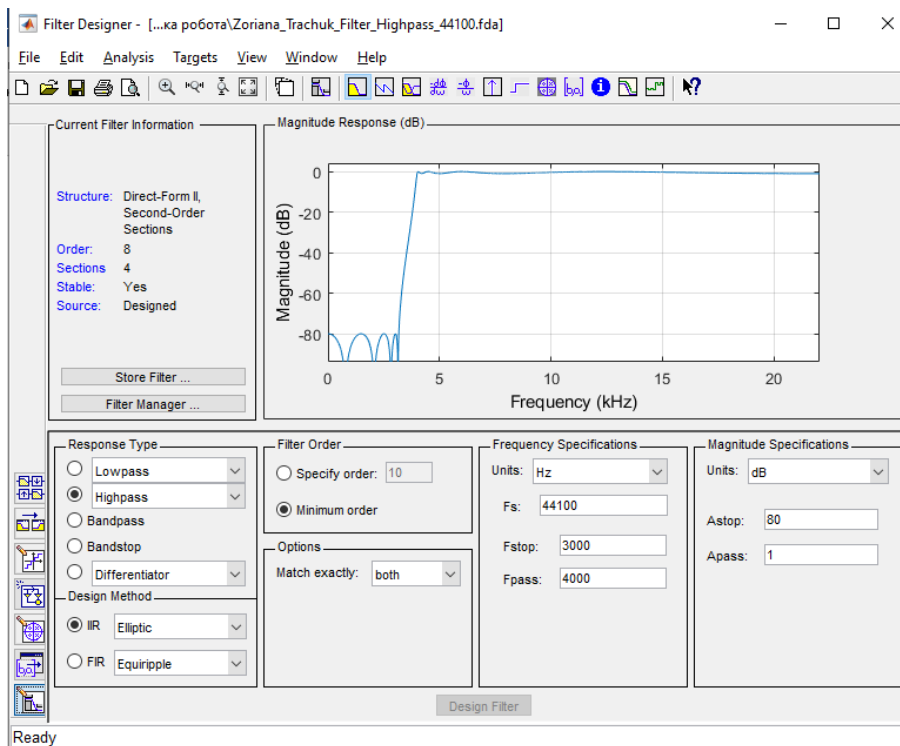


Рисунок 3.7 - Налаштування параметрів High Pass фільтра в Filter Designer

На рисунку 3.8 зображені імпульсна характеристика та процес експорту фільтра High Pass з Filter Designer в Simulink

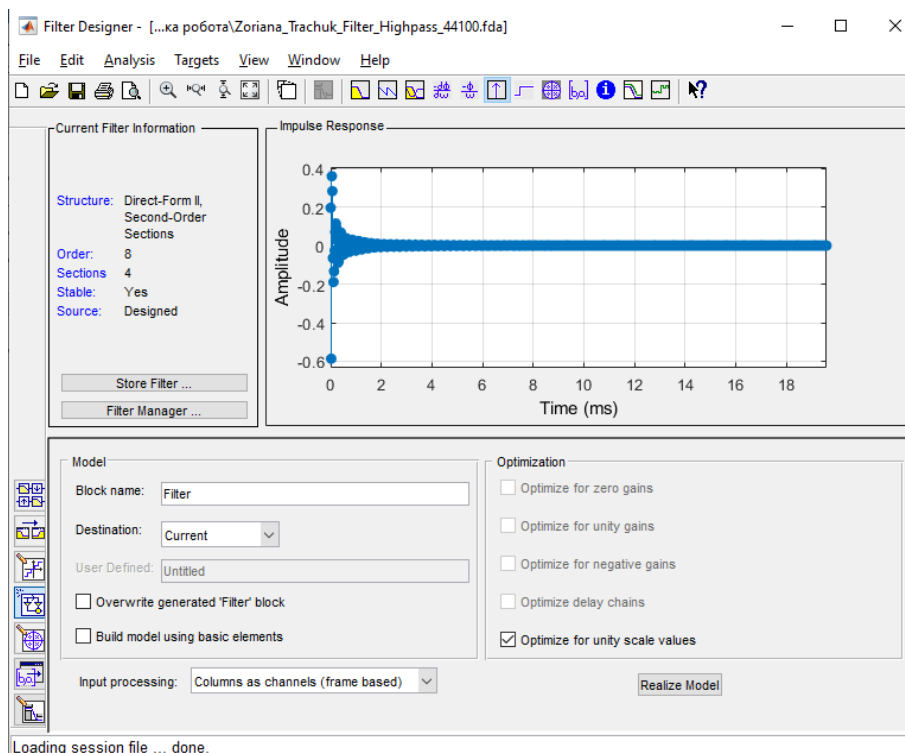


Рисунок 3.8 - Імпульсна характеристика та експорт фільтра High Pass з Filter Designer в Simulink

3.2.2 Low Pass Filter (LPF)

Фільтр низьких частот. Він пропускає низькі частоти, а частоти, що розташовані вище частоти зрізу, послаблює. Він усуває короточасні коливання та забезпечує більш плавну форму сигналу. Такі фільтри використовуються для блокування гармонічних викидів, які можуть спричинити перешкоди. Також знаходять своє застосування в ролі вхідних даних в аудіопрограми і гучномовці з метою запобігання високих показників, що не видаються ефективно.

Активні фільтри низьких частот застосовуються в аудіопідсилювачах, еквайзерах або акустичних системах, щоб направити сигнали низьких частот на більші басові динаміки або зменшити будь-який високочастотний шум або спотворення типу «шипіння». При такому використанні в аудіододатках активний фільтр низьких частот іноді називають фільтром «Посилення низьких частот».

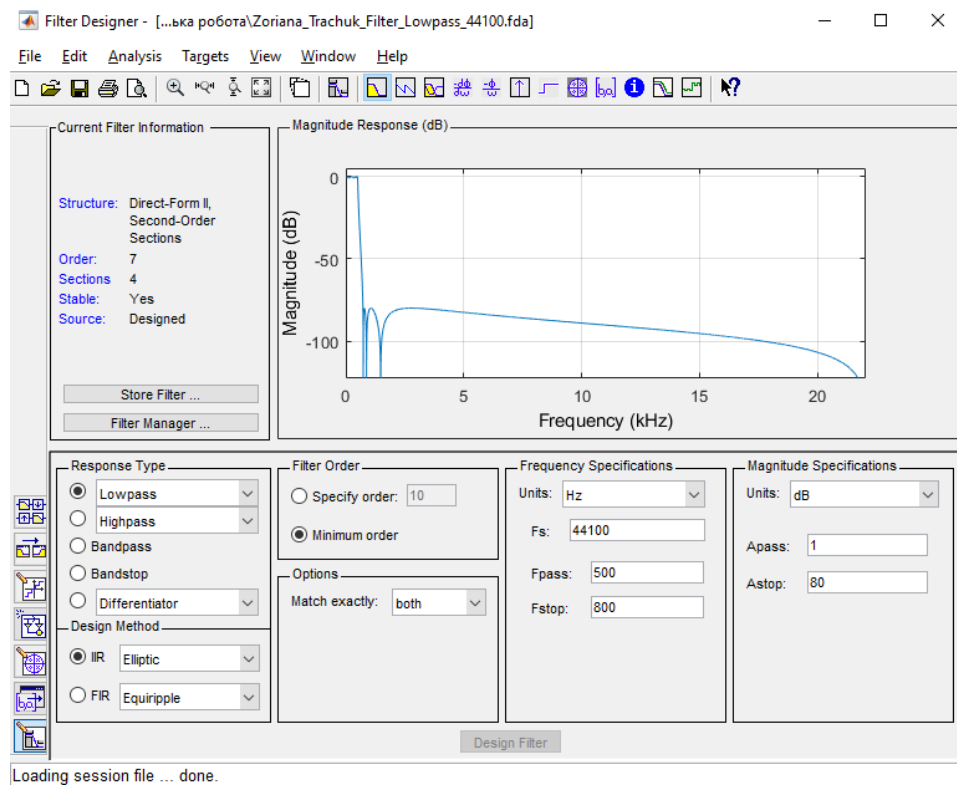
Ще декілька сфер використання фільтрів низьких частот:

- 1) видалення шуму високочастотних сигналів;
- 2) аудіододатки;
- 3) біомедичних додатки;
- 4) електронні додатки, такі як гучномовці, сабвуфери тощо;
- 5) цифрово-аналогові перетворювачі;
- 6) антианалізуючі фільтри;
- 7) аналізатори хвиль, підсилювачі звуку та еквайзери.

На рисунку 3.9 зображені налаштування, які потрібно зробити, щоб отримати низькочастотний фільтр.

Отже, в цьому фільтрі були виконані наступні налаштування:

- 1) тип фільтра: низькочастотний;
- 2) фільтр пропускає сигнали нижче допустимої частоти, а саме: 500 Гц;
- 3) частота дискретизації: 44100 Гц.



Loading session file ... done.

Рисунок 3.9 - Налаштування параметрів Low Pass фільтра в Filter Designer

На рисунку 3.10 зображені імпульсна характеристика та процес експорту фільтра Low Pass з Filter Designer в Simulink

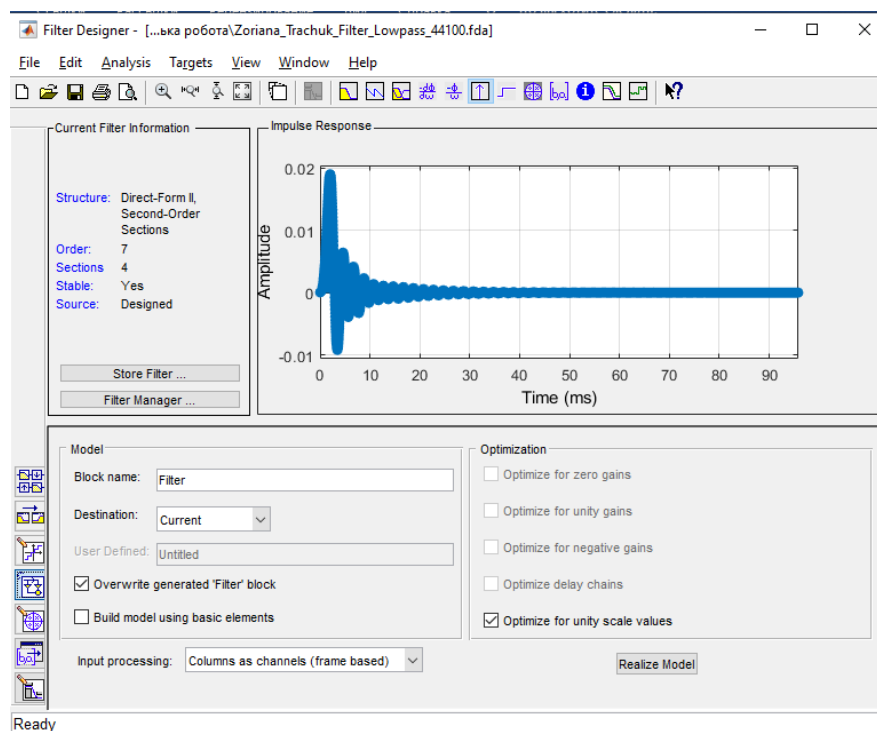


Рисунок 3.10 - Імпульсна характеристика та експорт фільтра Low Pass з Filter Designer в Simulink

Зм..	Арк.	№докум.	Підпис	Дата
------	------	---------	--------	------

КвРКІ. 180121.18.01.18 ПЗ

Арк.

42

3.2.3 Bandpass

Смуговий фільтр. Він пропускає сигнали, які лежать в якомусь діапазоні частот і вирізає ті, які знаходяться за межами цього діапазону. Такі фільтри використовуються в RF-програмах; в передавачах для того, щоб обмежити пропускну здатність вихідного сигналу, коли сигнали можуть передаватись тільки в смузі, яка виділена для передачі. Дані фільтри знаходять застосування і в таких галузях як атмосферні науки, нейронаука, а також в астрономії.

Смугові фільтри широко використовуються в бездротових передавачах і приймачах. Основною функцією такого фільтра в передавачі є обмеження смуги пропускання вихідного сигналу діапазоном, виділеним для передачі. Це запобігає створенню перешкод для передавача від інших станцій. У приймачі смуговий фільтр дозволяє прослуховувати або декодувати сигнали в межах вибраного діапазону частот, одночасно запобігаючи проникненню сигналів на небажаних частотах. Сигнали на частотах за межами діапазону, на який налаштований приймач, можуть або наситити, або пошкодити приймач. Крім того, вони можуть створювати небажані продукти змішування, які потрапляють в смугу і заважають сигналу, що цікавить. Широкопasmові приймачі особливо вразливі до таких перешкод. Смуговий фільтр також оптимізує співвідношення сигнал/шум та чутливість приймача.

На рисунку 3.11 зображені налаштування, які потрібно зробити, щоб отримати смуговий фільтр.

Отже, в цьому фільтрі були виконані наступні налаштування:

- 1) тип фільтра: смуговий;
- 2) мінімальна допустима частота: (500 Гц);
- 3) максимальна допустима частота (1500 Гц);
- 4) частота дискретизації: 44100 Гц.

					КвРКІ. 180121.18.01.18 ПЗ	Арк.
Зм..	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		43

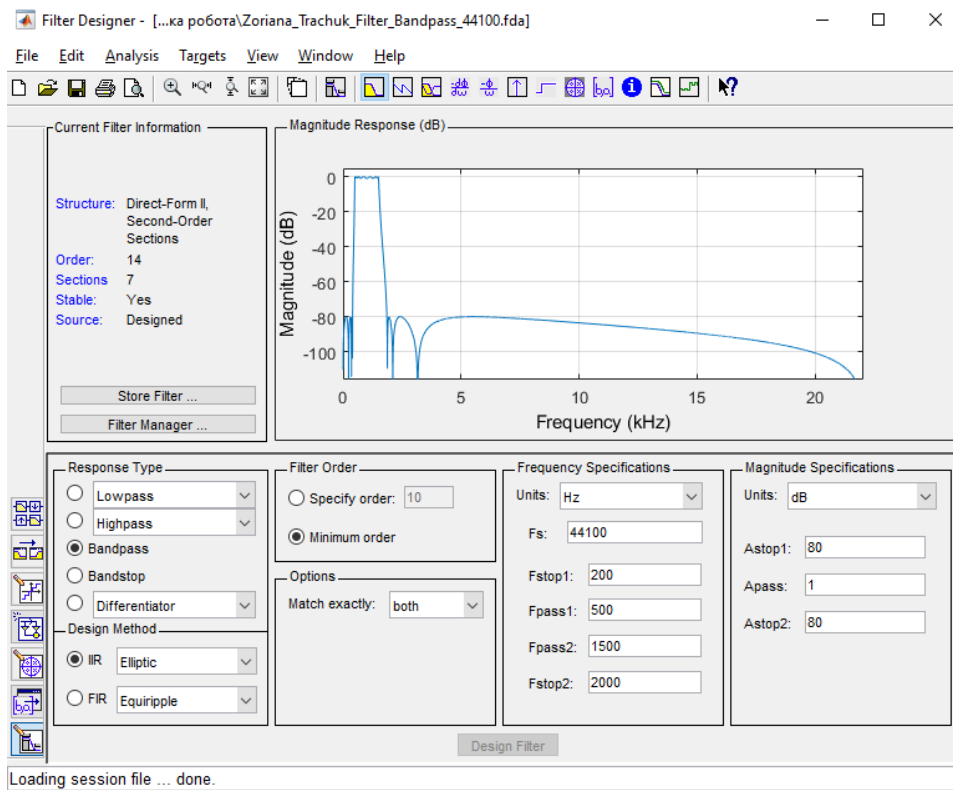


Рисунок 3.11 - Налаштування параметрів Bandpass фільтра в Filter Designer

На рисунку 3.12 зображені імпульсна характеристика та процес експорту фільтра Bandpass з Filter Designer в Simulink

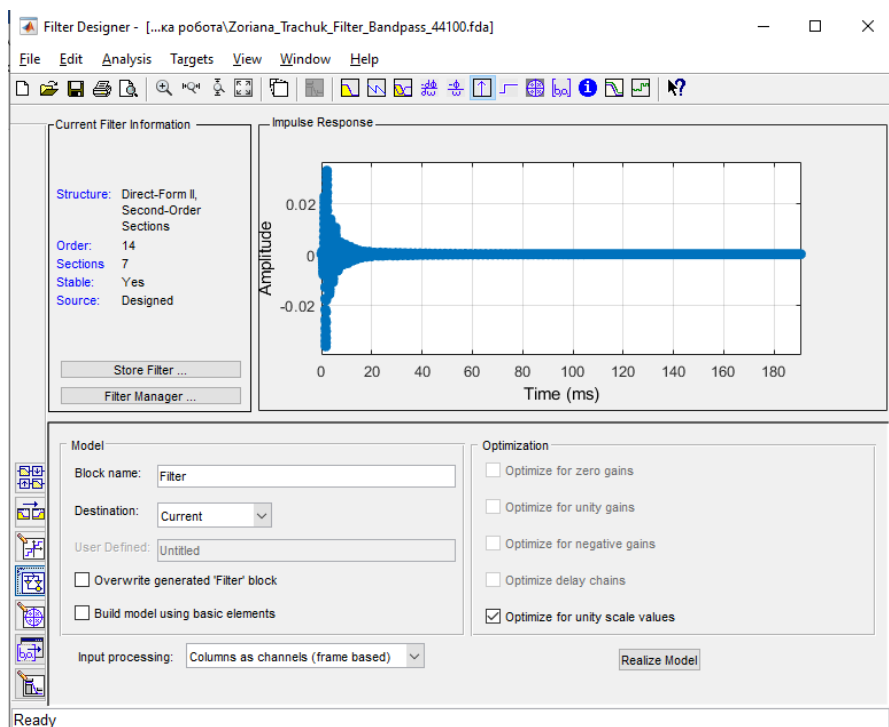


Рисунок 3.12 - Імпульсна характеристика та експорт фільтра Bandpass з Filter Designer в Simulink

Зм..	Арк.	№докум.	Підпис	Дата
------	------	---------	--------	------

3.3 Аналіз оригінального звуку з аудіофайлу

У цьому підрозділі будуть представлені зображення схем роботи пристрою, вхідних сигналів у часовій області, модулів спектрів вхідних сигналів в частотній області та в часово-частотній області для п'яти різних аудіофайлів.

1) Game of Thrones V&V Project.wav

На рисунку 3.13 ми можемо побачити схему роботи пристрою для нашого першого аудіофайлу Game of Thrones V&V Project.wav. Спочатку звук імпортується з файлу, після цього потрапляє до аналізатора спектру вхідного сигналу, а тоді вже відображається на осцилографі та відтворюється на звуковому пристрої.

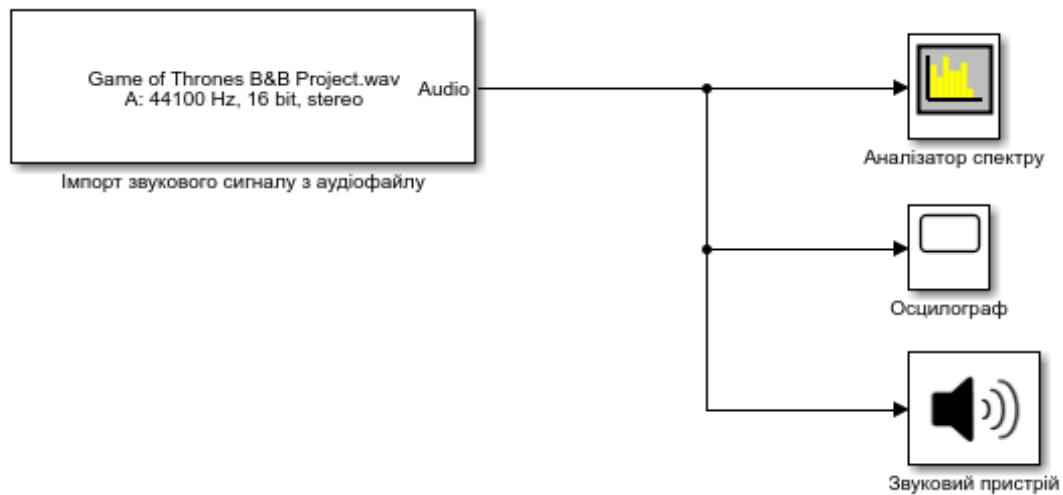


Рисунок 3.13 – Схема роботи пристрою для аудіофайлу Game of Thrones V&V Project.wav

На рисунку 3.14 маємо змогу побачити, як вхідний сигнал з нашого першого аудіофайлу Game of Thrones V&V Project.wav відображається на осцилографі, тобто – у часовій області.

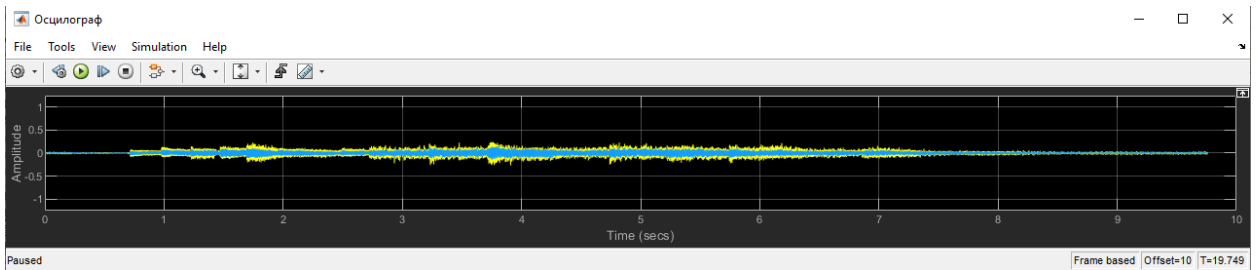


Рисунок 3.14 – Вхідний сигнал у часовій області для аудіофайлу Game of Thrones B&B Project.wav

На рисунку 3.15 бачимо вміст вікна аналізатора спектру вхідного сигналу, який показує модуль його спектру в частотній (верхній графік) та часово-частотній (нижній графік) областях для нашого першого аудіофайлу Game of Thrones B&B Project.wav.

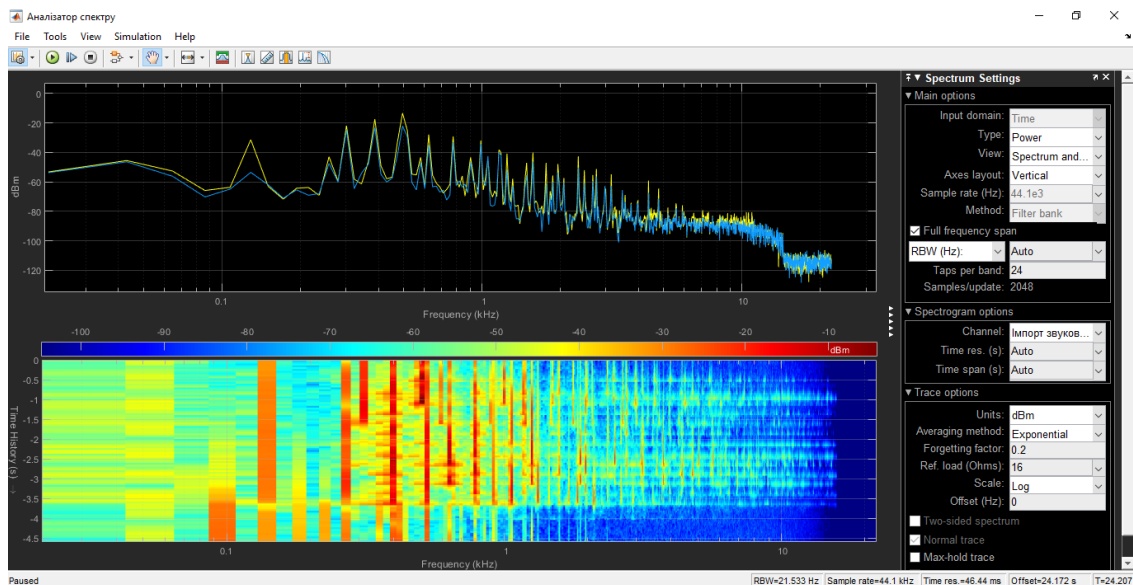


Рисунок 3.15 - Модуль спектру вхідного сигналу в частотній області (перший графік) та в часово-частотній області (другий графік) для аудіофайлу Game of Thrones B&B Project.wav

2) ONUKA – Other.wav

На рисунку 3.13 ми можемо побачити схему роботи пристрою для нашого другого аудіофайлу ONUKA – Other.wav. Поки що ми ще не використовуємо фільтри та аналізатор вихідного сигналу, оскільки спочатку хочемо проаналізувати тільки вхідний сигнал.

Зм..	Арк.	№докум.	Підпис	Дата
------	------	---------	--------	------

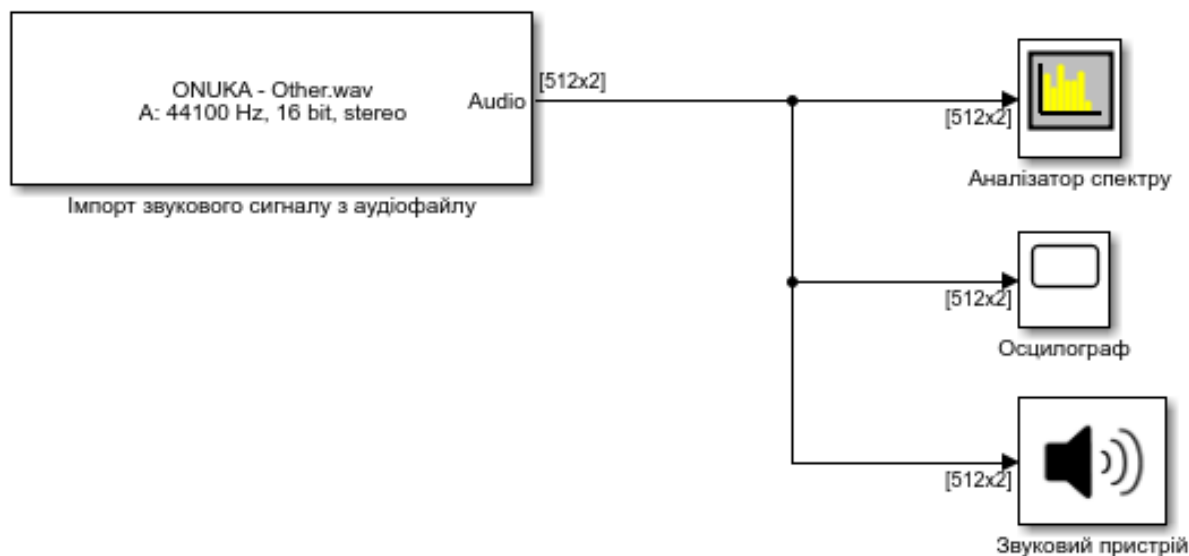


Рисунок 3.16 – Схема роботи пристрою для аудіофайлу ONUKA – Other.wav

Далі можемо звернути увагу на те, як графічно представлені звукові сигнали нашого другого аудіофайлу ONUKA – Other.wav у часовій області на осцилографі. Зображення сигналів цього аудіофайлу помітно відрізняється від попереднього. Можемо це зрозуміти, поглянувши на рисунок 3.17.

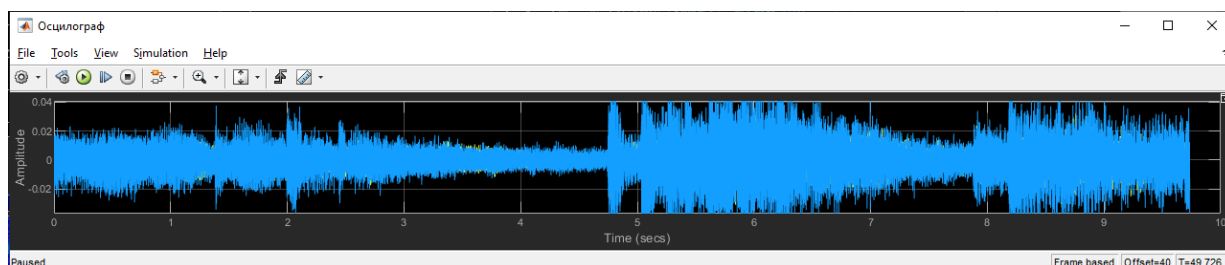


Рисунок 3.17 - Вхідний сигнал у часовій області для аудіофайлу ONUKA – Other.wav

На наступному рисунку, рисунку 3.18 бачимо результат роботи аналізатора вхідного сигналу для нашого другого аудіофайлу ONUKA – Other.wav, а саме: модуль спектру даних сигналів в частотній (верхній графік) та часово-частотній (нижній графік) областях.

Зм..	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

відображений у часовій області. І знову неозброєним оком можемо побачити, що відображення цього сигналу досить сильно відрізняється від двох попередніх.

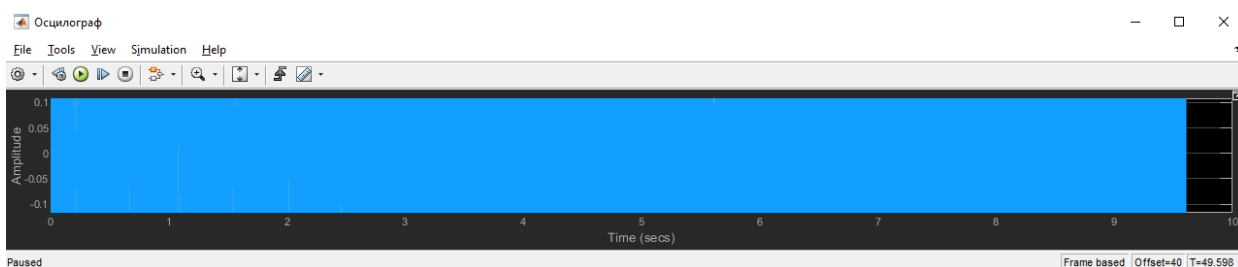


Рисунок 3.20 - Вхідний сигнал у часовій області для аудіофайлу Shogun – Skyfire.mp3

Наступний рисунок показує нам те, що відображається на аналізаторі спектру вхідного сигналу після подання на нього сигналів з нашого третього аудіофайлу Shogun – Skyfire.mp3. Рисунок 3.21 містить в собі модуль спектру вхідного сигналу в частотній (верхній графік) та в часово-частотній областях.

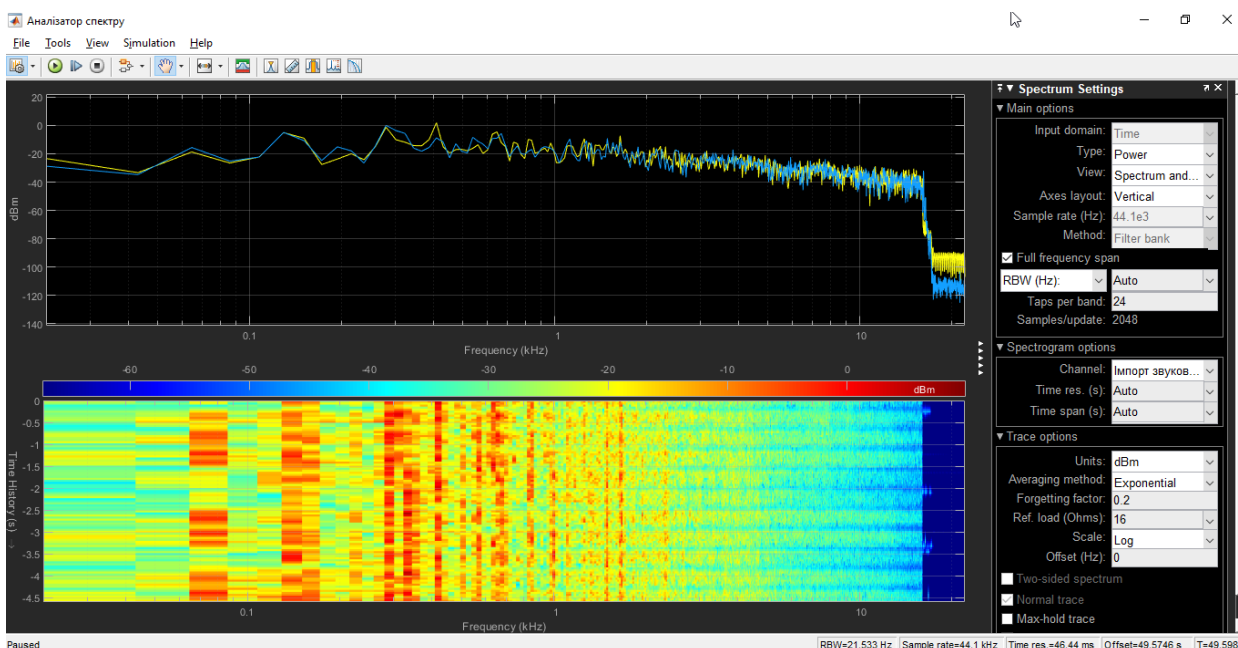


Рисунок 3.21 - Модуль спектру вхідного сигналу в частотній області (перший графік) та в часово-частотній області (другий графік) для аудіофайлу Shogun – Skyfire.mp3

Зм..	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

4) Vera Lingua – Sunrise.mp3

На рисунку 3.22 ми можемо побачити схему роботи пристрою для нашого передостаннього, четвертого аудіофайлу Vera Lingua – Sunrise.mp3. Принцип роботи ситеми залишається таким самим, як і в попередніх прикладах.

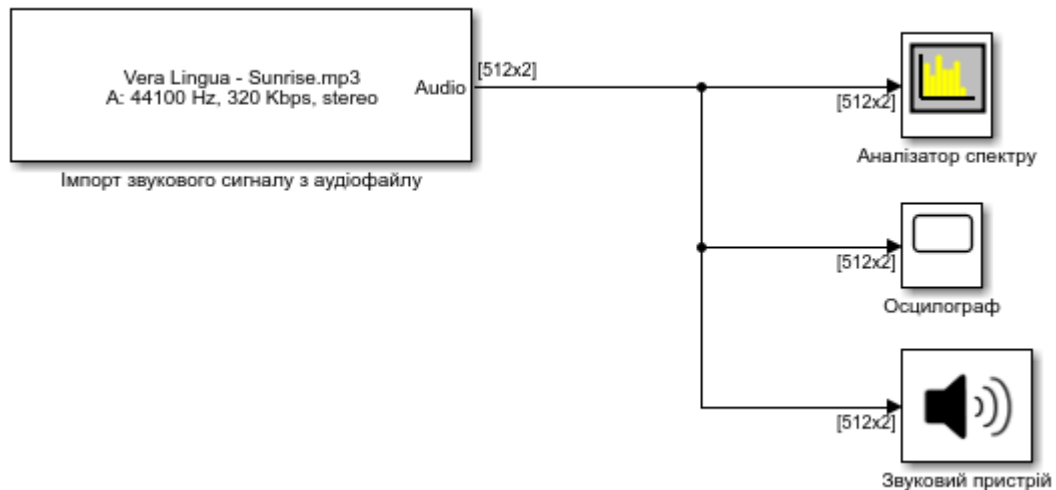


Рисунок 3.22 - Схема роботи пристрою для аудіофайлу Vera Lingua – Sunrise.mp3

На рисунку 3.23 зображений вхідний сигнал у часовій області для нашого четвертого аудіофайлу Vera Lingua – Sunrise.mp3 так як він відобразився на осцилографі.

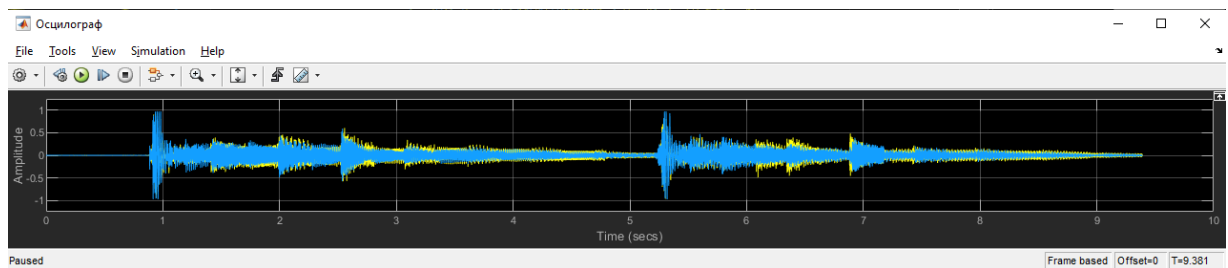


Рисунок 3.23 - Вхідний сигнал у часовій області для аудіофайлу Vera Lingua – Sunrise.mp3

Рисунок 3.24 показує нам, як відображається модуль спектру вхідного сигналу в частотній (верхній графік) та часово-частотній (нижній графік) областях

для нашого четвертого файлу Vera Lingua – Sunrise.mp3 на аналізаторі вхідних сигналів.

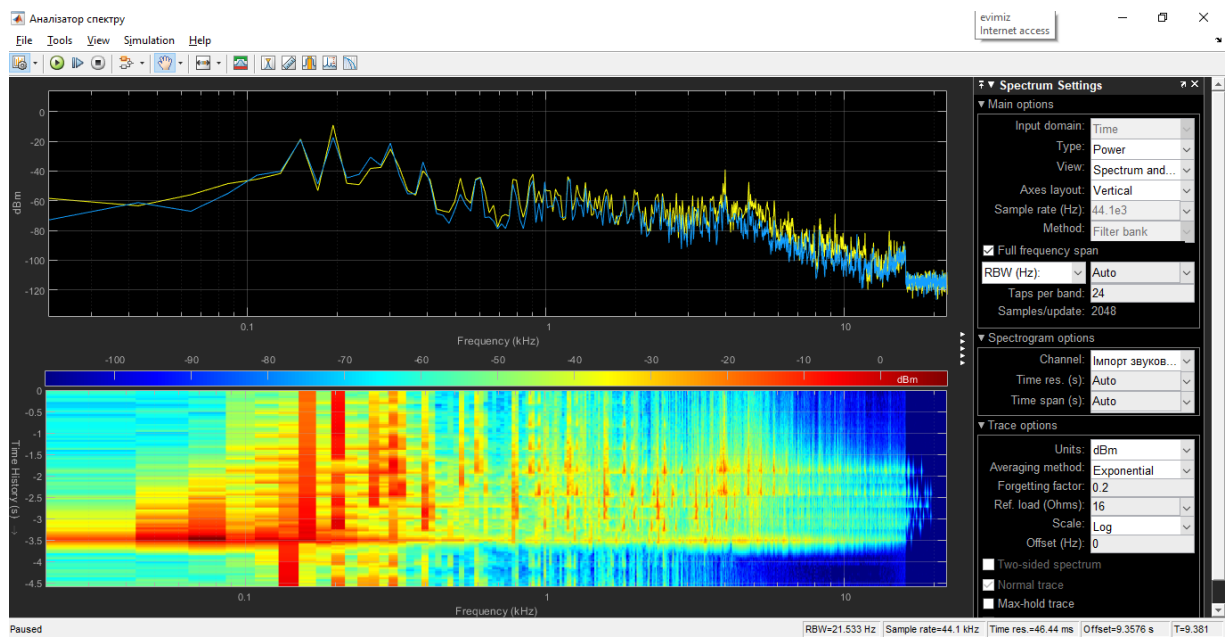


Рисунок 3.24 - Модуль спектру вхідного сигналу в частотній області (перший графік) та в часово-частотній області (другий графік) для аудіофайлу Vera Lingua – Sunrise.mp3

д) Daniele Dinaro – Musa.mp3

На рисунку 3.25 ми можемо побачити схему роботи пристрою для нашого останнього, п'ятого аудіофайлу Daniele Dinaro – Musa.mp3.

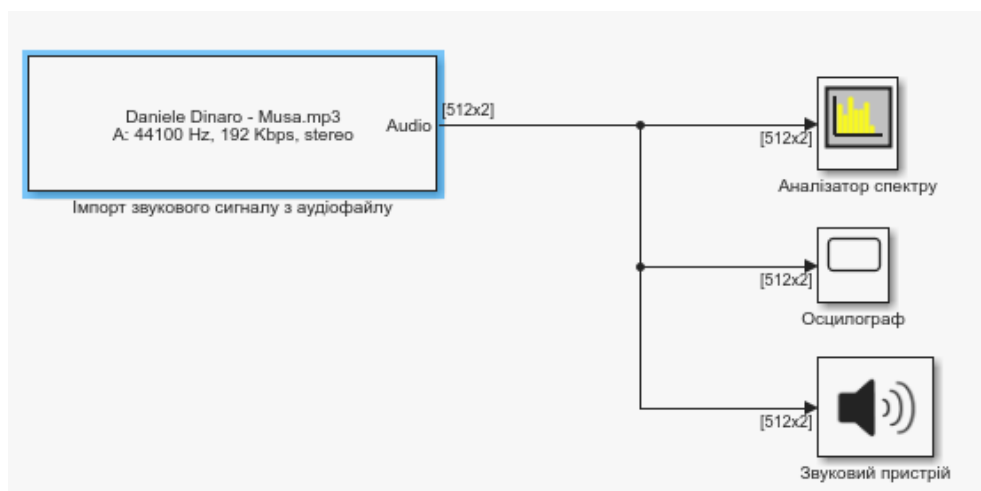


Рисунок 3.25 - Схема роботи пристрою для аудіофайлу Daniele Dinaro – Musa.mp3

Зм..	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

Далі звернімо увагу на рисунок 3.26, на те, як графічно представлені звукові сигнали нашого п'ятого аудіофайлу Daniele Dinaro – Musa.mp3 у часовій області на осцилографі.

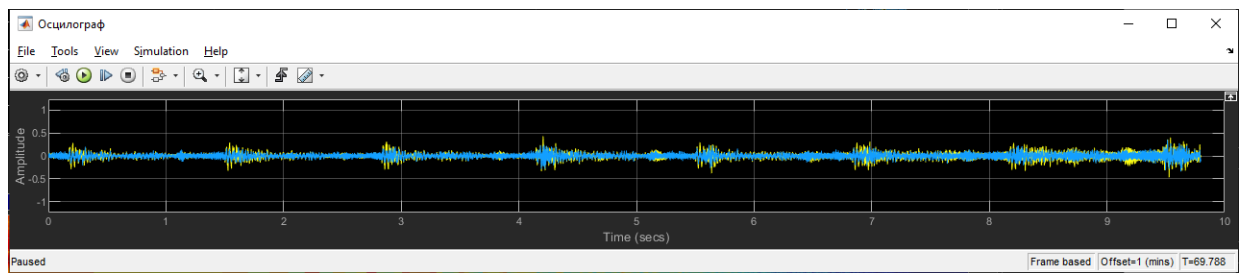


Рисунок 3.26 - Вхідний сигнал у часовій області для аудіофайлу Daniele Dinaro – Musa.mp3

І останній рисунок в цьому підрозділі, рисунок 3.27 демонструє нам зображення модулю спектру вхідного сигналу в частотній (верхній графік) та в часово-частотній областях для нашого п'ятого аудіофайлу Daniele Dinaro – Musa.mp3.

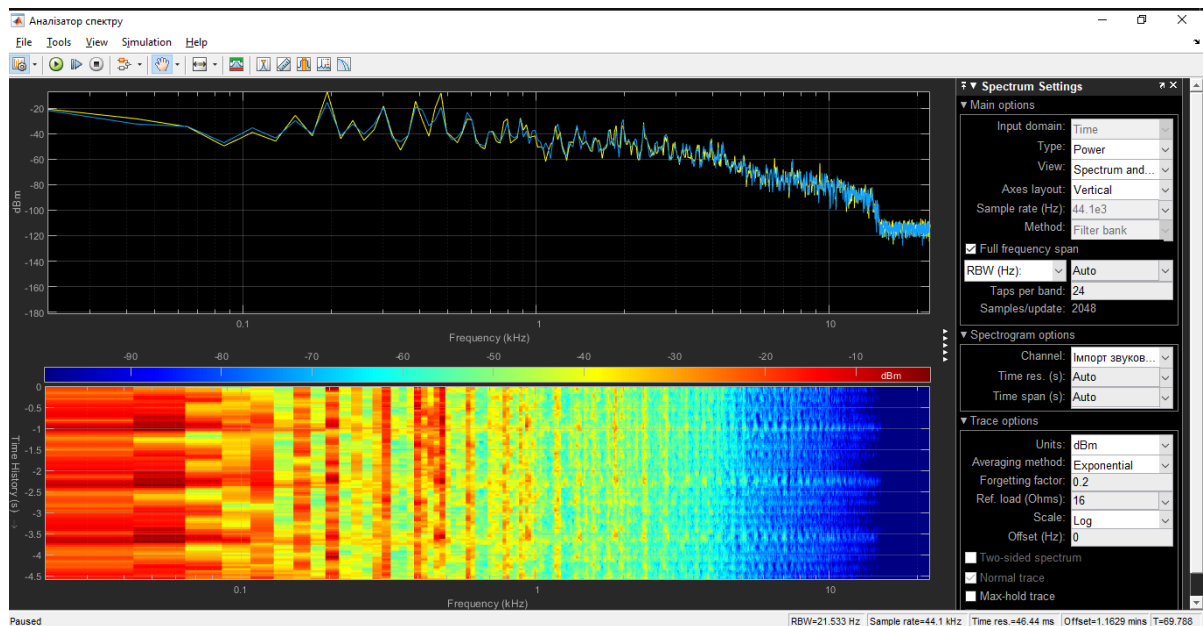


Рисунок 3.27 - Модуль спектру вхідного сигналу в частотній області (перший графік) та в часово-частотній області (другий графік) для аудіофайлу Daniele Dinaro – Musa.mp3

3.4 Фільтрація звукового сигналу

Всі описи в даному підрозділі відбуваються після фільтрації за допомогою смугового фільтру, а також фільтрів низьких та високих частот. Результати описані лише для двох аудіофайлів з п'яти вище представлених.

3.4.1 Game of Thrones B&B Project.wav

1) смуговий фільтр

Схема роботи пристрою фільтрації звукового сигналу за допомогою смугового фільтру для аудіофайлу Game of Thrones B&B Project.wav зображена на рисунку 3.28.

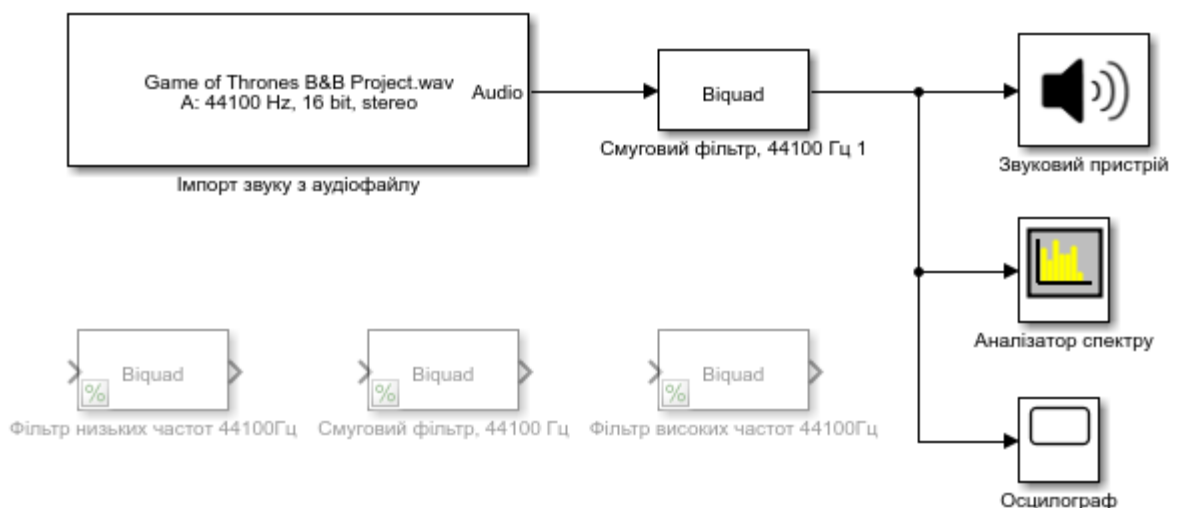


Рисунок 3.28 - Схема роботи пристрою фільтрації звукового сигналу за допомогою смугового фільтру для аудіофайлу Game of Thrones B&B Project.wav

Результат обробки звукового сигналу з аудіофайлу Game of Thrones B&B Project.wav за допомогою смугового фільтру зображений на рисунку 3.29. Вихідний сигнал відображений на осцилографі у часовій області.

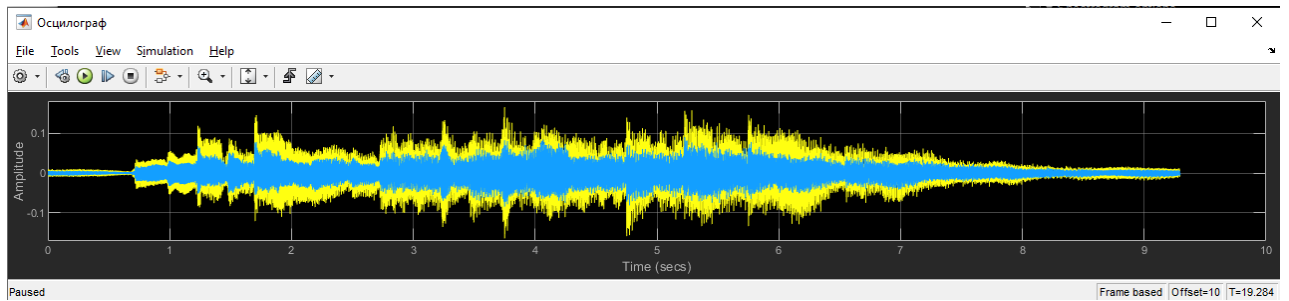


Рисунок 3.29 - Вихідний сигнал після фільтрації за допомогою смугового фільтру, зображений у часовій області, для аудіофайлу Game of Thrones V&V Project.wav

Можемо поглянути на рисунок 3.30, щоб побачити, що відображає аналізатор спектру вихідного сигналу після того, як аудіофайл Game of Thrones V&V Project.wav був оброблений за допомогою смугового фільтру. Модуль спектру сигналу зображено в частотній та часово-частотній областях.

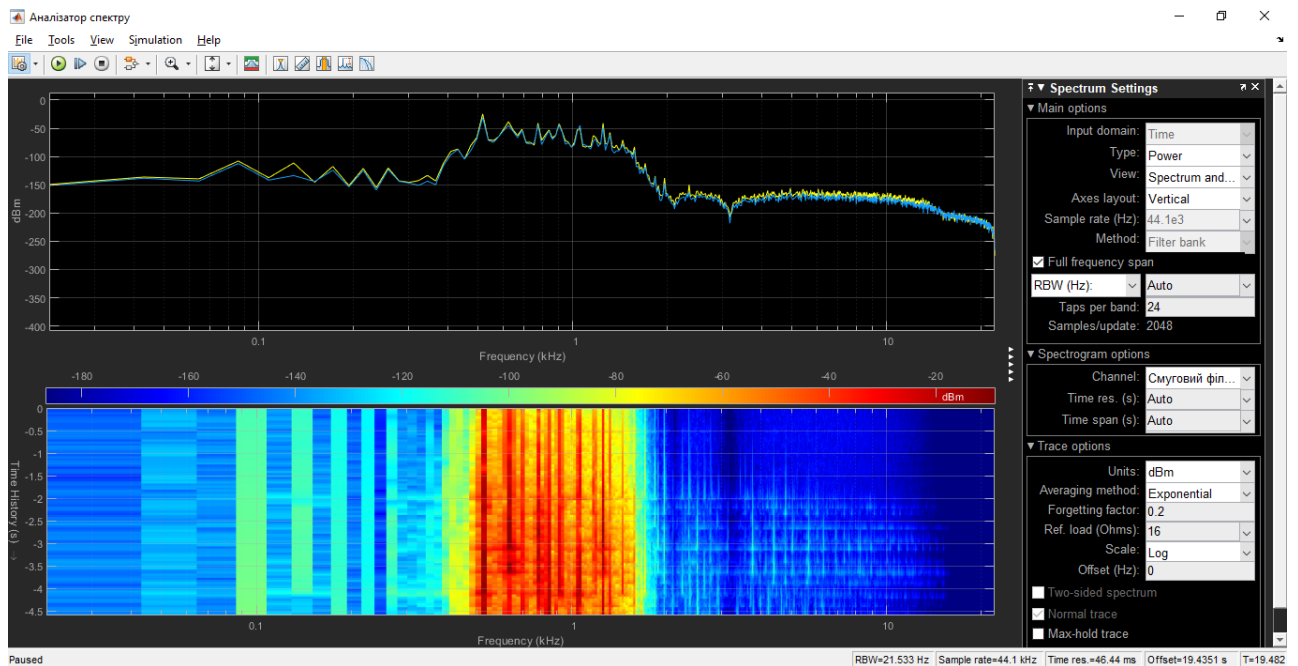


Рисунок 3.30 - Модуль спектру вихідного сигналу в частотній області (перший графік) та в часово-частотній області (другий графік) для аудіофайлу Game of Thrones V&V Project.wav після обробки смуговим фільтром

Зм..	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

2) фільтр низьких частот

Схема роботи пристрою фільтрації звукового сигналу за допомогою фільтру низьких частот для аудіофайлу Game of Thrones V&V Project.wav зображена на рисунку 3.31.

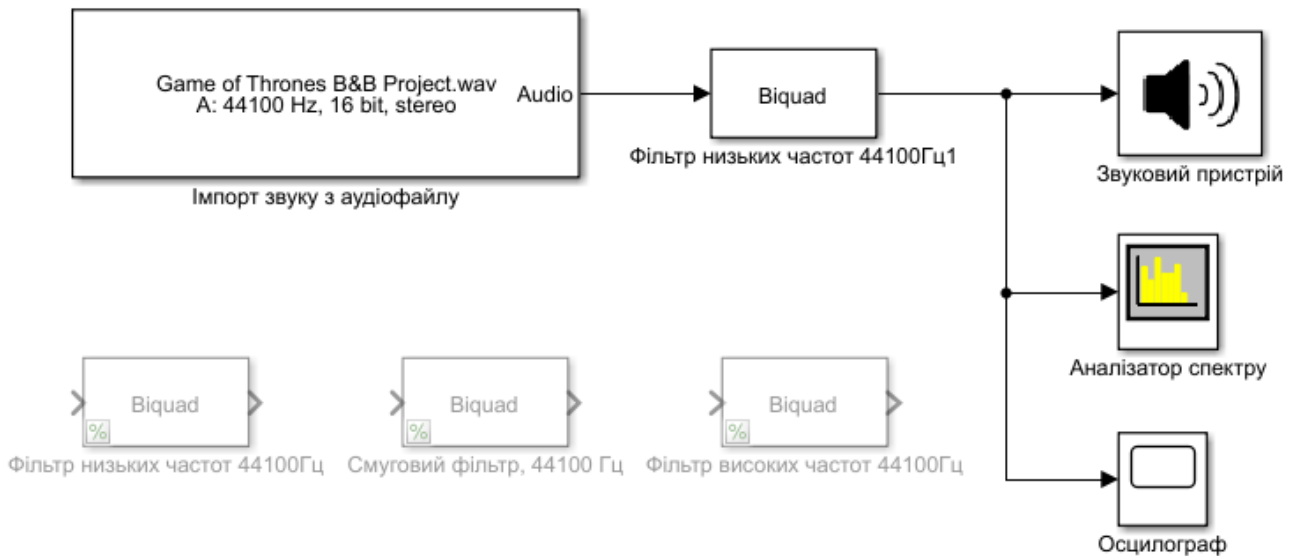


Рисунок 3.31 - Схема роботи пристрою фільтрації звукового сигналу за допомогою фільтру низьких частот для аудіофайлу Game of Thrones V&V Project.wav

Результат обробки звукового сигналу з аудіофайлу Game of Thrones V&V Project.wav за допомогою фільтру низьких частот зображений на рисунку 3.32. Вихідний сигнал відображений на осцилографі у часовій області.

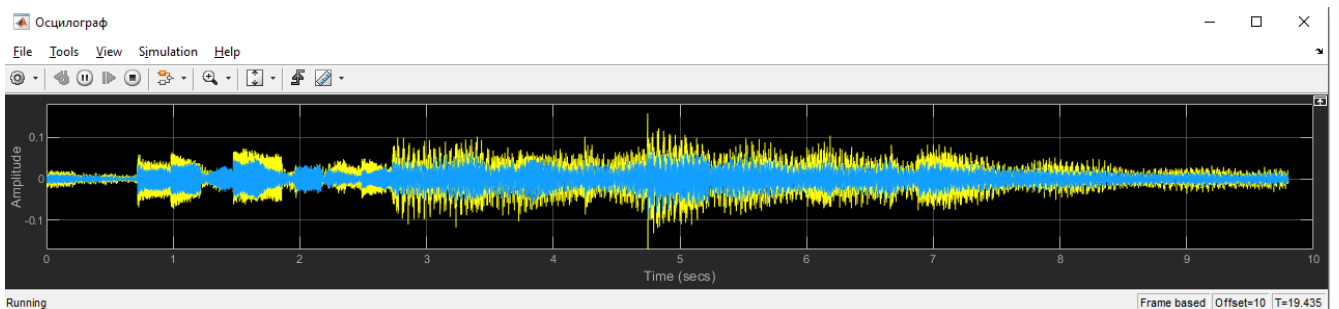


Рисунок 3.32 - Вихідний сигнал після фільтрації за допомогою фільтру низьких частот, зображений у часовій області, для аудіофайлу Game of Thrones V&V Project.wav

Розгляньмо рисунок 3.33, щоб побачити, що відображає аналізатор спектру вихідного сигналу після того, як аудіофайл Game of Thrones V&B Project.wav був оброблений за допомогою фільтру низьких частот. Модуль спектру сигналу зображено в частотній та часово-частотній областях.

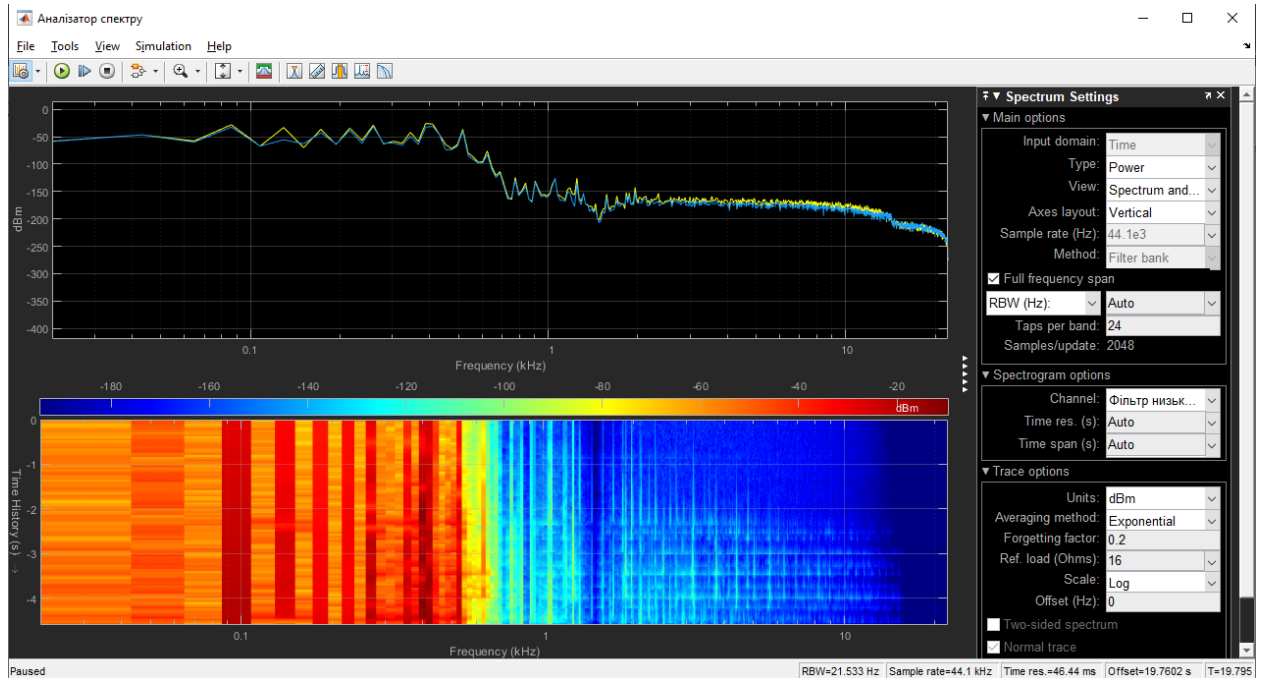


Рисунок 3.33 - Модуль спектру вихідного сигналу в частотній області (перший графік) та в часово-частотній області (другий графік) для аудіофайлу Game of Thrones V&B Project.wav після обробки фільтром низьких частот

3) фільтр високих частот

Схема роботи пристрою фільтрації звукового сигналу за допомогою фільтру високих частот для аудіофайлу Game of Thrones V&B Project.wav зображена на рисунку 3.34.

Як ми можемо спостерігати, принцип роботи створеної системи є незмінним. Хоча є і те, що постійно змінюється в процесі виконання роботи. Це аудіофайли та безпосередньо самі фільтри. Інші ж елементи (звуковий пристрій, аналізатор спектру вихідного сигналу та осцилограф) залишаються на своїх місцях та постійно виконують свою роботу.

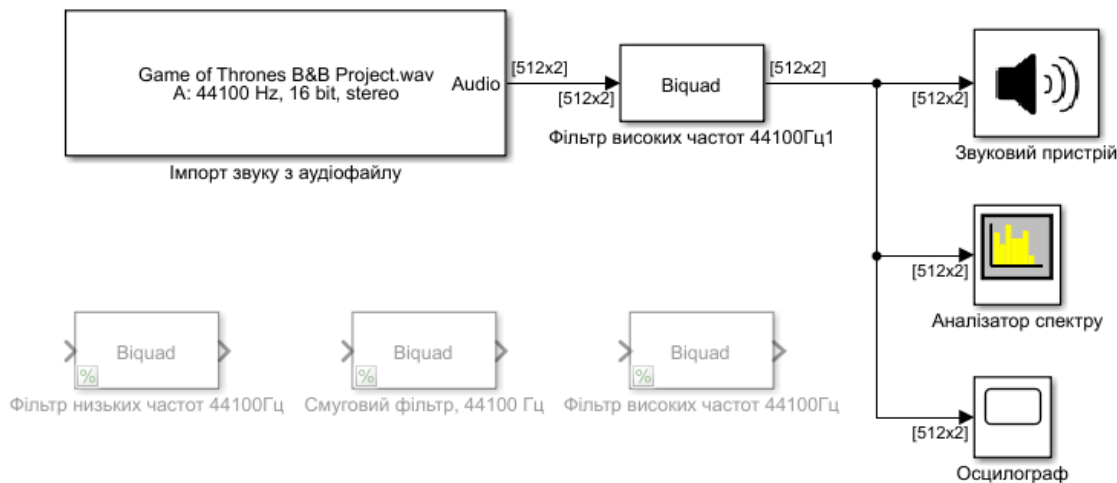


Рисунок 3.34 - Схема роботи пристрою фільтрації звукового сигналу за допомогою фільтра високих частот для аудіофайлу Game of Thrones B&B Project.wav

Результат обробки звукового сигналу з аудіофайлу Game of Thrones B&B Project.wav за допомогою фільтра високих частот зображений на рисунку 3.35. Вихідний сигнал відображений на осцилографі у часовій області.

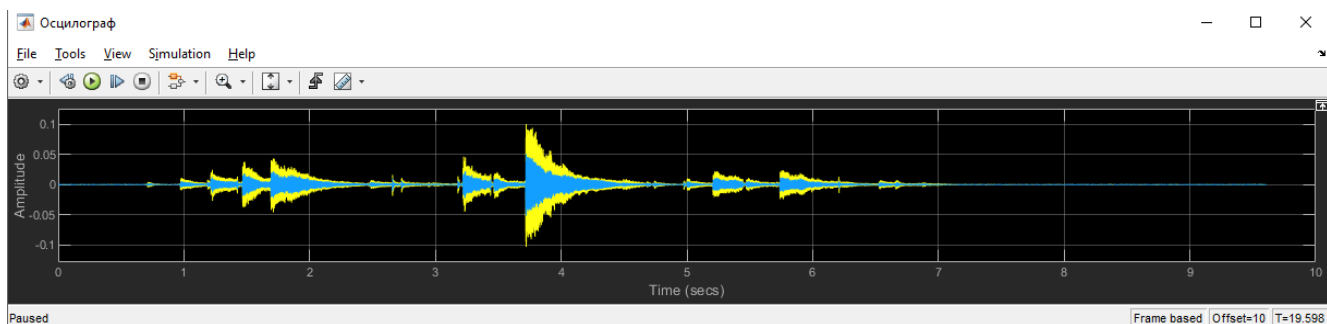


Рисунок 3.35 - Вихідний сигнал після фільтрації за допомогою фільтра високих частот, зображений у часовій області, для аудіофайлу Game of Thrones B&B Project.wav

Звернімо увагу на рисунок 3.36, щоб побачити, що відображає аналізатор спектру вихідного сигналу після того, як аудіофайл Game of Thrones B&B Project.wav був оброблений за допомогою фільтра високих частот. Модуль спектру сигналу зображено в частотній та часово-частотній областях.

Зм..	Арк.	№докум.	Підпис	Дата
------	------	---------	--------	------

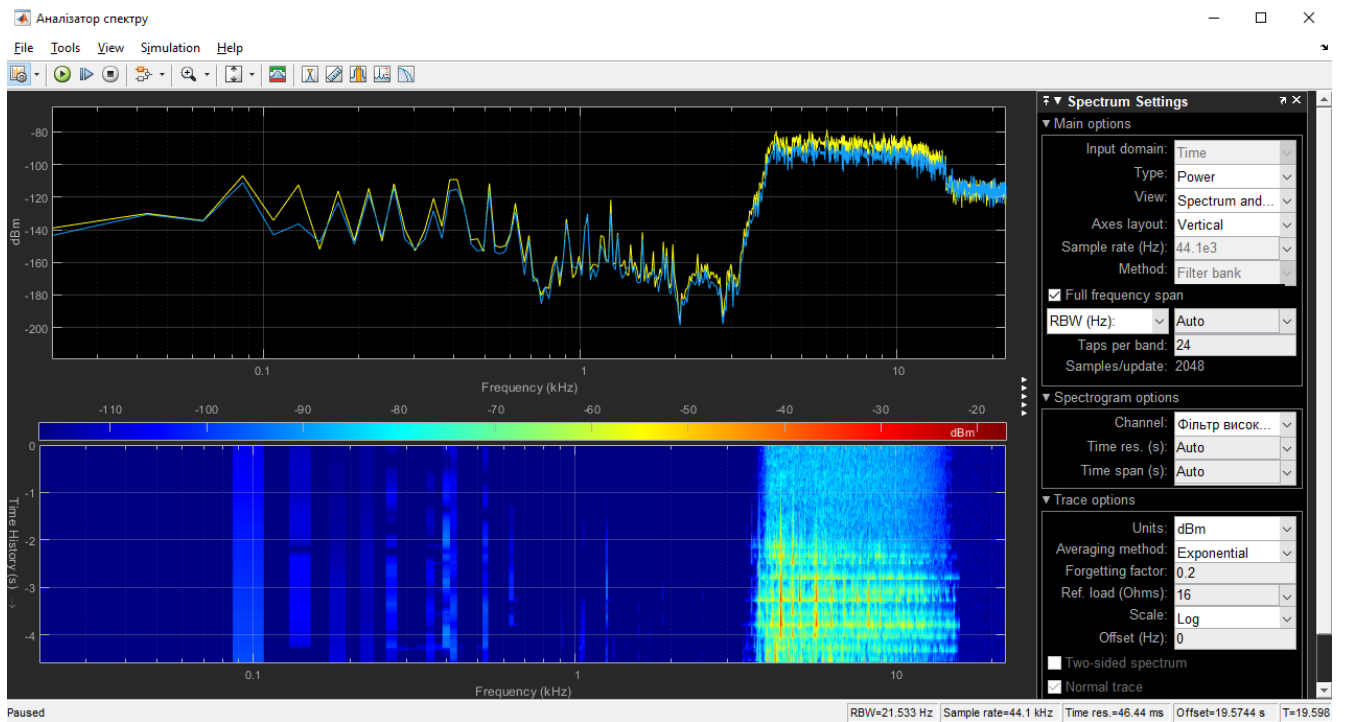


Рисунок 3.36 - Модуль спектру вихідного сигналу в частотній області (перший графік) та в часово-частотній області (другий графік) для аудіофайлу Game of Thrones V&B Project.wav після обробки фільтром високих частот

3.4.2 ONUKA – Other.wav

1) смуговий фільтр

Схема роботи пристрою фільтрації звукового сигналу за допомогою смугового фільтра для аудіофайлу ONUKA - Other.wav зображена на рисунку 3.37.

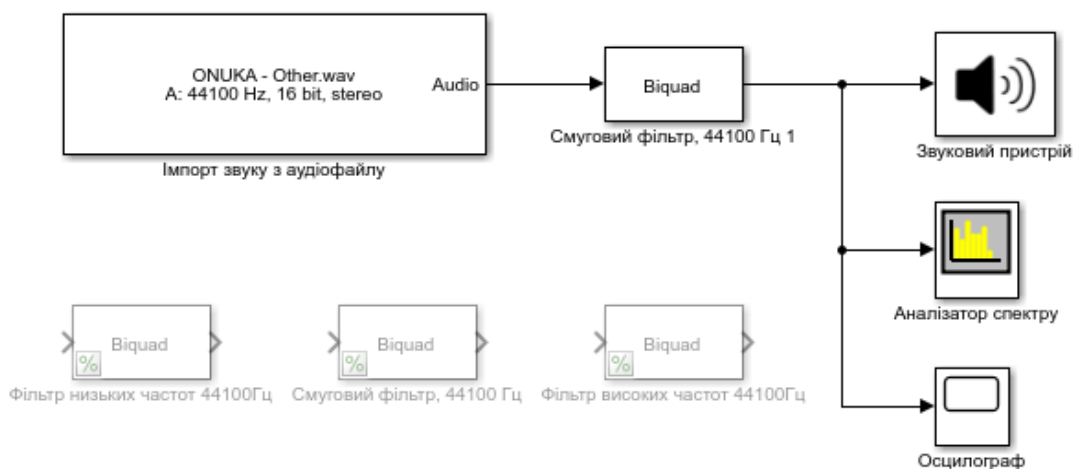


Рисунок 3.37 - схема роботи пристрою фільтрації звукового сигналу за допомогою смугового фільтра для аудіофайлу ONUKA - Other.wav

Зм..	Арк.	№докум.	Підпис	Дата
------	------	---------	--------	------

Результат обробки звукового сигналу з аудіофайлу ONUKA - Other.wav за допомогою смугового фільтру зображений на рисунку 3.38. Вихідний сигнал відображений на осцилографі у часовій області.

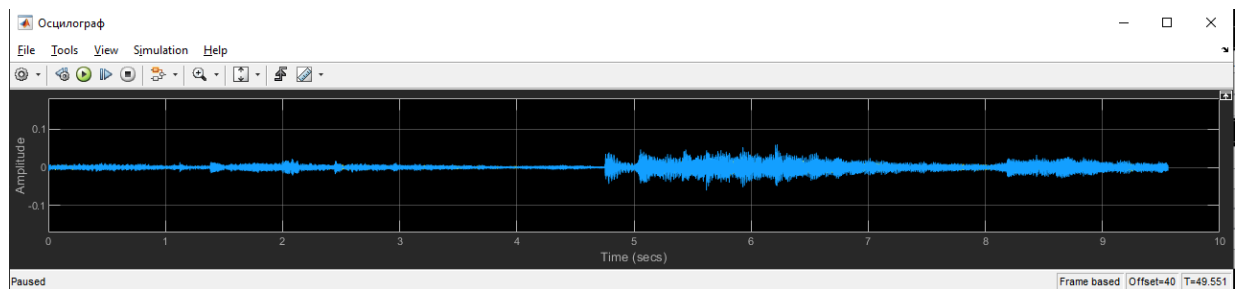


Рисунок 3.38 - вихідний сигнал після фільтрації за допомогою смугового фільтру, зображений у часовій області, для аудіофайлу ONUKA - Other.wav

Погляньмо на рисунок 3.39, щоб побачити, що відображає аналізатор спектру вихідного сигналу після того, як аудіофайл ONUKA - Other.wav був оброблений за допомогою смугового фільтру. Модуль спектру сигналу зображено в частотній та часово-частотній областях.

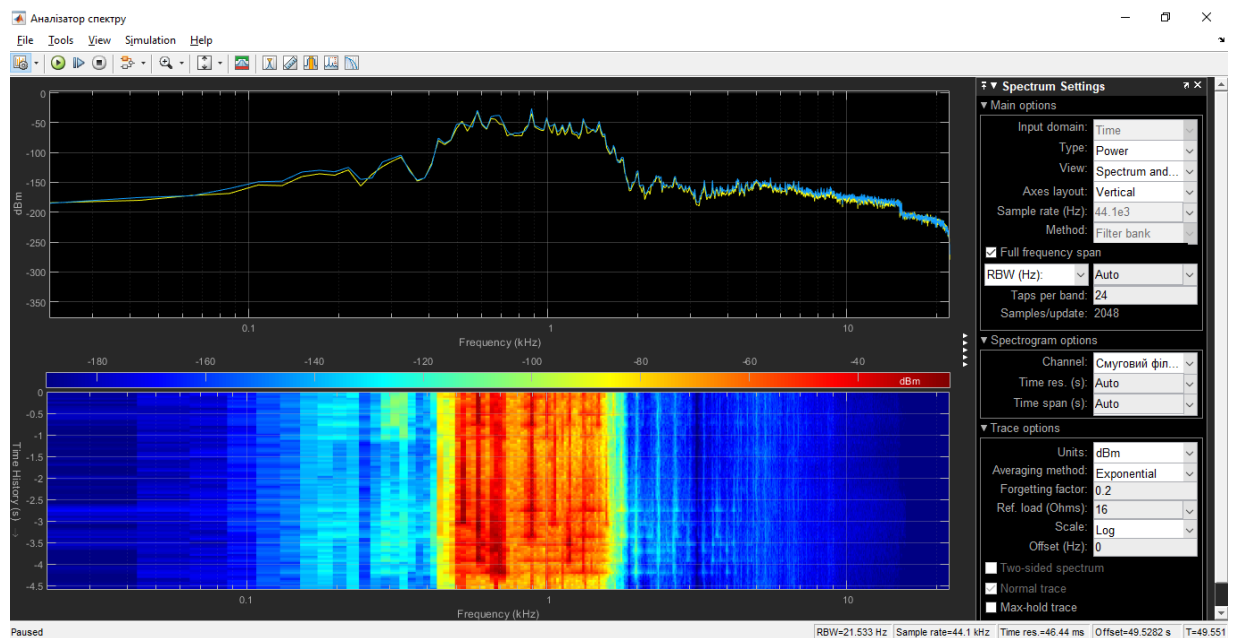


Рисунок 3.39 - Модуль спектру вихідного сигналу в частотній області (перший графік) та в часово-частотній області (другий графік) для аудіофайлу ONUKA - Other.wav після обробки смуговим фільтром

2) фільтр низьких частот

Схема роботи пристрою фільтрації звукового сигналу за допомогою фільтру низьких частот для аудіофайлу ONUKA - Other.wav зображена на рисунку 3.40.

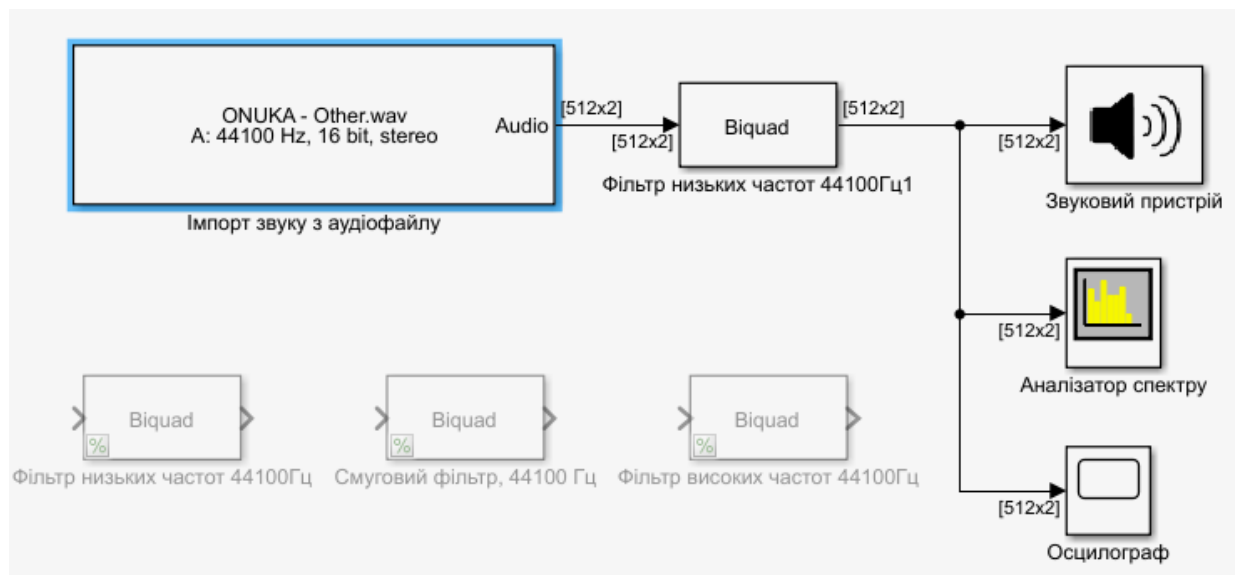


Рисунок 3.40 - схема роботи пристрою фільтрації звукового сигналу за допомогою фільтру низьких частот для аудіофайлу ONUKA - Other.wav

Результат обробки звукового сигналу з аудіофайлу ONUKA - Other.wav за допомогою фільтру низьких частот зображений на рисунку 3.41. Вихідний сигнал відображений на осцилографі у часовій області.

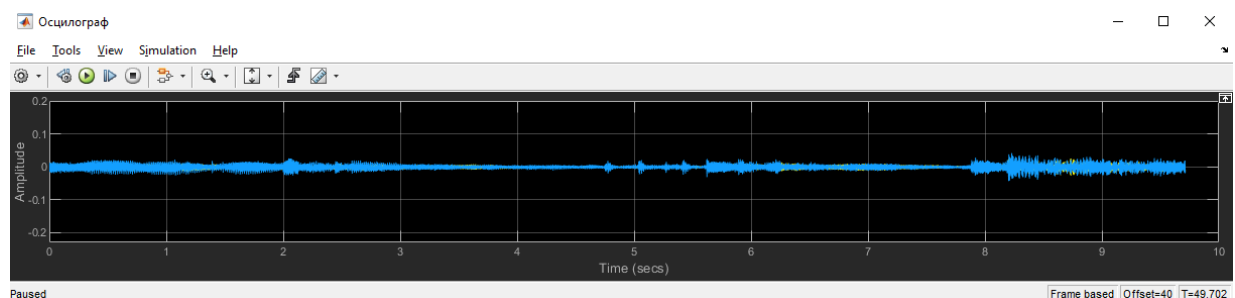


Рисунок 3.41 - вихідний сигнал після фільтрації за допомогою фільтру низьких частот, зображений у часовій області, для аудіофайлу ONUKA - Other.wav

Можемо також розглянути рисунок 3.42, щоб побачити, що відображає аналізатор спектру вихідного сигналу після того, як аудіофайл ONUKA - Other.wav

був оброблений за допомогою фільтру низьких частот. Модуль спектру сигналу зображено в частотній та часово-частотній областях.

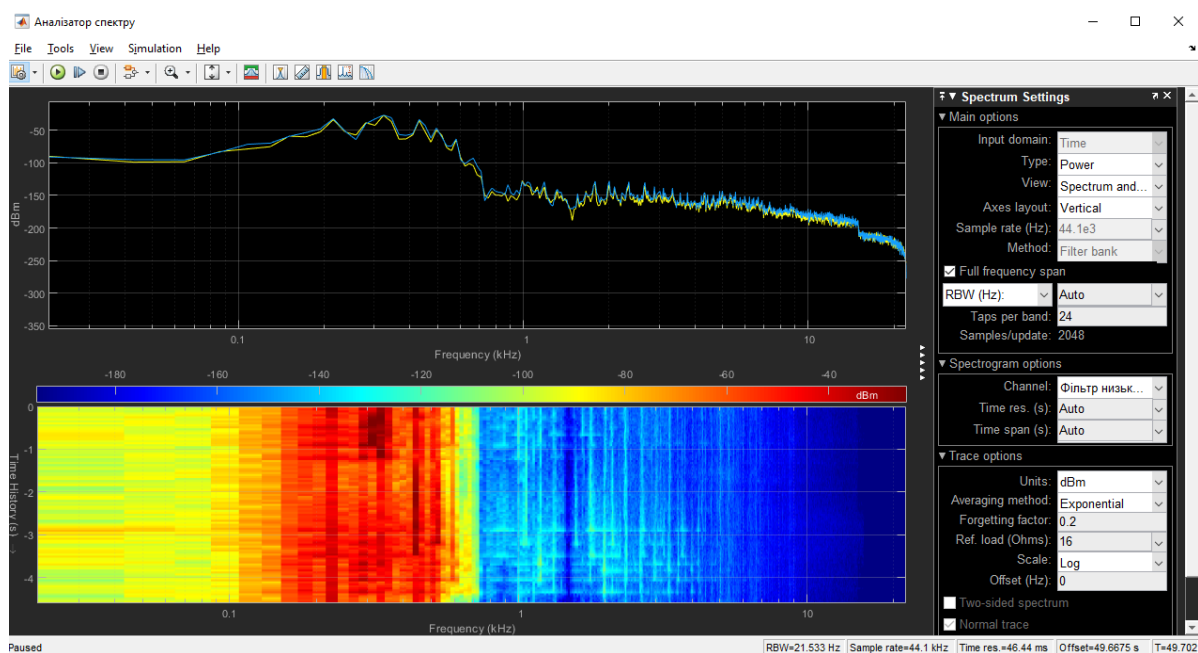


Рисунок 3.42 - Модуль спектру вихідного сигналу в частотній області (перший графік) та в часово-частотній області (другий графік) для аудіофайлу ONUKA - Other.wav після обробки фільтром низьких частот

3) фільтр високих частот

Схема роботи пристрою фільтрації звукового сигналу за допомогою фільтру високих частот для аудіофайлу ONUKA - Other.wav зображена на рисунку 3.43.

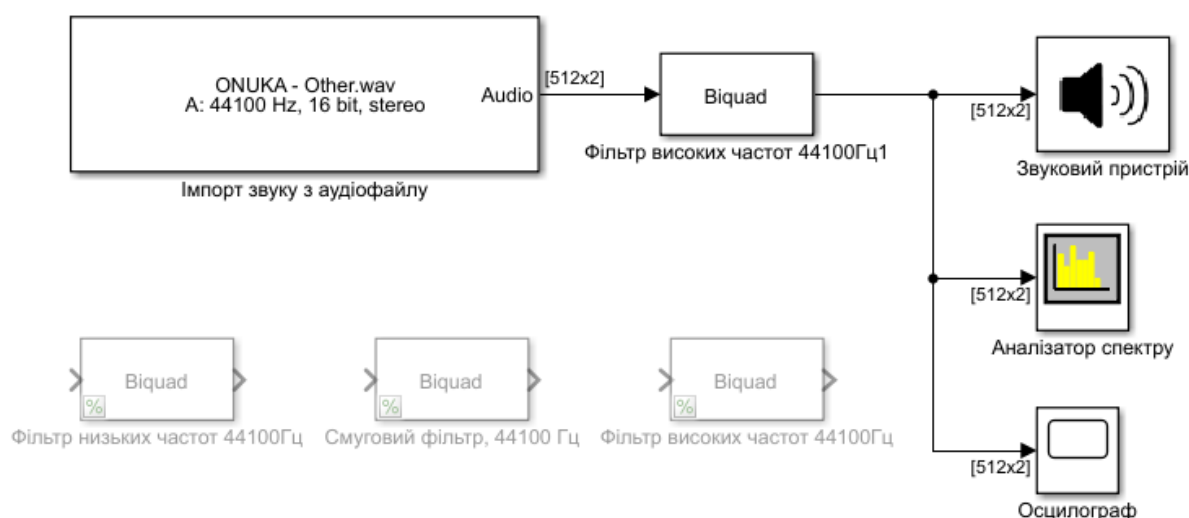


Рисунок 3.43 - схема роботи пристрою фільтрації звукового сигналу за допомогою фільтру високих частот для аудіофайлу ONUKA - Other.wav

Зм..	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

Результат обробки звукового сигналу з аудіофайлу ONUKA - Other.wav за допомогою фільтру високих частот зображений на рисунку 3.44. Вихідний сигнал відображений на осцилографі у часовій області.

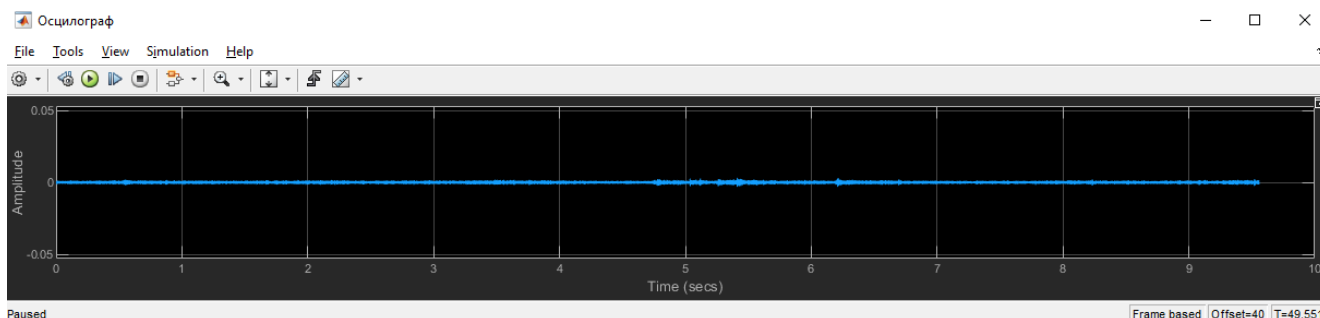


Рисунок 3.44 - вихідний сигнал після фільтрації за допомогою фільтру високих частот, зображений у часовій області, для аудіофайлу ONUKA - Other.wav

Варто розглянути рисунок 3.45, щоб побачити, що відображає аналізатор спектру вихідного сигналу після того, як аудіофайл ONUKA - Other.wav був оброблений за допомогою фільтру високих частот. Модуль спектру сигналу зображено в частотній та часово-частотній областях.

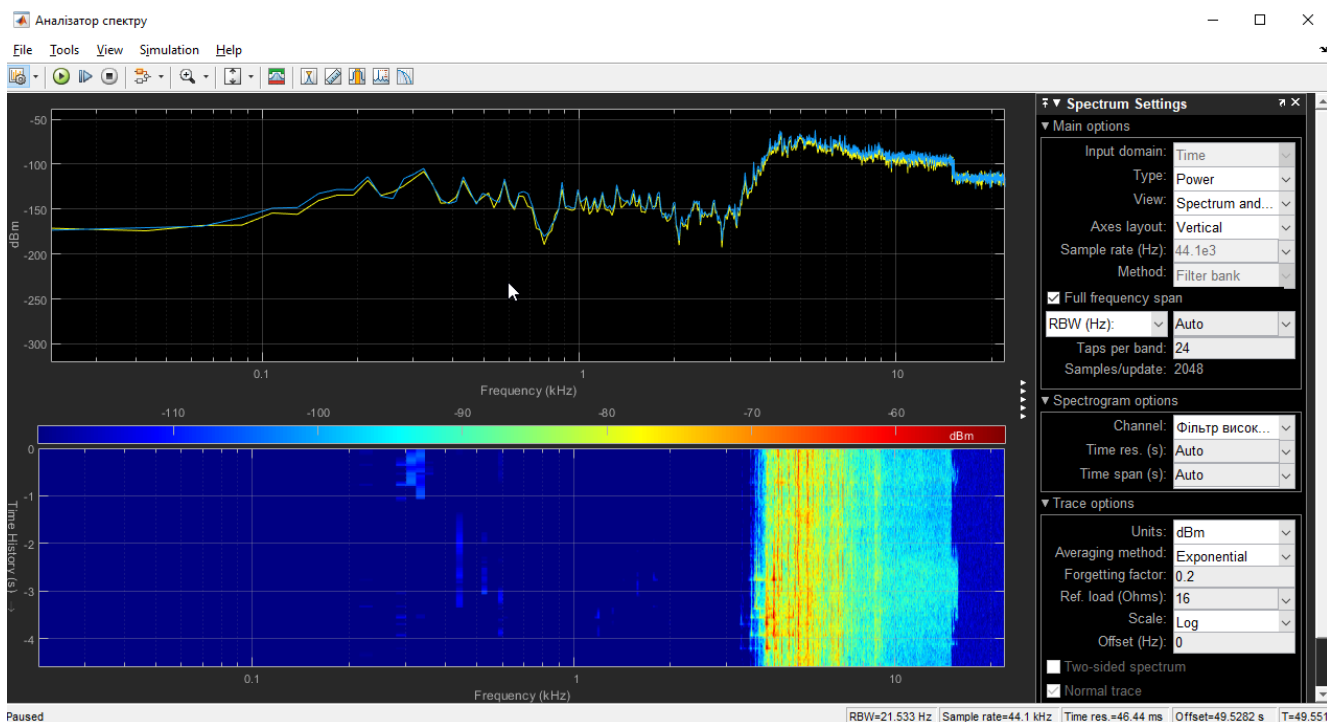


Рисунок 3.45 - Модуль спектру вихідного сигналу в частотній області (перший графік) та в часово-частотній області (другий графік) для аудіофайлу ONUKA - Other.wav після обробки фільтром високих частот

Зм..	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

3.5 Висновки

В даному розділі за допомогою програмного середовища Simulink було реалізовано програмно-технічний засіб для обробки звукових сигналів. В процесі його реалізації було розроблено три фільтри для обробки звукових сигналів: фільтр високих частот, фільтр низьких частот та смуговий фільтр.

					КвРКІ. 180121.18.01.18 ПЗ	Арк.
						63
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

Цифровий фільтр – фільтр, який обробляє певний цифровий сигнал для того, щоб відокремити або придушити певні частотні складові сигналу.

Взагалі, будь-яке середовище, через яке можливе проходження сигналу, може розглядатися як фільтр.

В наш час цифрові фільтри мають широке застосування і використовуються в багатьох галузях. Обробка сигналів може в спектральному аналізі, в обробці відео, зображень, мови, звуку і т.д.

Метою даної роботи було проектування та реалізація програмно-технічного засобу для обробки звукових сигналів.

Об'єктом дослідження була обробка звукових сигналів.

Предметом дослідження був програмно-технічний засіб для обробки звукових сигналів.

В першому розділі кваліфікаційної роботи було розглянуто теорію цифрової фільтрації. Були вивчені особливості аналогових, дискретних та цифрових сигналів, а також їх перетворення.

В другому розділі було обране програмне середовище для реалізації поставленого завдання - проектування програмно-технічного засобу для обробки звукових сигналів. Досліджені принципи роботи, можливості та інструменти, які пропонує нам обране програмне середовище для досягнення поставлених цілей.

В третьому розділі за допомогою програмного середовища Simulink було реалізовано програмно-технічний засіб для обробки звукових сигналів.

Було розроблено три фільтри для обробки звукових сигналів: фільтр високих частот (High Pass Filter), фільтр низьких частот (Low Pass Filter) та смуговий фільтр (Bandpass).

Розроблений засіб для обробки звукових сигналів було протестовано наступним чином. Спочатку було проаналізовано оригінальні звуки з аудіофайлів, потім була виконана фільтрація звукових сигналів за допомогою створених фільтрів і в результаті були отримані змінені, відповідно до налаштувань фільтрів, звукові сигнали.

					КвРКІ. 180121.18.01.18 ПЗ	Арк.
Зм..	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		64

Практична цінність роботи полягає в реалізованому засобі фільтрації звуків в реальному часі в середовищі MATLAB/Simulink, який може бути застосований для видалення непотрібних шумів в сигналах, які будуть на нього подаватись. Програмно-технічний засіб дозволяє змінювати характеристики звукового сигналу в реальному часі. Звуковими сигналами, які може оброблювати даний програмно-технічний засіб, можуть виступати сигнали як з файлів, так і з периферійних пристроїв комп'ютера, наприклад, мікрофону. Оброблений звуковий сигнал буде відтворюватись як звук, або відображатись у вигляді осцилограми, спектр і спектрограми. Код обробки сигналів може бути перекладений на мову С або інші мови для програмування цифрових сигнальних процесорів або інших пристроїв.

					КвРКІ. 180121.18.01.18 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		65

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Бортник Г.Г., Кичак В.М. Цифрова обробка сигналів в телекомунікаційних системах. Вінниця : ВНТУ, 2014. 232 с.
2. Заболотній С.В. Цифрове оброблення сигналів: Посібник для студентів напряму підготовки «Радіотехніка» усіх форм навчання. Черкаси : ЧДТУ, 2019. 119 с.
3. Кветний Р.Н. Комп'ютерне моделювання систем та процесів. Методи обчислення. Частина 2. Цифрова обробка сигналів : 2012. 230 с.
4. Рибальченко М.О., Єгоров О.П., Зворикін В.Б. Цифрова обробка сигналів. Навчальний посібник. Дніпро : НМетАУ, 2018. 79 с.
5. Трасковецька Л., Вальчук О., Гащук І. Можливості MATLAB у дослідженні спектрального перетворення Фур'є. *Збірник наукових праць Національної академії Державної прикордонної служби України.*, 2020. С. 278-291
6. Цифрові процесори обробки сигналів. Довідник / Остапенко А.Р. та ін.; 1994. 264 с.
7. Основи та методи цифрової обробки сигналів: від теорії до практики : навч. посібник / уклад. : Ю.О. Ушенко, М.С. Гавриляк, М.В. Талах, В.В. Дворжак. Чернівці : Чернівецький нац. ун-т ім. Ю. Федьковича, 2021. 308 с
8. Julius O. Smith. Fundamentals of digital filter theory. *The music machine : selected readings from computer music journal*, 1989. P. 509-521
9. Julius O. Smith III Introduction to digital filters with audio applications, 2007. 480 p.
10. Oppenheim Alan V., Schaffer Ronald W. Discrete-time signal processing, 1999. 896 p.
11. Prandoni P., Vetterli M. Signal processing for communications, 2008. 371 p.
12. Richard G. Lyons. Understanding digital signal processing, 2011. 857 p.
13. Rocchesso D. Introduction to sound processing, 2003. 244 p.
14. Shenoit B.A. Introduction to digital signal processing and filter design, 2006. 415 p.

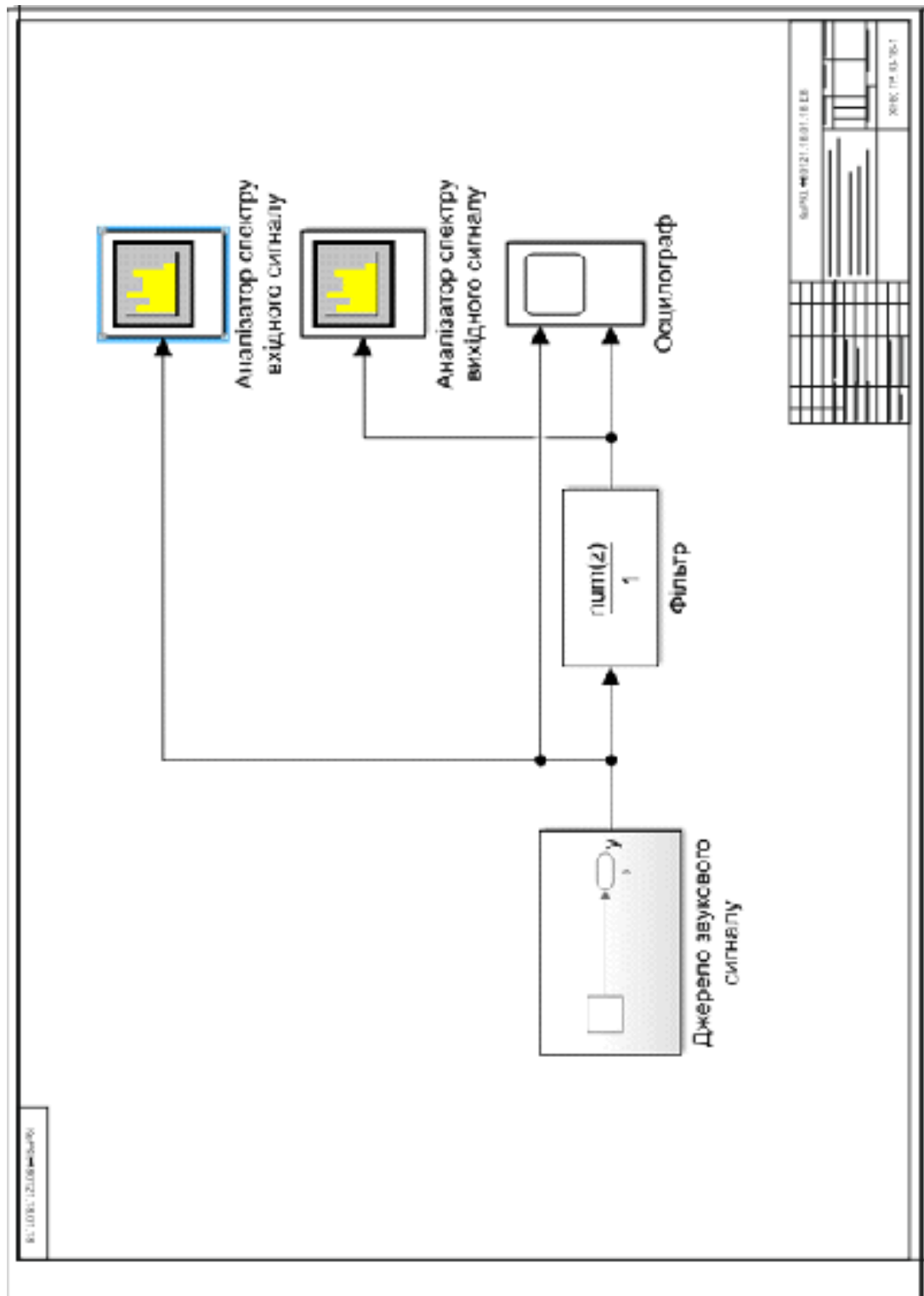
					КвРКІ. 180121.18.01.18 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		66

15. Signal processing first / McClean, James H., Ronald W. and other, 2003. 512 p.
16. Sklar B. Digital Communications. Fundamentals and Applications. Second Edition, 2001. 953 p.
17. Spanias A., Painter T., Atti V. Audio signal processing and coding, 2007. 544 p.
18. Steven M. Kay. Fundamentals of statistical signal processing, 1993. 476 p.
19. Steven W. Smith. The scientist and engineer's guide to digital signal processing, 1999. 640 p.
20. Stoica P., Moses R. Spectral analysis of signals, 2005. 447 p.
21. Wilmering Th., Moffat D., Milo A., Mark B. Sandler. A history of audio effects, 2020. 27 p.

					КВРКІ. 180121.18.01.18 ПЗ	Арк.
Зм..	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		67

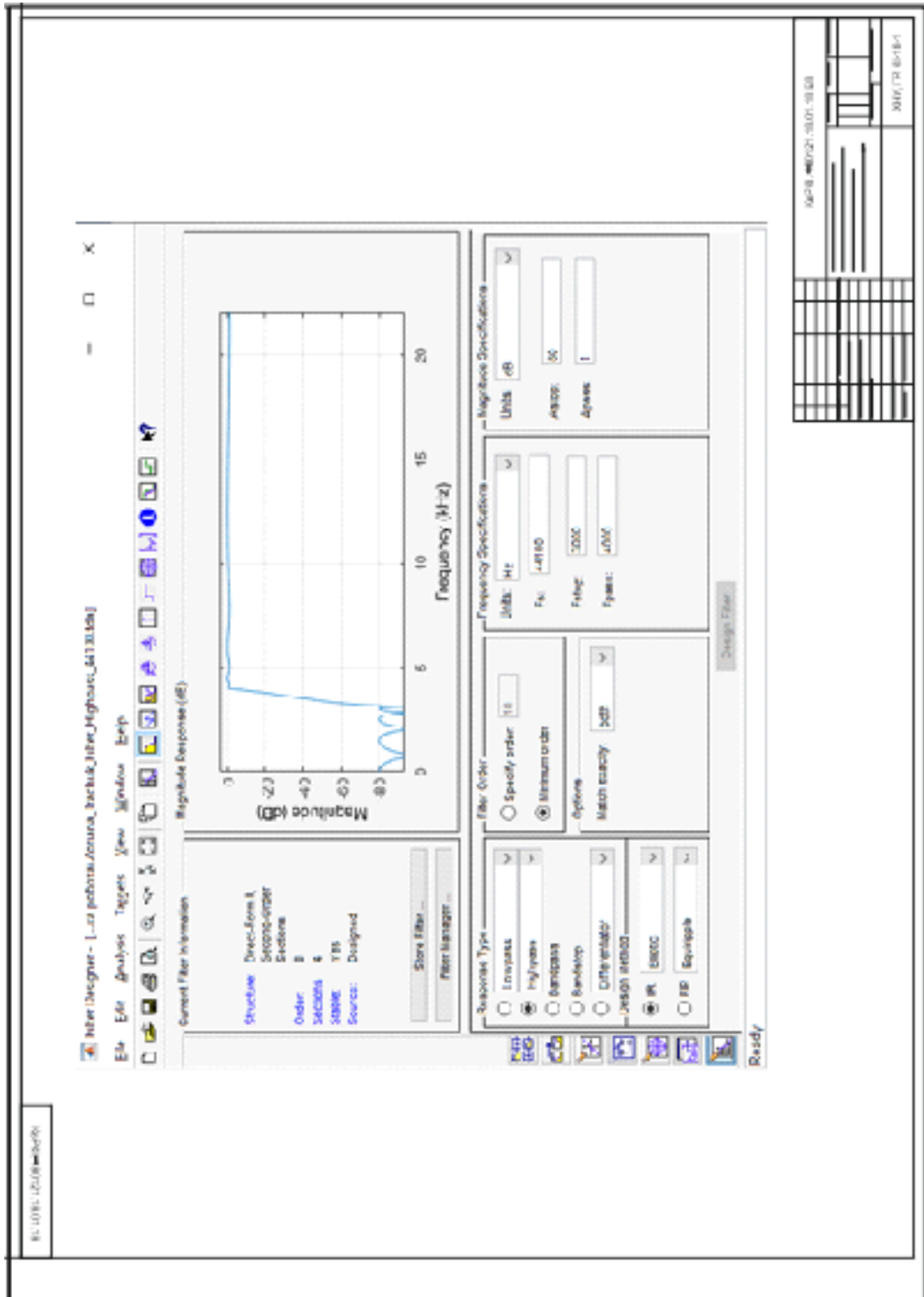
Додаток А
(обов'язковий)

Копія креслення «Програмно-технічний засіб
обробки звукового сигналу в
програмному середовищі Simulink»



Додаток В
(обов'язковий)

Копія креслення «Налаштування параметрів
High Pass фільтра в Filter Designer»



Ім'я користувача:
Кафедра КІ

ID перевірки:
1011522272

Дата перевірки:
09.06.2022 15:12:00 EEST

Тип перевірки:
Doc vs Internet + Library

Дата звіту:
09.06.2022 15:12:14 EEST

ID користувача:
100005591

Назва документа: Трачук_Програмно-технічний засіб для обробки звукових сигналів

Кількість сторінок: 62 Кількість слів: 8215 Кількість символів: 59901 Розмір файлу: 4.91 MB ID файлу: 1011396088

10.9% Схожість

Найбільша схожість: 4.7% з Інтернет-джерелом (https://radfiz.org.ua/maton/metod_TS01.pdf)

9.74% Джерела з Інтернету 14 Сторінка 64

1.21% Джерела з Бібліотеки 57 Сторінка 64

0.11% Цитат

Цитати 1 Сторінка 65

Не знайдено жодних посилань

0% Вилучень

Немає вилучених джерел

Модифікації

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

Замінені символи 55

Anti-Plagiarism v-15.257

Максимальное совпадение с одним документом 2.0%

Словари проверки: en_US, ru_RU, ua_UA. Ошибок в документах: 10%

ID: 104955 Название: Програмно-технічний засіб для обробки звукових сигналів Добавлено в БД: 2022-06-10 Авторы: З.А. Трачук Руководители: М.В. Федула Консультанты: Оponentы:	Документ		Суммарное совпадение по Базе Данных	
	Символы	Лексемы	Символы	Лексемы
	53258	454	2012 (4%)	22 (5%)

Источник плагиата

ID	Описание	Наличие плагиата в документе	
		Символы	Лексемы

РЕЦЕНЗІЯ

на бакалаврську кваліфікаційну роботу студентки групи КІ-18-1

Трачук Зоряни Артурівни

на тему: “Програмно-технічний засіб для обробки звукових сигналів”

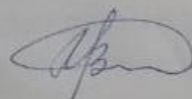
У бакалаврській кваліфікаційній роботі розроблено програмно-технічний засіб для обробки звукових сигналів.

Програмно-технічний засіб дозволяє виконувати фільтрацію звукових сигналів, що завантажуються з аудіофайлів або надходять з периферійних пристроїв комп'ютера. Обробка звукових сигналів виконується шляхом цифрової фільтрації. Розроблено цифрові фільтри програмно-технічного засобу з аналізом часових та частотних характеристик у програмному середовищі MATLAB. Побудовано осцилограми, спектри та спектрограми вхідних і вихідних сигналів, які доводять коректність виконання операцій обробки звукових сигналів.

Всі розділи бакалаврської кваліфікаційної роботи виконанні якісно та на високому технічному рівні.

Вважаю, що бакалаврська кваліфікаційна робота Трачук З.А. заслуговує оцінки «відмінно», а вона заслуговує присвоєння кваліфікації бакалавр з комп'ютерної інженерії.

Рецензент:



Мартишок В. В.

Завідувачу кафедри КІСП
д-ру техн.наук, проф. Говорушенко Т. О.

Трачук З.А.

ІІБ здобувача вищої освіти

ФПКТС, 4 курсу, групи КІ-18-1

ЗАЯВА

З правилами чинного Положення «Про дотримання академічної доброчесності в Хмельницькому національному університеті» від 26.09.2020 (зі змінами від 26.11.2020), 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.

09.06.2022

дата



підпис

РІШЕННЯ ЕКСПЕРТНОЇ КОМІСІЇ
КАФЕДРИ КОМП'ЮТЕРНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ ТА СИСТЕМНОГО ПРОГРАМУВАННЯ
ПРО ДОПУСК КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ ДО ЗАХИСТУ

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

Назва: Програмно-технічний засіб для обробки звукових сигналів

Автор: Трачук Зоряна Артурівна

Спеціальність: 123 – Компютерна інженерія

Освітня програма: освітньо-професійна

Науковий керівник: Федула Микола Васильович, к.т.н, 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.	відповідає
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 та 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.	

Підтвердження:

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

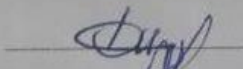
- виявлені системою збіги, розміщені в перших двох розділах, де описуються теоретичні відомості; вони не описують процес реалізації програмного засобу та результат його роботи; запозичення розміщені в розділах аналізу існуючих аналогів та прототипів, які не описують безпосередньо авторське дослідження і не стосуються результатів роботи;
- усі запозичення фрагментарні, або мають належним чином оформлені посилання
- окремі виявлені запозичення збіги є загальноживаними фразами або виразами, термінами, а також визначеннями; про що свідчить посилання системи на збіг з 10-40 джерелами на один фрагмент речення;
- всі зафіксовані системою ознаки підміни символів стосуються математичних формул, тому це не є модифікацією тексту

Сумарний обсяг всіх запозичень, визначений системою виявлення збігів/ідентичності/схожості, складає 10,9% і адресується до 71 першоджерела, що, з урахуванням наведених обґрунтувань, відповідає характеру наукового дослідження і свідчить на користь кваліфікаційної роботи.

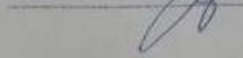
Керівник роботи

Гарант ОП

Завідувач кафедри КІСП

 М.В. Федула

 С. М. Лисенко

 Т. О. Говорущенко