

Вінницький національний технічний університет
Факультет інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії
Кафедра обчислювальної техніки


БАКАЛАВРСЬКА ДИПЛОМНА РОБОТА

на тему:

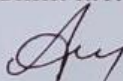
**Апаратно-програмний комплекс для запису аудіо сигналу на основі
акселерометра**

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА


Виконав: студент 4 курсу, групи 1КІ-18Б
Спеціальності 123 – комп'ютерна інженерія

 Федоров С.Ю.

Керівник к.т.н., доц. каф. ОТ:

 Ткаченко О. М.

Рецензент к.т.н., доц. каф. ОТ:

 Карпінєць В. В.

Допущено до захисту

д.т.н., проф. Азаров О.Д.

" 22 " червня 2022 р.

Вінницький національний технічний університет
Факультет інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії
Кафедра обчислювальної техніки
Освітньо-кваліфікаційний рівень бакалавр
Спеціальність 123 — «Комп'ютерна інженерія»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

обчислювальної техніки

проф. Азарову О.Д.

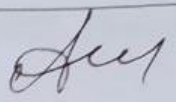
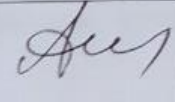
«08» 02 2022 р.



ЗАВДАННЯ
НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ
Федорову Сергію Юрійовичу

- 1 Тема проекту: «Апаратно-програмний комплекс для запису аудіо сигналу на основі акселерометра», керівник роботи к.т.н., доц. каф. ОТ Ткаченко О.М. затверджені наказом вищого навчального закладу від «24» березня 2022 року №66
- 2 Строк подання студентом проекту 22.06. 2022 р.
- 3 Вихідні дані до проекту: призначення — запис аудіо сигналу; основні підтримувані функції — використання акселерометра для запису звуку.
- 4 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): вступ, вистеми та методи обробки звуку, вкустичні сигнали та прилади для їх перетворення, вапис аудіо сигналу на основі акселерометра.
- 5 Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): технічне завдання, головна комп'ютерна схема.
- 6 Консультанти розділів роботи приведені в таблиці 1.

Таблиця 1 — Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Спеціальна частина	Ткаченко О. М., доцент кафедри ОТ		

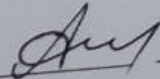
7 Дата видачі завдання « 24 » _____ березня _____ 2022 р.

8 Календарний план виконання БДР приведений в таблиці 2.

Таблиця 2 — Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання комплексної бакалаврської роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Постановка задачі роботи	07.03.22	виконано
2	Системи розпізнавання голосу	08.03-18.03.22	виконано
3	Акселерометр для запису звуку	21.03-31.03.22	виконано
4	Моделі акустичних сигналів	04.04-15.04.22	виконано
5	Вибір приладу для перетворення та обробки акустичних сигналів	18.04-22.04.22	виконано
6	Опис приладів, що використовувалися в роботі	25.04-.06.05.22	виконано
7	Опис пристрою для запису сигналу	09.05-13.05.22	виконано
8	Опис алгоритму обробки	16.05-26.05.22	виконано
9	Аналіз виконання роботи, висновки, додатки	27.05-31.05.22	виконано
10	Перевірка якості виконання бакалаврського проекту та усунення недоліків	01.06 -10.06.22	виконано

Студент  Федоров С.Ю.

Керівник роботи  Ткаченко О. М.

АНОТАЦІЯ

Федоров С.Ю. Апаратно-програмний комплекс запису аудіо сигналу на основі акселерометра. Бакалаврська кваліфікаційна робота зі спеціальності 123 — Комп'ютерна Інженерія, Вінниця: ВНТУ, 2022. Пояснювальна записка містить 52 сторінки, 21 рисуноків та 14 посилань.

В даній бакалаврській дипломній роботі був розроблений апаратно-програмний комплекс запису аудіо сигналу на основі акселерометра. В ролі чутливого елемента виступає мікромеханічний акселерометр GY-291. Основою для підключення чутливого елемента та знаття з нього сигналу являє собою плата-контроллер Arduino UNO R3 на базі мікроконтроллера Atmega328. Програма для підключення датчика та знаття з нього сигналу виконувалась в середовищі Arduino IDE мовою C++. Обробка, знятого сигналу проводилась в середовищі MATLAB.

Дана робота описує побудований макет та програми для знаття та обробки сигналу. В ній розглянуто недоліки та переваги даної системи обробки аудіо сигналі та описаний алгоритм роботи.

Ключові слова: акселерометр, обробка звуку, Arduino.

ABSTRACT

Fedorov S.U. Hardware-software complex of audio signal recording based on accelerometer. Bachelor's thesis in the specialty 123 — Computer Engineering, Vinnytsia: VNTU, 2022. The explanatory note contains 52 pages, 21 figures and 14 references.

In this bachelor's thesis, a hardware-software complex of audio signal recording based on an accelerometer was developed. The micromechanical accelerometer GY-291 acts as a sensitive element. The basis for connecting the sensing element and signaling from it is an Arduino UNO R3 controller board based on the Atmega328 microcontroller. The program for connecting the sensor and signaling from it was performed in the Arduino IDE in C ++. Processing of the captured signal was performed in MATLAB medium.

This paper describes the built layout and programs for nobility and signal processing. It discusses the disadvantages and advantages of this audio signal processing system and describes the algorithm.

Key words: accelerometer, sound processing, Arduino.

ЗМІСТ

ВСТУП	08
1 СИСТЕМИ ТА МЕТОДИ ОБРОБКИ ЗВУКУ	09
1.1 Системи розпізнавання голосу.....	09
1.1.1 Кнопка «розмова»	09
1.1.2 Ларингофон	10
1.1.3 Динамічні мікрофони	13
1.1.4 Конденсаторні мікрофони	14
1.1.5 Вугільні мікрофони	15
1.2 Акселерометр для запису звуку	17
1.2.1 Класифікація та застосування акселерометрів	17
1.2.2 MEMS-акселерометри	20
2 АКУСТИЧНІ СИГНАЛИ ТА ПРИЛАДИ ДЛЯ ЇХ ПЕРЕТВОРЕННЯ	24
2.1 Моделі акустичних сигналів	24
2.1.1 Діапазони: динамічний, середній, частотний	24
2.1.2 Розмовні сигнали: первинний та вторинний	26
2.1.3 Шуми та завади	28
2.1.4 Викривлення: лінійні, не лінійні, перехідні	29
2.1.5 Критерії оцінки звучання.....	30
2.2 Вибір приладу для перетворення та обробки акустичних сигналів.....	31
2.2.1 Призначення та класифікація фільтрів	31
2.2.2 Базові цифрові фільтри	31
2.2.3 Всепропускні фільтри 1 та 2 порядків	33
2.2.4 Параметричні фільтри	33
2.2.5 Кросовери	34

08-23.БДР.016.00.000 ПЗ

Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Федоров С.Ю.			Апаратно-програмний комплекс запису аудіо сигналу на основі акселерометра Пояснювальна записка	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.		Ткаченко О. М.					6	52
Реценз.		Карпинець В. В.				ВНТУ, гр. 1КІ-186		
Н. Контр.		Швець С.І.						
Затверд.		Азаров О.Д.						

3 ЗАПИС АУДІО СИГНАЛУ НА ОСНОВІ АКСЕЛЕРОМЕТРА	35
3.1 Опис приладів, що використовувалися в роботі	35
3.2 Опис пристрою для запису сигналу	37
3.3 Опис алгоритму обробки	38
ВИСНОВКИ	44
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ	46
ДОДАТОК А Технічне завдання	47
ДОДАТОК Б Лістинг отримання даних з пристрою	48
ДОДАТОК В Лістинг сигналу в середовищі MATLAB	50
ДОДАТОК Г Протокол перевірки навчальної (кваліфікаційної) роботи.....	52

ВСТУП

Актуальність. В наш час потрібно шукати нові можливості для запису звуку. Тому постало питання розроблення апаратно-програмного комплексу запису аудіо сигналу на основі акселерометра. Потрібно створювати нові програми для запису та передачі сигналів.

Для запису програмного забезпечення та вилучення даних із сенсорного елемента використовувати програмне забезпечення Arduino.

Метою дослідження є розробка програмного забезпечення запису звуку на основі MEMS-акселерометра.

Для цього необхідно виконати такі **задачі**:

- провести огляд наукової літератури про застосування акселерометрів;
- здійснити аналіз систем розпізнавання голосу;
- вибрати прилади для перетворення та обробки акустичних сигналів;
- розробити програмне забезпечення запису аудіо сигналу на основі акселерометра;
- провести тестування розробленого апаратно-програмного комплексу;

Об'єктом дослідження є процес запису аудіо сигналу на основі акселерометра.

Предмет дослідження є апаратно-програмний комплекс запису аудіо сигналу на основі акселерометра.

Методи дослідження дипломної роботи. Використовувався та досліджувався метод запису звуку за допомогою акселерометра. Програма для підключення датчика та знаття з нього сигналу виконувалась в середовищі Arduino IDE мовою C++. Обробка, знятого сигналу проводилась в середовищі MATLAB.

1 СИСТЕМИ ТА МЕТОДИ ОБРОБКИ ЗВУКУ

1.1 Системи розпізнавання голосу

До самих поширених методів детектування голосу відносяться такі системи як кнопка «розмова» на мікрофоні, ларингофону, мікрофон з датчиком руху обличчя, мікрофон з датчиком що формує сигнал з вібрації черепа. Також подібна технологія використовується в навушниках, що передають звуковий сигнал з допомогою кісткової провідності.

1.1.1 Кнопка «розмова»

Один із поширених варіантів реалізації такої системи — установка кнопки «вкл/викл» мікрофона на гарнітурі, а також використання програмного забезпечення, у випадках, коли кнопка знаходиться в інтерфейсі програми. Це називається кнопкою «розмова». Перед початком дзвінка користувач повинен натиснути кнопку. Це створює сигнал, який вказує системі, що відповідна особа зараз розмовляє або почне говорити. Але ця система не відповідає потребам користувачів, адже під час розмови цікавить нас людини мікрофон записує ще й звук оточення. Цей звуковий сигнал виходить з досить високим рівнем шуму для кінцевого користувача, рисунок 1.1



Рисунок 1.1 — Кнопка «розмова» на навушниках

А для сучасних навушників кнопка «розмови» отримала набагато більше функціональності і майже втратила своє первісне призначення. Також ця кнопка перейшла у більшість програм для відео — та голосових дзвінків через Інтернет. У цих програмах воно має попереднє значення, і воно вмикає або вимикає мікрофон під час і після дзвінка людини рисунок 1.2

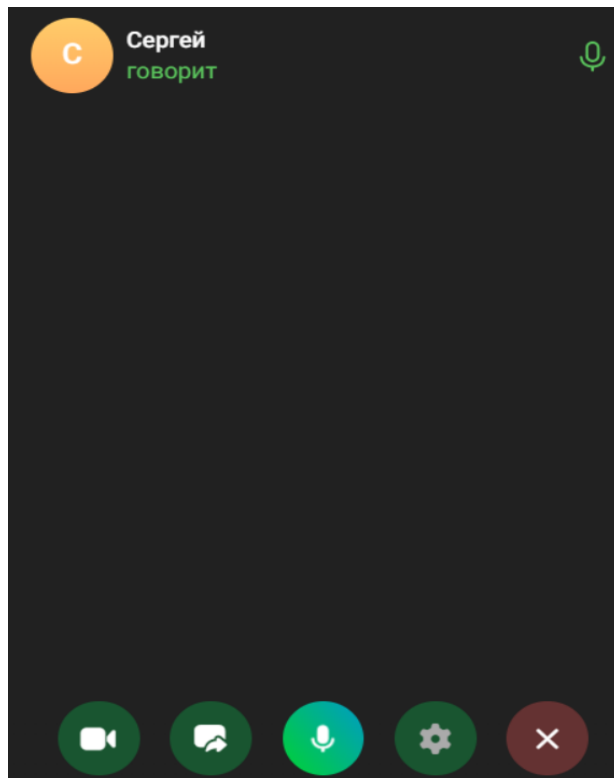


Рисунок 1.2 — Кнопка «Розмова» в програмі для відео та аудіо дзвінків

1.1.2 Ларингофон

Ларингофон (горловий мікрофон) від грецького *larynx* (*laryngos*) — гортань і грец. *phōné* — звук) — тип контактного мікрофона, який поглинає вібрації безпосередньо від горла користувача за допомогою одного або подвійного датчика, який часто називають перетворювачем рисунок 1.3

Конструкція ларингофона має ряд переваг. Перетворювач може сприймати мовлення навіть у надзвичайно шумних середовищах, наприклад у танку, військовому літаку чи нічному клубі, тоді як інші типи мікрофонів не можуть ефективно працювати в таких умовах через високий фоновий шум.

Також ларингофони використовуються в телефонії, зокрема в мобільних пристроях типу iPhone



Рисунок 1.3 — Загальний вигляд ларингофона

Одна з перших моделей мікрофонів була заснована на вугільних мікрофонах (іноді на основі інших типів мікрофонів) і мала невеликі розміри. Розміщені попарно в шкіряний футляр з еластичними ремінцями для кріплення.

Контактний мікрофон кріпиться на шиї під гортанню і записує сигнал, пов'язаний зі звуком в трахеї. Контактний мікрофон відчуває вібрацію в стінці шиї. Ці вібрації відображають механічні поштовхи, які є результатом закриття голосової щілини, і зміни підголосового тиску. Це є результатом перерваного трансглотального повітряного потоку.

Контактний мікрофон також може бути відомий як мікрофон акселерометра. Він закріплюється під гортанню для отримання сигналу, пов'язаного з вібраціями голосових складок і звуковим тиском в трахеї. Форма хвилі, яку створює

контактний мікрофон, зазвичай не залежить від артикуляції. Це пов'язано з високим голосовим опором. Сигнал, вироблений контактним мікрофоном, вимірює основну частоту. Контактний мікрофон являє собою простий акселерометр, який містить п'єзоелектричний керамічний диск в якості датчика. Диск укладений в металевий контейнер діаметром 15 мм і товщиною 5 мм і вагою близько 20 грам рисунок 1.4. Військові дійсно можуть отримати користь від контактного мікрофона різними способами. Контактний мікрофон може бути корисним: він не перешкоджатиме роботі кисневого обладнання, не вплине на розбірливість мови, мінімізує травми рота і зубів, може спостерігати рух губ, а певні місця підхоплення кращик для захисту від шуму.

Ларингофони призначені для поглинання звуку шляхом коливань тканини шиї, розташованої біля горла. Під час роботи акустичні хвилі не сприймаються, а механічні коливання стінок звукової системи, викликані акустичними коливаннями при вимові звуків. Вони засновані на принципі інерційної дії. Капсула гортані розташована в закритому тілі, розташованому на передній частині стінки гортані. Часто використовують дві послідовно з'єднані капсули, розташовані по обидва боки від горла.

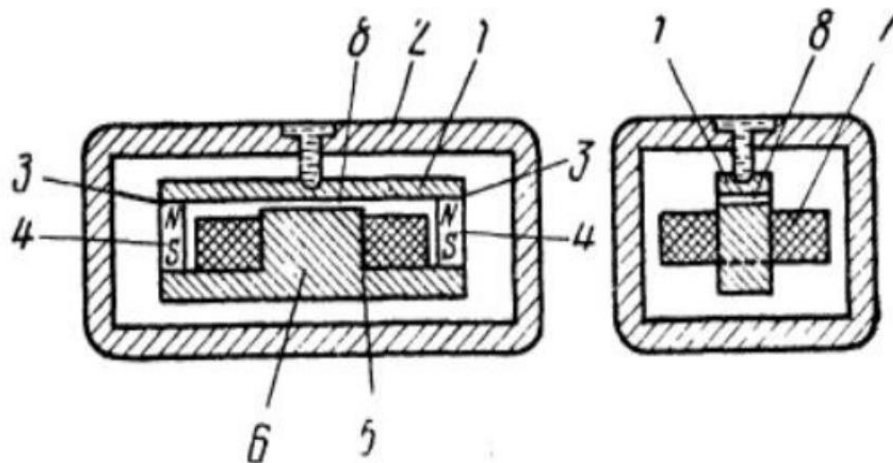


Рисунок 1.4 — Електромагнітний ларингофон

1 — діафрагма; 2 — корпус; 3 — місце кріплення планки з магнітом; 4 — магніти; 5 — фланець; 6 — керн; 7 — котушка; 8 — повітряний зазор

1.1.3 Динамічні мікрофони

Динамічний мікрофон використовується для перетворення акустичних коливань в електричний сигнал. Він складається з тонкої мембрани, яка носить назву «діафрагма». Тонкий провід утворює котушку, а магніт створює магнітне поле. Акустичні коливання викликають зміни в повітряному тиску, що сприяє руху діафрагми. Завдяки цьому котушка починає свій рух у магнітному полі. Дані рухи сприяють обертанню дроти, завдяки чому виникає електричний струм. Динамічний мікрофон використовується для перетворення акустичних коливань в електричний сигнал. Він складається з тонкої мембрани, яка носить назву «діафрагма». Тонкий провід утворює котушку, а магніт створює магнітне поле. Акустичні коливання викликають зміни в повітряному тиску, що сприяє руху діафрагми. Завдяки цьому котушка починає свій рух у магнітному полі. Дані рухи сприяють обертанню дроти, завдяки чому виникає електричний струм



Рисунок 1.5 — Динамічний мікрофон

Головною особливістю динамічного мікрофона є можливість роботи без додаткового живлення. Це відрізняє його від пристроїв конденсаторного типу. Подібні електроакустичні прилади підійдуть для так званих живих концертних виступів або проведення передач у прямому ефірі. Динамічний тип пристрою воліють використовувати журналісти, так як їм часто доводиться проводити репортаж в екстреному режимі.

Перевагами динамічних мікрофонів є:

- порівняно доступна вартість;
- високі показники поглинання і усунення сторонніх звуків;
- стійкість до підвищеної температури та вологості;
- стійкість до механічних пошкоджень.

До мінусів можна віднести:

- великий розмір;
- низький частотний діапазон;
- знижена передача тембру.

1.1.4 Конденсаторні мікрофони

Конденсаторний мікрофон — мікрофон, дія якого базується на використанні властивостей електричного конденсатора. Його винайшов у 1916 році інженер Bell Labs Едвард Венте (Edward Christopher Wente). Використовується переважно в студійному звукозаписі рисунок 1.6



Рисунок 1.6 — Конденсаторний мікрофон

Конденсаторний мікрофон складається з конденсатора, одна з обкладок якого зроблена з еластичного матеріалу (зазвичай полімерна плівка з нанесеною металізацією). При звукових коливаннях вібрації еластичної обкладки змінюють ємність конденсатора. Якщо конденсатор заряджений (підключений до джерела постійної напруги), то зміна ємності конденсатора приводить до зміни напруги на ньому, виникнення відмінності між напругою на конденсаторі і напругою живлення та струмів заряду/розряду, що вирівнюють ці напруги. Це і є корисним сигналом, що надходить від мікрофона до підсилювача. Для роботи такого мікрофона між обкладками має бути прикладено поляризуючу напругу, від 50 до 60 вольтів у старіших мікрофонах, а в моделях після 1960—1970-х років — 48 вольтів. Така напруга живлення вважається стандартом, саме з таким фантомним живленням випускаються попередні підсилювачі та звукові плати. Конденсаторний мікрофон має дуже високий вихідний опір. Через це всередині корпусу мікрофона розміщують попередній підсилювач з високим (бл. 1 ГОм) вхідним опором, зроблений на електровакуумній лампі чи польовому транзисторі, які також забезпечують балансове підключення мікрофона до решти звукопідсилюючої апаратури. Як правило, напруга для поляризації і живлення попереднього підсилювача подається сигнальними дротами (фантомне живлення).

1.1.5 Вугільні мікрофони

Вугільний мікрофон є одним з перших типів мікрофонів. Вугільний мікрофон містить вугільний порошок, поміщений між двома металевими пластинами і запечатаний у герметичній капсулі. Стінки капсули або одна з металевих пластин з'єднуються з мембраною. Якщо тиск на вуглецевий порошок змінюється, змінюється площа контакту між окремими вуглецевими зернами, а разом з ним і опір між металевими пластинами. Коли між пластинами пропускається постійний струм, напруга між пластинами залежить від тиску на мембрану. Від усіх інших типів мікрофонів він відрізняється тим, що є не перетворювачем, а підсилювальним елементом, оскільки енергія корисного

електричного сигналу генерується зовнішнім джерелом постійної напруги, а акустичні коливання керують потоком цієї енергії лише зміною опір ланцюга

рисунок 1.7



Рисунок 1.7 — Вугільні мікрофони

Вугільний мікрофон майже не потребує додаткового посилення сигналу (оскільки він є хорошим параметричним підсилювачем), сигнал з його виходу можна подавати безпосередньо на високоомні навушники або колонки. Через цю властивість вугільні мікрофони донедавна використовувалися в телефонах, їх використання звільняло телефон від дорогих, а потім дефіцитних напівпровідникових деталей або громіздких, крихких і енергоємних підсилювачів на радіолампах. Класичний поворотний телефон зазвичай містив вугільний мікрофон (хоча в наступні роки часто використовуються динамічні або електретні мікрофони, часто об'єднані з підсилювачем в єдину конструкцію і взаємозамінні з вугільним мікрофоном).

1.2 Акселерометр для запису звуку

1.2.1 Класифікація та застосування акселерометрів

Акселерометр — це пристрій, який забезпечує можливість вимірювання та аналізу лінійного і кутового прискорення рисунок 1.8. Ця функція необхідна в багатьох базових пристроях і системах, використовуваних майже в кожній галузі життя — як в домашніх приладах щоденного використання, так і в професійних промислових програмах або науково-дослідних розробках.



Рисунок 1.8 — Акселерометр

Використовується для вимірювання статичного гравітаційного прискорення, що дозволяє визначити кут відхилення вимірюваного об'єкта від вертикалі, а також для вимірювання динамічного прискорення, викликаного ударом, рухом, поштовхом або вібрацією, тобто коливаннями малої амплітуди, використовуються акселерометри. і низька частота до кількох десятків герц.

Акселерометр встановлюється безпосередньо на об'єкт, який вібрує, що дозволяє перетворювати енергію вібрації в електричний сигнал, пропорційний прискоренню об'єкта в цей момент.

Вимірювання вібрації широко використовується для діагностики високовольтних машин, обладнання або конструкцій. Акселерометри також використовуються для захисту жорстких дисків від пошкоджень в медичному та спортивному обладнанні, пристроях і камерах, смартфонах, пультах дистанційного керування, контролерах і навігаційних системах.

Принцип роботи акселерометрів не надто складний. Він вимірює g -силу в одиницях g і може вимірювати в одній, двох або трьох площинах. В даний час найчастіше використовуються 3-осьові акселерометри, конструкція яких складається з системи з трьох акселерометрів, кожен з яких вимірює прискорення в різному напрямку — в площинах X , Y і Z .

Якщо прискорення в будь-якій площині має протилежний напрямок, ніж той, на який був спрямований датчик, акселерометр вимірює прискорення з від'ємним значенням. В іншому випадку прискорення вимірюється з додатним значенням.

Якщо на акселерометр не впливає якесь зовнішнє прискорення, пристрій вимірюватиме лише прискорення землі, тобто силу гравітації. Якщо припустити, що 3-осьовий акселерометр, розміщений таким чином, що датчик на осі X спрямований вліво, датчик на осі Y вниз, а датчик на осі Z вперед, і на нього не впливають ніякі сили, тоді акселерометр поверне значення: $X = 0 g, Y = 1 g, Z = 0 g$. Якщо цей же акселерометр буде відхилений вліво, його показання будуть: $X = 1 g, Y = 0 g, Z = 0 g$. Аналогічно, якщо відхилення відбудеться вправо, площина X поверне результат $X = -1 g$. Наведені залежності вимірювання прискорення використовуються алгоритмами систем, що контролюють роботу акселерометра.

Основою конструкції акселерометра є чутливий елемент (так звана сейсмична маса), який при його прискоренні зміщується гнучким з'єднанням (пружиною). Довжина пружини, підключеної до потенціометричного

перетворювача, змінюється, з якої знімається вихідний сигнал, пропорційний вимірюваному прискоренню. Для запобігання нещасних випадків при критичному прискоренні датчик прискорення має демпфер, який гасить енергію удару сенсорного елемента в його крайніх положеннях. Три таких приладу, об'єднаних в одну систему і вирівняних по осях, дають змогу отримати інформацію про стан об'єкта в тривимірному просторі.

Залежно від застосування (для вимірювання лінійного або кутового прискорення) акселерометри поділяються на датчики лінійного та кутового прискорення. Існують також маятникові акселерометри — це лінійні акселерометри з кутовим зміщенням сейсмічної маси.

За кількістю вимірюваних компонентів прискорення акселерометри поділяються на одноосьові, двовісні та тривісні залежно від типу чутливого елемента — гіроскопічні (сейсмічна маса — гіроскоп) та негіроскопічні (сейсмічна маса — фіксована).

За принципом дії розрізняють механічні та електромеханічні акселерометри: у механічних прискорення сприймається маятниковим пристроєм, у якому під його дією виникає відхилення маятника від положення рівноваги, у електромеханічних — тензодавачем, що змінює свій електричний параметр (опір, індуктивність або ємність) залежно від механічної деформації, пропорційної прискоренню. До акселерометрів відносять також вимірювачі прискорень лінійних вібрацій (вібродавачі, віброакселерометри).

Акселерометри використовуються в системах навігації і управління літаків, ракет та інших літальних апаратів, кораблів та підводних човнів; у промислових системах контролю вібрацій верстатів, виробничих ліній та агрегатів; в автомобілях за їх допомогою працюють відеореєстратори, системи розгортання подушок безпеки, антиблокувальні системи гальм, системи курсової стійкості, адаптивні підвіски, адаптивний круїзконтроль тощо.

В інформаційних технологіях акселерометри застосовують для захисту жорстких дисків під час падінь та струсів: акселерометри віддають головкам

зчитування команду зайняти безпечне положення, що значно знижує ризики пошкодження диску і втрати інформації.

У мобільних пристроях акселерометри використовуються для управління розташуванням зображення на моніторі (альбомне чи книжкове), а також для виконання пристроєм певних функцій при зміні його орієнтації у просторі (поворот дисплею, струшування, удар тощо).

1.2.2 MEMS-акселерометри

Ємнісні акселерометри, які використовують технологію MEMS – це найдешевші, найпоширеніші та найменші акселерометри на ринку рисунок 1.9



Рисунок 1.9 — MEMS-акселерометр

Принцип їх роботи полягає в розміщенні вантажу, встановленого на пружинах. Один кінець пружини прикріплений до кришки гребінчастого конденсатора, а інший кінець до нерухомого навантаження. Під впливом сили, що діє на датчик, навантаження переміщається по пружинах, що призводить

до зміни відстані між конденсаторним елементом і землею, впливаючи таким чином на зміну ємності.

Ємнісні акселерометри MEMS застосовуються, головним чином, в переносних пристроях, мобільних приладах та широко поширеній побутовій електроніці. Однією з найбільших переваг акселерометрів MEMS є можливість їх установки безпосередньо на друкованій платі. До недоліків акселерометрів MEMS слід віднести низьку точність вимірювань, особливо у разі вимірювань вищих амплітуд і частот, що робить їх непридатними для спеціалізованих промислових застосувань.

На ринку є багато високоінтегрованих і простих у реалізації продуктів моніторингу стану, які використовують акселерометр мікроелектромеханічної системи (MEMS) як основний датчик. Ці економічно ефективні продукти допомагають знизити загальну вартість володіння та володіння, а також розширюють спектр інструментів та обладнання, які можуть скористатися програмою моніторингу стану. Твердотільні MEMS-акселерометри мають багато привабливих властивостей у порівнянні із застарілими механічними датчиками, але, на жаль, їх використання для моніторингу стану було обмежено додатками, які могли б дозволити використовувати датчики з меншою пропускнуою здатністю для таких продуктів, як недорогі стандартні датчики. Загалом, потужність шуму недостатньо низька для обслуговування діагностичних програм, які потребують меншого шуму в діапазонах вищих частот і пропускання понад 10 кГц. Сьогодні доступні мал шумні MEMS-акселерометри з рівнями щільності шуму від 10 мкг/ $\sqrt{\text{Гц}}$ до 100 мкг/ $\sqrt{\text{Гц}}$, але пропускну здатність обмежена кількома кГц. Це не зупинило передових дизайнерів продуктів від використання MEMS з достатньою шумовою продуктивністю в своїх нових концепціях продукту, і на те є вагомі причини.

Як технологія, заснована на твердотільній електроніці та вбудованих напівпровідникових приладах, MEMS пропонує кілька значних і цінних переваг для розробників продуктів моніторингу стану. Якщо відкинути

коефіцієнт потужності, ось основні причини, чому акселерометри MEMS повинні зацікавити будь-кого в області моніторингу стану.

Сьогодні більш продуктивний тривісний MEMS-пристрій в корпусі для поверхневого монтажу розміром менше 6 мм × 6 мм може важити менше грама. Цей невеликий розмір і високоінтегрований характер багатьох продуктів MEMS також дозволяє дизайнеру зменшити розмір кінцевої упаковки, зменшуючи вагу. Інтерфейс типового MEMS-пристрою є єдиним джерелом живлення, що спрощує керування та використання цифрового інтерфейсу, що також може допомогти заощадити витрати та вагу кабелю. Твердотільна електроніка також може впливати на розмір перетворювача. Менший тривісний форм-фактор, встановлений на друкованій платі (друкованій платі) і розміщений в герметичному корпусі, зручний для монтажу та завершення кабелів на машині, може допомогти створити менший загальний пакет, що забезпечує більшу гнучкість під час збирання та розміщення на машині. платформа. Крім того, сучасні MEMS-пристрої можуть містити значну кількість бортової електроніки для генерації єдиного сигналу напруги, забезпечуючи аналогові або цифрові інтерфейси з дуже низьким споживанням енергії, що дозволяє використовувати бездротові продукти, що живляться від батарейок. Наприклад, акселерометр ADXL345 — це крихітний триосьовий акселерометр із мікроелементом високої роздільної здатності (13 біт). Діапазон вимірювання положення коливається до ± 16 g. Результат вимірювання виводиться у вигляді 16-бітових чисел у додатковому коді та через цифрові інтерфейси SPI/I2C.

Даний акселерометр ADXL345 ідеально підходить для використання в мобільних пристроях — він вимірює статичне прискорення (викликане гравітацією) в задачах визначення відхилення, або динамічне прискорення, викликане рухом або ударами. Заявлена висока роздільна здатність акселерометра ($4 \cdot 10^{-3}$ g / LSB) дозволяє точно відслідковувати зміну

відхилення менш ніж на 1.0° . Режим зниженого енергоспоживання датчика дозволяє реалізувати інтелектуальне управління живленням системи.

Топологія сигнальної схеми MEMS з опціями аналогового та цифрового виводу є загальною і відкриває можливості для розробника перетворювача адаптувати датчик до широкого спектру ситуацій, що дозволяє перейти до цифрових інтерфейсів, які зазвичай доступні в промислових середовищах.

MEMS також продемонстрував свою стійкість до змін навколишнього середовища. Ударні характеристики сучасних пристроїв становлять 10 000 г, але насправді вони витримують набагато більші рівні, не впливаючи на характеристики чутливості. Чутливість може бути знижена на автоматичному випробувальному обладнанні (ATE) і спроектована та сконструйована так, щоб вона була стабільною за часом і температурою до $0,01^\circ\text{C}$ для датчика високої роздільної здатності. Загальна продуктивність, включаючи характеристики зсуву, може бути гарантована для широкого діапазону температур, наприклад від мінус 40°C до плюс 125°C . Для монолітного тривісного датчика з усіма каналами на одній підкладці зазвичай вказується поперечна чутливість 1%. Нарешті, як пристрій для вимірювання гравітаційного вектора, акселерометр MEMS має відгук постійного струму, який підтримує вихідну щільність шуму поблизу постійного струму, яка обмежена лише $1/f$ кута генерації електронного сигналу та може бути зведена до 0,01 Гц при ретельному проектуванні.

В даний час існує величезний інтерес та інвестиції в технологію MEMS для багатьох застосувань. Продуктивність MEMS продовжуватиме різко покращуватися, надаючи більше можливостей для розробників обладнання для моніторингу стану та створюючи нове покоління розумних датчиків, бездротових датчиків та недорогих вертикально інтегрованих систем.

2 АКУСТИЧНІ СИГНАЛИ ТА ПРИЛАДИ ДЛЯ ЇХ ПЕРЕТВОРЕННЯ

2.1 Моделі акустичних сигналів

При визначенні акустичних сигналів та звуків маємо справу з індивідуальним відчуттям «хорошого звуку», що формується особистим досвідом та оцінкою звучання по суб'єктивним критеріям.

При роботі з акустичними сигналами їх поділяють на два види, це первинний та вторинний звуковий сигнал.

До первинного звукового сигналу відносять сигнали, що створюються співом, ромовою, музикальними інструментами та шумовий сигнал. Первинний сигнал також називають вихідним сигналом.

До вторинного сигналу – відносять той сигнал, що відтворюється електроакустичними пристроями, тобто первинний сигнал, що зазнав обробку електроакустичними пристроями.

До параметрів, що характеризують акустичний сигнал відносять динамічний діапазон, форму спектра та частотний діапазон на якому він розташований, рівень сигналу в частотному та часовому уявленнях, час кореляції та середнє значення рівнів.

2.1.1 Діапазони: динамічний, середній, частотний

Динамічний діапазон — це співвідношення між найбільшим і найменшим можливими значеннями якості, що може бути змінена, такої як в сигналах на кшталт звуку і світла. Він вимірюється як співвідношення або за базою 10 dB або 2 (дублювання, біти чи стопи) логарифмічне значення.

Для визначення розмірності величини, що характеризує динамічний діапазон сигналу, використовують децибели(дБ). Він дорівнює 20 десятковим логарифмів від квадрата максимальної різниці рівнів сигналу. Гучність звуку являється лише суб'єктивним поняттям, на практиці рівні гучності також вимірюють в децибелах.

Приклади динамічного діапазону для різних видів сигналу:

- розмова диктора — від 25 dB до 35 dB;
- телефонна розмова — від 35 dB до 45 dB;
- невеликий ансамбль — від 45 dB до 55 dB;
- симфонічний оркестр — від 65 dB до 75 dB.

Середній рівень інтенсивності сигналу можна визначити декількома способами. Це по слуховому відчутті (суб'єктивне середнє значення), середній статистичний по інтенсивності для тривалих інтервалів часу (середнє тривале), або як середній, вимірюваний прибором, що має невелике значення постійної часу (об'єктивне середнє). Для вторинних сигналів достатньо визначити лише середній рівень по відчуттю, коли як для первинного сигналу потрібно знати всі середні рівні, тому що ці сигнали надходять до людини через пристрої систем зв'язку та сповіщення.

Пік-фактором зображає наскільки нижче потрібно брати середній рівень передачі по відношенню з максимальним допустимим рівнем в каналі, щоб не перевантажувати його. Для музикальних сигналів пік-фактор сягає 20Дб та більше. Для розмовного сигналі він не перевищує 12Дб. Ці данні пік-фактору відносяться до сигналу, що не проходив обробку, в тому числі і в вигляді впливу акустичних властивостей приміщення

Акустичний сигнал від кожного з первинних джерел звуку, що використовуються в системах мовлення та зв'язку, як правило, має форму і склад спектру, що безперервно змінюються. Спектри можуть бути високо та низькочастотними, дискретними та суцільними. У кожного джерела звуку, навіть того самого типу (наприклад, скрипка в оркестрі), спектри мають індивідуальні особливості, що надає звучанню характерного забарвлення. Це забарвлення називають тембром. Існують поняття тембру скрипки, тромбону, органу тощо, а також тембру голосу: дзвінкий, коли підкреслено високочастотні складові; глухий, коли вони пригнічені. У першу чергу цікавий середній спектр для джерел звуку кожного типу, а для оцінки спотворень

сигналу-спектр, усереднений за тривалий інтервал часу (15 с для інформаційних сигналів і 1 хв для художніх). Усереднений спектр може бути, як правило, суцільний і досить згладжений формою.

Суцільні спектри характеризуються залежністю спектральної густини від частоти (цю залежність називають енергетичним спектром). Спектральна щільність називається інтенсивність звуку в смузі частот шириною, що дорівнює одиниці частоти. Для акустики цю смугу беруть 1 Гц. Спектральна щільність.

2.1.2 Розмовні сигнали: первинний та вторинний

У кожного свій спосіб вимови розмовних звуків. Вимова розмовних звуків залежить від акценту, довколишніх шумів тощо. Незважаючи на всю різноманітність у вимові звуків — фізичне виконання обмеженої кількості узагальнених розмовних звуків називають фонемами. Фонема — це те, що людина хоче сказати, а звук — це те, що вона може вимовити. В принципі, це нагадує букву та її письмовий варіант, тобто різне написання кожної літери людиною.

Інтонція — зміна частоти основного тону. Кожен має свій діапазон висоти та інтонації. Інтонція важлива для розпізнавання того, хто говорить. Розробляються системи розпізнавання облич для основного тону, інтонації, усного «почерку» та тембру голосу. Рівень розпізнавання вищий, ніж відбиток пальця.

Імпульси основного тону мають пилкоподібну форму, тому при періодичному повторенні отримуємо дискретний спектр з великою кількістю гармонік (до 40), частоти яких кратні частоті основної.

При виголошенні глухих звуків голосові зв'язки перебувають у розслабленому стані, а потік повітря від легенів до рота безперешкодний. Зустрічаю різні перешкоди у вигляді язика, зубів, губ, утворюється поворот. В результаті утворюється шум, який має суцільний спектр.

При вимові звуків ротова порожнина (язик, губи, зуби, нижня щелепа) перебуває у певному положенні або русі. Ці рухи називають артикуляцією органів розмови. При цьому створюються певні, для даної фонемі, резонансні простори, а для цілісного звучання фонем при переходах розмови з однієї форми шляху в іншу визначаються.

Під час розмови тональний імпульс або шумовий сигнал проходить через розмовний тракт людини, або перший і другий разом. Мовний тракт являє собою досить складну фільтруючу систему з безліччю резонаторів, утворених порожнинами рота, носа і носоглотки. Це перетворює тональний або шумовий спектр у спектри з декількома піками і спадами з монотонною огинаючої. Форманта — максимум цього спектру, а також мінімальне і нульове значення називаються фонтиформантами. Спектр огинаючої для кожної фонемі має індивідуально визначену форму. Під час розмови її спектр постійно змінюється, створюючи формантні переходи. Діапазон частот дзвінка знаходиться в діапазоні від 70 до 7000 Гц.

В ідеалі вторинний сигнал повинен точно повторювати первинний сигнал, але така точність не завжди потрібна, оскільки людське вухо може не помітити різниці між ними, до того ж на практиці точна відповідність сигналів неможлива.

Порушення точності передачі, які можна виявити на слух — це втрата акустичної перспективи. Під час передавання звуку по одноканальній системі ми відчуваємо, що чуємо одним вухом, навіть якщо в кімнаті є кілька мікрофонів і коли бічні джерела розсіюються помилковими сигналами. Цей недолік частково долається стереосистемою на основі багатоканальної системи передачі сигналу.

У діапазоні частот часто буває, що акустична доріжка не може передавати повний частотний діапазон первинного сигналу, що призводить до подібних проблем із динамічним діапазоном;

Під час очікування сигнал піддається різним видам перешкод, включаючи шум від електричних та акустичних джерел. Акустичні перешкоди спостерігаються як при прийомі первинного сигналу, так і при прийомі слухачем;

До викривлень належать лінійні, нелінійні, параметричні та перехідні (тимчасові) спотворення.

2.1.3 Шуми та завади

Вплив шуму та перешкод на сигнал заснований на маскуванні вторинного акустичного сигналу, незалежно від його акустичної чи електричної природи. Шум зміщує незалежний від часу поріг виявлення, коли шум «плавний». Вони мають пік-фактор не більше 6 дБ. До них належать різні шуми коливань. Часткові шуми, шуми розмови кількох мовців, які говорять одночасно. У свою чергу, імпульсний шум створює поріг чутності, який змінюється з часом залежно від пікового коефіцієнта шуму та тривалості імпульсів. Вони не тільки маскують сигнал, але й спотворюють його, створюючи комбінації частоти сигналу та шуму.

Спектр електричного шуму майже рівномірний, а акустичний – ближчий за структурою до мови. З цієї причини частотна залежність порогу чутливості до електричних шумів має тенденцію до збільшення в бік високих частот, оскільки ширина критичних полюсів збільшується зі збільшенням частоти. У разі розмовних шумів поріг чутливості майже не залежить від частоти.

Крім тональних, промислові, атмосферні та стаціонарні перешкоди можуть бути також імпульсними і плавними, з однорідним або низькочастотним спектром. На додаток до цих збоїв, ви також повинні враховувати збої в самомаскуванні розмови, коли слабкі звуки маскуються завершуючими голосними.

Зазвичай проблеми з акустичним шумом вирішуються шляхом очищення або зменшення впливу джерела шуму та підвищення звукоізоляції приміщення.

2.1.4 Викривлення: лінійні, не лінійні, перехідні

Лінійні викривлення — обумовлені відхиленнями частотних характеристик від ідеальних у робочому діапазоні частот.

Лінійні викривлення викликані наявністю в ланцюгах підсилювача реактивних елементів і інерційних властивостей напівпровідникових приладів;

Коефіцієнт передачі залежить від частоти, оскільки вухо не реагує безпосередньо на зсув фаз між компонентами сигналу, це не враховується. Термін «коефіцієнт передачі» означає його модуль.

Нелінійні викривлення — обумовлені наявністю в підсилювачі елементів із нелінійними вольт-амперними характеристиками;

Потворення, викликані обмеженнями амплітуди зверху, менше заважають сприйняттю сигналу, а при центральних обмеженнях більше, ніж поступові спотворення у вигляді гармонічних складових викликають деренчання (а на високих частотах деренчання), а нелінійні спотворення у вигляді тональних відмінностей створюють модульні відчуття. Звук, його добре видно на низьких частотах.

Для стиснення динамічного діапазону використовуються різні автоматичні регулятори рівня. Вони мають велику постійну часу відновлення і викликають спотворення, які називаються перехідними процесами.

Перехідні процеси утворені власними вібраціями, що генеруються в різних частинах тракту. Перехідні спотворення подібні до нелінійних через комбінацію частот, присутніх у сигналі.

2.1.5 Критерії оцінки звучання

Особливістю всіх процесів обробки звуку є те, що кроком є суб'єктивна оцінка якості звуку. Це, в свою чергу, виправдовується тим, що набір об'єктивних параметрів, що використовуються в даний час, неоднозначно характеризує «слуховий образ», який сприймається слухачем. Ці параметри включають діапазон частот і рівень нелінійних викривлень, нерівномірність амплітудно-частотної характеристики.

Тому суб'єктивна перевірка є основним критерієм оцінки результату обробки сигналу і обов'язковою процедурою на всіх етапах запису та обробки сигналу. Це залежить від багатьох факторів, серед яких вибір текстових програм, методи відбору та обробки результатів, параметри приміщення.

Для мовного сигналу розбірливість компонента є одним із найважливіших суб'єктивних критеріїв.

Важливо розрізняти інформаційні та художні бесіди. Інформаційна бесіда включає оголошення, звіти та інші подібні види. Для такого типу сигналу не так важливо передати інтонацію співрозмовника. Для другого типу це має деяке естетичне значення. Іншими словами, для такої розмови критерії запису та обробки сигналу дуже схожі на музичний. Читабельність залежить від шуму та корисного рівня сигналу, а також від акустичних властивостей приміщення.

Єхо це повторення звукового сигналу, при яких первинний та вторинний сигнали сприймаються в часі (в деяких випадках і в просторі), як самостійні слухові об'єкти.

Якщо повторення сигналу спричинене відбиттям, то для роздільного його сприйняття необхідна затримка в часі приблизно 50мс., в залежності від виду сигналу. В випадках коли періодичні повторення сигналу наступають так швидко один за одним, що не сприймаються вухом як окремі сигнали, говорять про багаторазове єхо.

2.2 Вибір приладу для перетворення та обробки акустичних сигналів

2.2.1 Призначення та класифікація фільтрів

Термін «частотна корекція» означає збільшення або зменшення рівня спектральних складових сигналу у вибраному діапазоні без додавання нових компонентів до вибраної смуги сигналу.

Потреба в частотній корекції виникає, коли ми стикаємося з поганими акустичними властивостями приміщення, в якому ми записуємо акустичний сигнал. Наприклад, тверда поверхня стін і підлоги може викликати небезпеку спотикання, що, у свою чергу, призводить до втрати розбірливості. Пристрої частотної корекції діють як сполучна ланка між звуком звукових систем і реакцією приміщення на звуковий сигнал.

У всіх студіях звукозапису використовуються частотні коректори. Вони допомагають вирішувати технічні проблеми, такі як зменшення низькочастотного шуму, корекція амплітудно-частотних характеристик мікрофонів та обмеження смуги звукового шляху. Ці системи все частіше використовуються для вирішення творчих завдань, таких як створення художніх звуків, надання звуку нового забарвлення тощо.

Обробка сигналів за допомогою цифрових пристроїв почалася відносно недавно через їх високу вартість, високу вартість ресурсів і складність. Сигнали оброблялися за допомогою аналогових пристроїв, але такі пристрої додавали в сигнал частотний зсув (при проходженні певних частот через фільтр вони затримувалися).

2.2.2 Базові цифрові фільтри

Цифровий фільтр — це поняття в електроніці, будь-який фільтр, який обробляє цифровий сигнал з метою відокремлення та/або придушення певних частотних складових цього сигналу. На відміну від цифрового фільтра, аналоговий фільтр має справу з аналоговим сигналом, його властивості

недискретні, відповідно передатна функція залежить від внутрішніх властивостей складових його елементів.

Сьогодні цифрові фільтри використовуються майже скрізь, де потрібна обробка сигналу, включаючи спектральний аналіз, обробку зображень, обробку відео, обробку мови та звуку та багато інших додатків.

Для попередньої обробки звукового сигналу в дипломній роботі використовується цифрова фільтрація, вона застосовується практично всюди, де потрібна обробка сигналів, зокрема у спектральному аналізі, обробці зображень, обробці відео, обробці мови та звуку і багатьох інших додатках.

Перевагами цифрових фільтрів перед аналоговими є:

- висока точність (точність аналогових фільтрів обмежена допусками на елементи);
- на відміну від аналогового фільтру передавальна функція не залежить від дрейфу характеристик елементів;
- гнучкість налаштування, легкість зміни;
- компактність — аналоговий фільтр на дуже низьку частоту (долі герца, наприклад) вимагав би надзвичайно громіздких конденсаторів або індуктивностей.

Розглянемо недоліки цифрових фільтрів у порівнянні з аналоговими.

Важкість роботи з високочастотними сигналами. Смуга частот обмежена частотою Найквіста, рівною половині частоти дискретизації сигналу. Тому для високочастотних сигналів застосовують аналогові фільтри, або, якщо на високих частотах немає корисного сигналу, спочатку придушують високочастотні складові за допомогою аналогового фільтру, потім обробляють сигнал цифровим фільтром.

Важкість роботи в реальному часі — обчислення мають бути завершені протягом періоду дискретизації.

Для більшої точності та високої швидкості обробки сигналів потрібен не тільки потужний процесор, але і додаткове, можливо високовартісне, апаратне забезпечення у вигляді високоточних та швидких ЦАП і АЦП.

2.2.3 Всепропускні фільтри 1 та 2 порядків

Всепопускний фільтр — основа для побудови параметричних фільтрів. Вони допомагають самостійно змінювати частоту зрізу, якість і передачу. На основі одного або двох (частіше використовуваних) елементів затримки. Він використовує прямий і зворотний зв'язок.

2.2.4 Параметричні фільтри

Параметричні фільтри низьких і високих частот, смугові і режекторні фільтри побудовані на основі всіх фільтрів 1-го і 2-го порядку з додатковим прямим зв'язком.

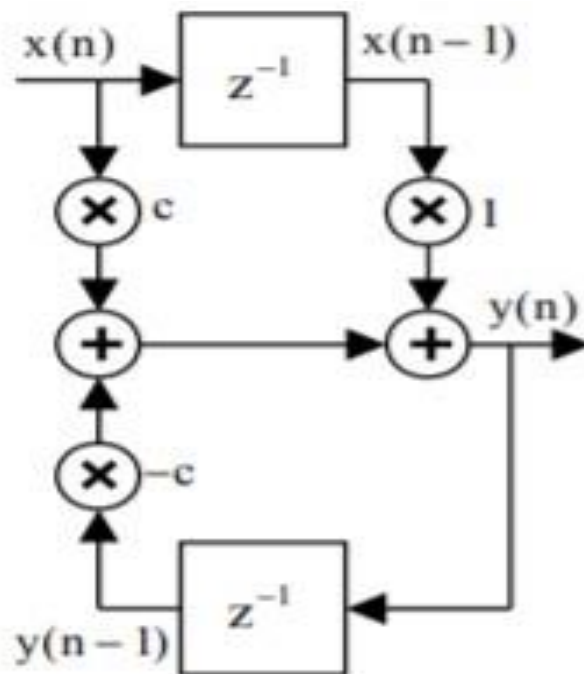


Рисунок 2.1 — Все пропускний фільтр 1го порядку.

У фільтрах нижніх і високих частот першого порядку використовуються всі фільтри пропускання першого порядку (рисунок 2.1). Якщо вихідний

сигнал додати до входу, то отримаємо фільтр нижніх частот, якщо його відняти – фільтр високих частот. Функція передачі з плавною зміною частоти зрізу:

2.2.5 Кросовери

Кросовер — клас електронних фільтрів, що використовується у звукових технологіях високого класу. Головним чином кросовери використовуються у двох випадках — в акустичних системах та при багатоканальній обробці звуку. Кросовер розділяє звуковий спектр на кілька частотних смуг, кожна з яких надходить до окремого динаміка в акустичній системі, або обробляється звуковими ефектами при обробці аудіо.

Визначення ідеального кросоверу залежить від характеру використання. Якщо розділені частотні смуги планується змішувати знов (при багатоканальній обробці), ідеальний кросовер повинен розділити спектр таким чином, щоб смуги не перекривали й не взаємодіяли одна з одною, а сумарний сигнал не відрізнявся частотою, амплітудою та фазою. Практично такий режим є недосяжним, проте може бути реалізованим у наближенні. Якщо ж кросовер призначено для відтворення на акустичних системах, то його робота повинна бути скоординована з драйвером динаміків й залежати від їх характеристик, тому вимога математичного ідеалу до самого по собі кросоверу відпадає.

3 ЗАПИС АУДИО СИГНАЛУ НА ОСНОВІ АКСЕЛЕРОМЕТРА

3.1 Опис приладів, що використовувалися в роботі

За основу розробки системи обробки акустичного сигналу була використана плата контролера Arduino UNO R3 на базі мікроконтролера ATmega328. На Рисунок 3.1 зображено його зовнішній вигляд



Рисунок 3.1 — Зовнішній вигляд плати контролера Arduino UNO R3 на базі мікроконтролера ATmega328

Його вибрали за простоту використання та доступність. Тактова частота мікроконтролера становить 16 МГц, а це означає, що під час розмови також можна записати звуковий сигнал частотою до 1000 Гц. Цей пристрій дозволяє легко підключити його до комп'ютера для запису програмного забезпечення на мікроконтролер і зручно знімати сигнал з підключених до нього датчиків. Напруга живлення становить 5 В. Через це він не потребує додаткового

джерела живлення, отриманого від провідника, який також використовується для передачі та запису даних.

Плати контролерів Arduino зараз дуже популярні у використанні, тому вони дуже універсальні, коли справа доходить до вибору датчиків.

Як чутливий елемент використовувався трьохвісний акселерометр GY-291 3DOF на контролері ADXL345, рисунок 3.2.

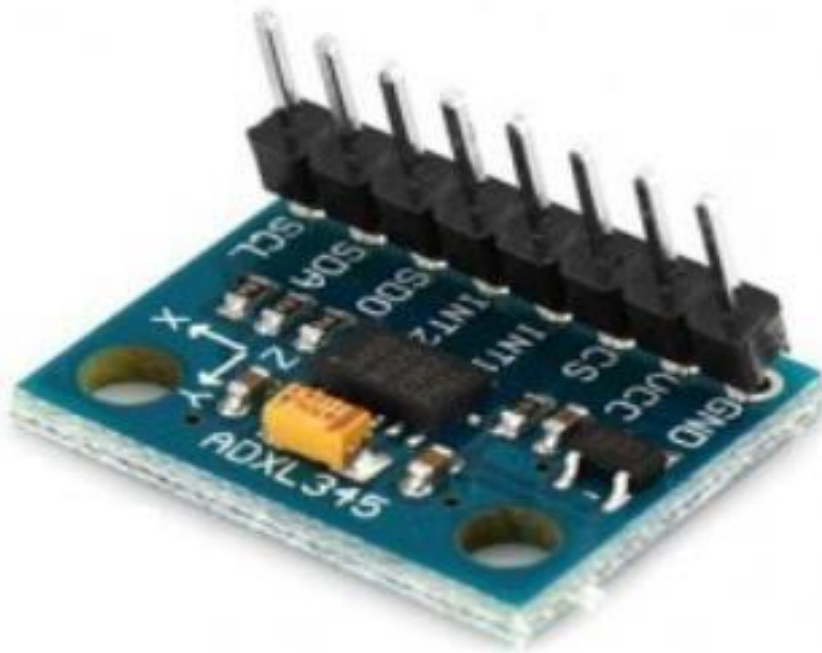


Рисунок 3.2 — Трьохвісний акселерометр GY-291 3DOF на контролері ADXL345

Цей прилад є універсальним, так як в одному корпусі є триосьовий акселерометр, триосьовий гіроскоп і датчик температури. Для завершення дипломної роботи використовувався датчик прискорення. Його максимальна чутливість складає $\pm 16g$, а заявлена максимальна швидкість передачі даних – 3200Гц.

Напруга живлення датчика дозволяє використовувати його з контролером Arduino на платі на вході живлення 5 В.

Щоб оцифрувати аналоговий сигнал, частота дискретизації повинна бути принаймні вдвічі більшою за частоту сигналу. Виходячи з цього, швидкість передачі даних достатня для використання цього датчика як пристрою для запису аудіосигналу, що містить людську розмову.

3.2 Опис пристрою для запису сигналу

При розробці пристрою використано чотири контакти чутливого елемента. VCC — джерело живлення чутливого елемента. Він був відповідно підключений до виходу VCC на платі Arduino, яка має напругу 5 В. Вивід GND був підключений до контакту GND на платі Arduino. Виводи SCL і SDA також були підключені до висновків SCL і SDA на платі Arduino. Зовнішній вигляд зображено на рисунку 3.3

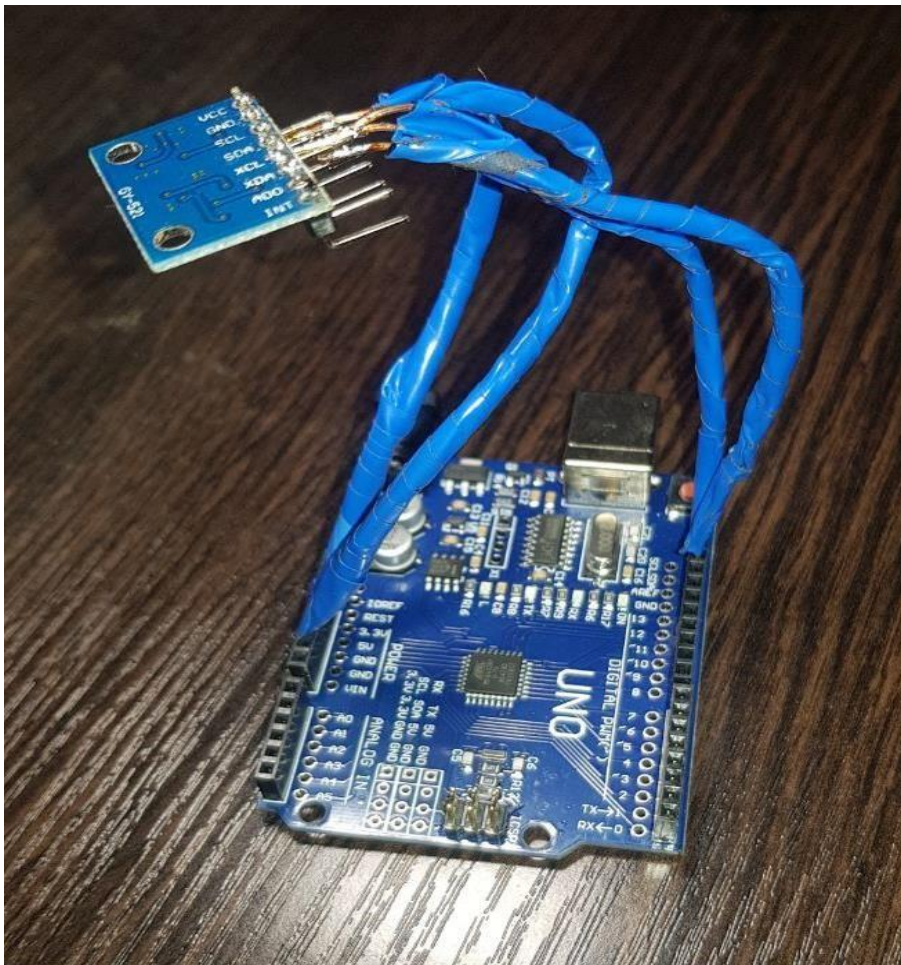


Рисунок 3.3 — Зовнішній вигляд пристрою

Для запису програмного забезпечення та вилучення даних із сенсорного елемента використовувалося програмне забезпечення Arduino. В додатку Б наведена програма для запису та отримання даних з пристрою.

Для запису сигналу використовується лише одна вісь акселерометра. Чутливий елемент наноситься на верхню частину горла людини. Це місце було обрано завдяки наявності в цій частині яскраво вираженої вібрації м'яких тканин тіла під час розмови. Програма активована. Після завершення запису дані передаються до файлу Data.txt.

У файл записується матриця, що складається з двох стовпців. Перший – це значення прискорення сенсорного елемента під час розмови. У другому стовпці зберігається значення часу, який починається від моменту запису сигналу до моменту його припинення. Він використовується для практичного знаходження частоти запису значень сигналу.

3.3 Опис алгоритму обробки

Після запису сигналу від датчика дані обробляються в середовищі MatLab. Програмний код обробки сигналу показаний нижче.

Код програми обробки сигналу в середовищі MatLab наведено в додатку В.

Під час роботи сигналу для видалення шумів використовувалися низькочастотні та високочастотні фільтри, а з сигналом, записаним за допомогою мікрофона в програмі Telegram, використовувалися амплітудні коефіцієнти записаного сигналу.

Після обробки сигнал був перетворений у формат .WAV для прослуховування на аудіопристроях та програмах загального призначення.

Відразу після запису сигналу він виглядає як на рисунку 3.4. На зображенні нижче помітно, що значення сигналу зміщено відносно осі X, оскільки на чутливий елемент впливає прискорення вільного падіння.

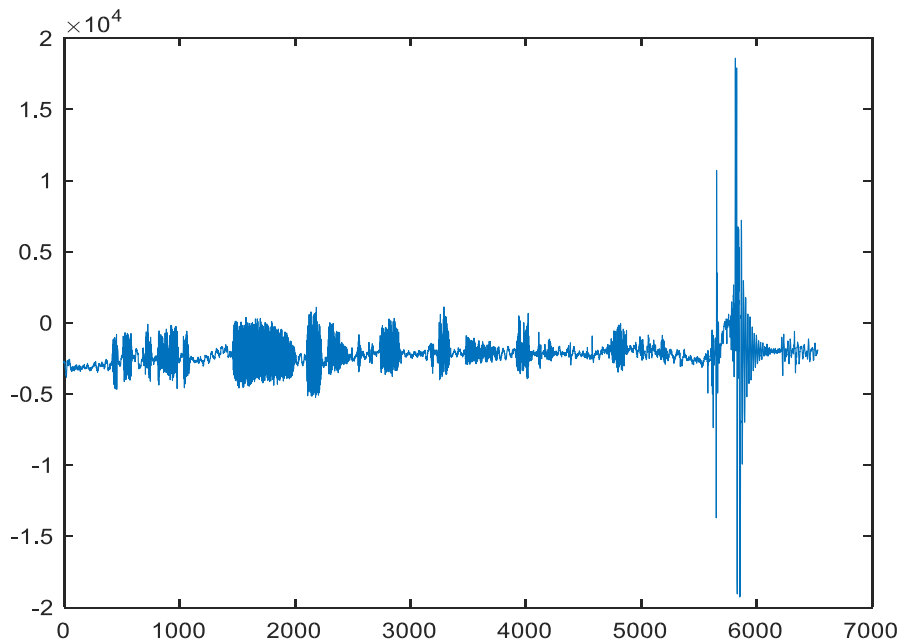


Рисунок 3.4 — Графік початкового сигналу

Також в кінці можна помітити чітке збільшення амплітуди, викликане зняттям чутливого і припиненням запису сигналу. Порівняно з прискоренням, що виникає в результаті дії датчика вібрації тіла, ефекти, викликані переміщенням датчика в просторі внаслідок руху розмовника, мають велику амплітуду рисунок 3.5

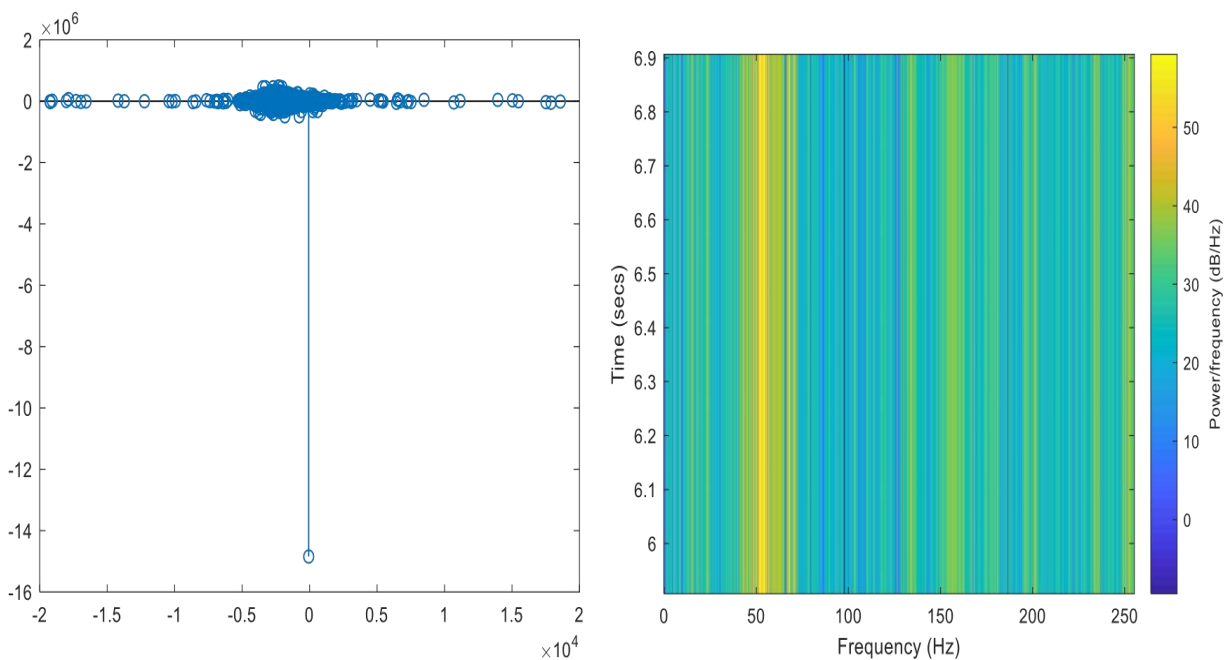


Рисунок 3.5 — АЧХ та спектрограма вхідного сигналу

Сплеск, викликаний переміщенням сенсорного елемента в просторі, ускладнює сприйняття сигналу як на спектрограмі, так і в частотній характеристикі. З метою покращення сприйняття сигналу в момент корекції та попередньої обробки сигналу було вирішено відрізати кінець вектора, який є значенням при видаленні чутливого елемента.

Після відсікання кінцевих значень і регулювання сигналу відносно осі X отриманий сигнал набуває такого вигляду, як показано на рисунку 3.6 і 3.7.

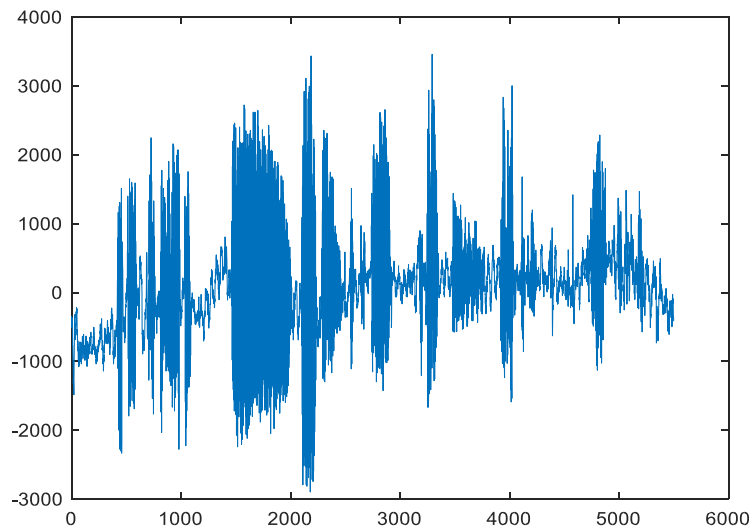


Рисунок 3.6 — Вхідний сигнал після коректування вектора

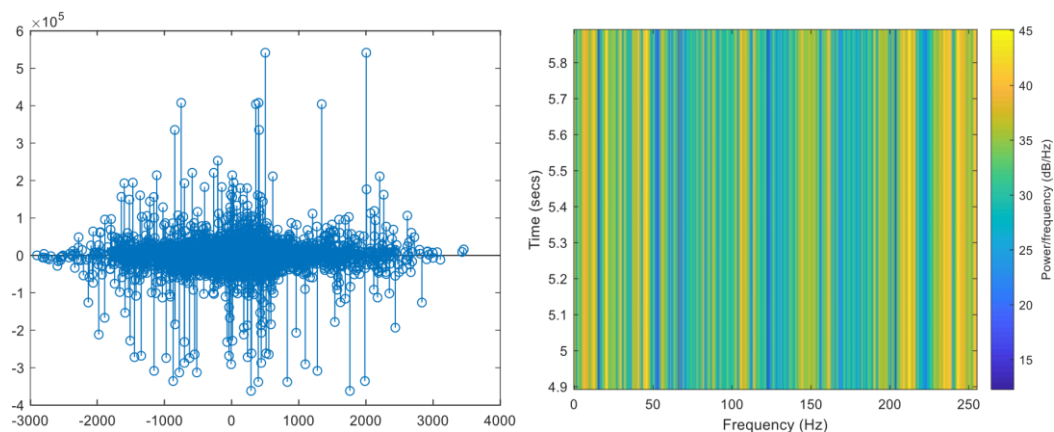


Рисунок 3.7 — АЧХ та спектрограма вхідного сигналу після коректування вектора

На рисунку 3.7 ми бачимо, що незважаючи на те, що абонент намагався не переміщати датчик у просторі під час запису сигналу, сигнал показує зсув рівня землі відносно осі X, що пов'язано з тим, що датчик фіксує серцебиття, викликане діяльністю людини. На цьому етапі ми спостерігаємо широкий діапазон частот сигналів, як показано на рисунку 3.7.

Після обробки сигналу низькочастотним і високочастотним фільтрами зовнішній вигляд графіка сигналу нагадує сигнал, записаний на телефоні в програмі Telegram за допомогою звичайного пристрою для запису акустичних сигналів. Результат показаний на рисунку 3.8

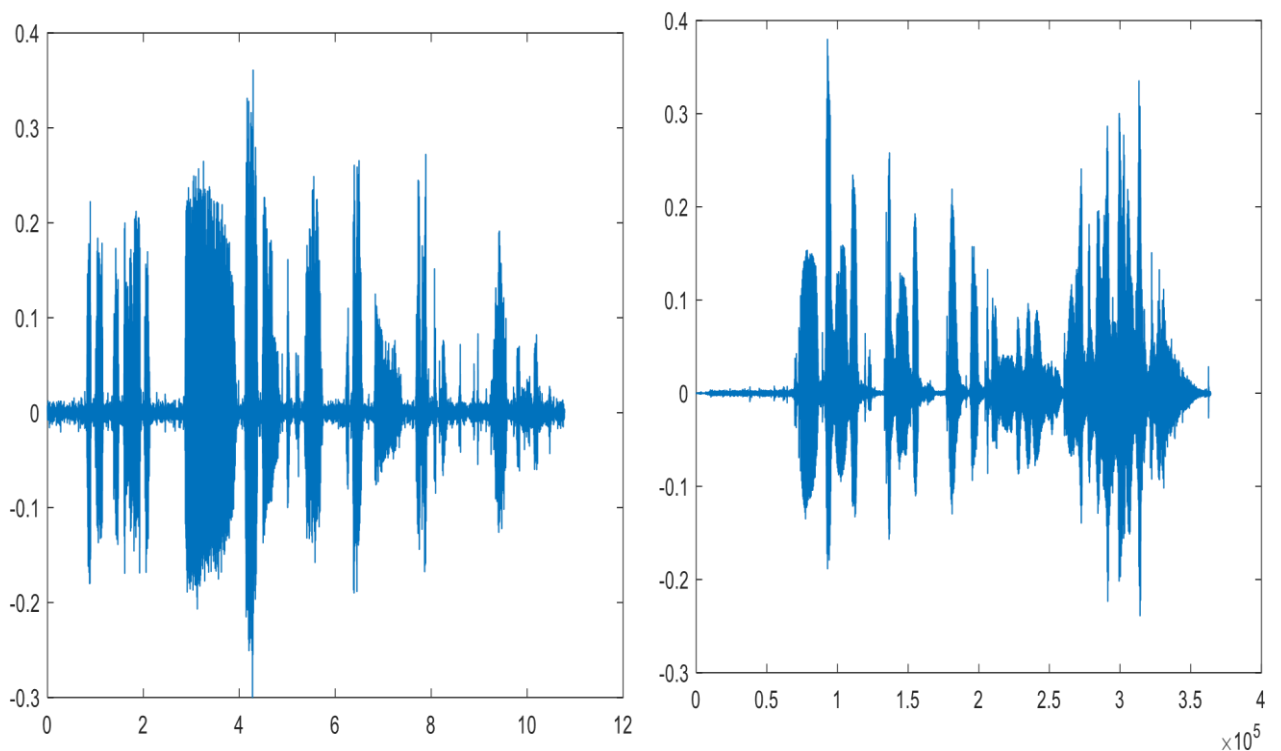


Рисунок 3.8 — Зображенні сигналу записаного в Telegram та сигналу записаного з допомогою розроблюваного пристрою

На показаних вхідних зображеннях сигнал обробляється фільтрами та розташовується на осі X відповідно до часу запису. На цих зображеннях вражає те, що сигнал, записаний у Telegram без шуму, має на порядок менше шуму, ніж сигнал, записаний акселерометром. Справедливості заради зазначу,

що звукова інформація на сигналі Telegram і сигналі, записаному акселерометром, відрізняється.

Амплітудно-частотні характеристики спектрограм вхідного сигналу і сигналу з телеграма показані на рисунках 3.9 і 3.10. Зображення АЧХ показує, що діапазон частот в сигналі, зареєстрованому датчиком, більше, ніж діапазон частот у сигналі з телеграми. Крім того, амплітуда сигналу на порядок менша за сигнал, записаний звичайним методом.

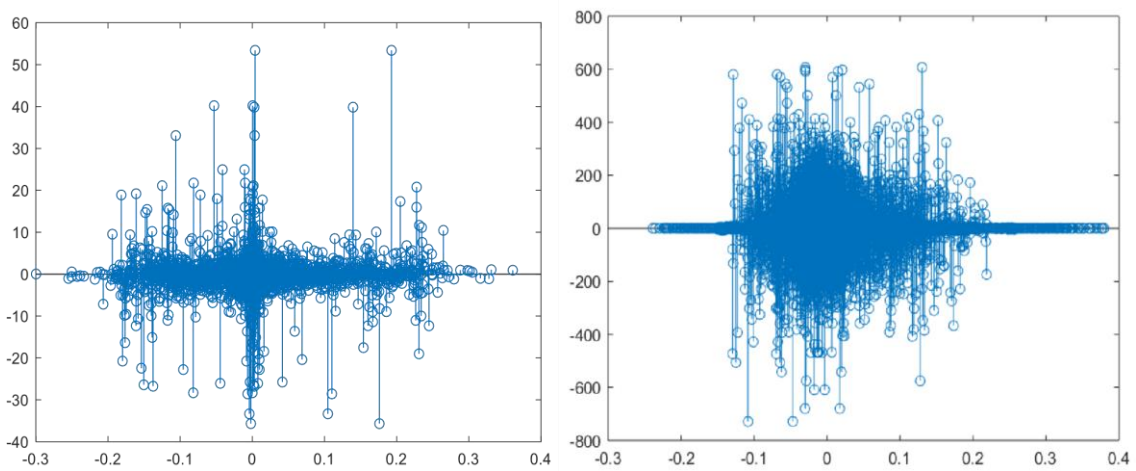


Рисунок 3.9 — АЧХ вхідного сигналу та сигналу з Telegram

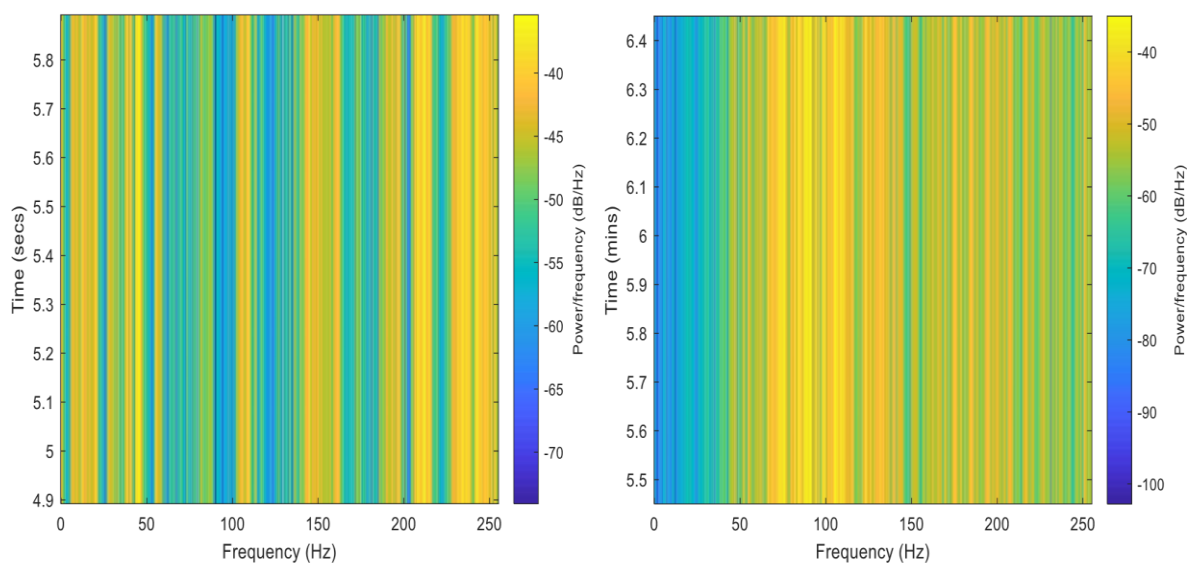


Рисунок 3.10 — Спектрограма вхідного сигналу та сигналу з Telegram

Спектрограми сигналів, показані на рисунку 3.10, підтверджують це. Ми бачимо, що оброблений сигнал має шум на частотах до 50 Гц і нестабільну структуру на частотах вище.

ВИСНОВКИ

Даний дипломний проект являє собою проектування та програмування автоматизованої системи обробки акустичних сигналів, виконаної з використанням не типового чутливого елемента. В ролі чутливого елемента виступає мікромеханічний акселерометр GY-291. Основою для підключення чутливого елемента та знаття з нього сигналу являє собою плата-контроллер Arduino UNO R3 на базі мікроконтроллера Atmega328. Програма для підключення датчика та знаття з нього сигналу виконувалась в середовищі Arduino IDE мовою C++. Обробка, знятого сигналу проводилась в середовищі MATLAB.

Для досягнення мети роботи було виконано всі поставлені задачі.

Розглянуто та зроблено аналіз існуючих системи для розпізнавання та запису аудіо сигналу. Розглянуто їх принципи роботи, основні переваги і недоліки.

Також розглянуто призначення, застосування та принцип дії акселерометрів.

Для роботи вибрано трьохвісний MEMS-акселерометр. Найбільшою перевагою MEMS-пристроїв є можливість їх установки безпосередньо на друкаваній платі.

Розглянуто моделі акустичних сигналів та вибрано прилади для їх перетворення та обробки. Для цього була використана плата контролера Arduino UNO R3 на базі мікроконтроллера ATmega328. Як чутливий елемент використаний трьохвісний акселерометр GY-291 3DOF на контролері DAXL345.

Описаний алгоритм обробки звуку. Після запису сигналу від датчика дані обробляються в середовищі MatLab.

Розроблено програмне забезпечення запису аудіо сигналу на основі акселерометра. Побудований макет та програми для знаття та обробки сигналу.

Проведено тестування розробленого апаратно-програмного комплексу.

Вказано недоліки та переваги даної системи обробки аудіо сигналів та описаний алгоритм роботи.

Незважаючи на недоліки в складності системи, вона має великі переваги, оскільки запис сигналу відбувається за рахунок вібрацій корпусу динаміка. Це запобігає появі шуму в шумному середовищі.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Ларингофон <https://ru.wikipedia.org/wiki/Ларингофон>
2. Кнопка мікрофон <https://rg-gaming.ru/kompjutery/zachem-knopka-na-naushnikah>
3. Динамічний мікрофон <http://tribuna.com.ua/648-shcho-take-dinamichniy-mikrofon-plyusi-i-minusi-pristroyu.html>
4. Конденсаторний мікрофон https://uk.wikipedia.org/wiki/Конденсаторний_мікрофон
5. Вугільний мікрофон https://uk.wikipedia.org/wiki/Вугільний_мікрофон
6. MEMS-акселерометри <https://habr.com/ru/post/431566/>
7. Розмовні сигнали <https://mydocx.ru/10-107239.html>
8. Критерії оцінки звучання <https://studfile.net/preview/9476585/page:3/>
9. діапазони звуку https://en.wikipedia.org/wiki/Hearing_range
10. Базові цифрові фільтри [Електронний ресурс] https://123.physics.ucdavis.edu/week_5_files/filters/digital_filter.pdf
11. Параметричні фільтри [Електронний ресурс] <https://www.presonus.com/learn/technical-articles/What-Is-a-Parametric-Eq>
12. Вугільні мікрофони [Електронний ресурс] <https://www.britishtelephones.com/trans16.htm>
13. Шуми та завади [https://eng.libretexts.org/Bookshelves/Electrical_Engineering/Introductory_Electrical_Engineering/Electrical_Engineering_\(Johnson\)/06%3A_Information_Communication/6.08%3A_Noise_and_Interference](https://eng.libretexts.org/Bookshelves/Electrical_Engineering/Introductory_Electrical_Engineering/Electrical_Engineering_(Johnson)/06%3A_Information_Communication/6.08%3A_Noise_and_Interference)
14. Призначення та класифікація фільтрів <https://electricalfundablog.com/filters-classification-characteristics/>

ДОДАТОК А

Технічне завдання

Міністерство освіти і науки України

Вінницький національний технічний університет

Факультет інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії

Кафедра обчислювальної техніки

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ОТ

проф., д.т.н.. Азаров О.Д..

" " 2022 р.

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

на виконання бакалаврської дипломної роботи

“ Апаратно-програмний комплекс запису аудіо сигналу на основі акселерометра”

08-23.БДР.016.00.000 ТЗ

Науковий керівник: доцент к.т.н.

_____ Ткаченко О. М.

Студент групи 1КІ-186

_____ Федоров С.Ю.

м. Вінниця – 2022

ДОДАТОК Б

Лістинг отримання даних з пристрою

```

#include "Wire.h" const
int MPU_ADDR=0x68;
int16_t accel_x;
char
tmp_str[7]; int
num=0,
Time=0;
char*
convert_int16_to_str(int16_t
i){    sprintf(tmp_str,"%6d",i);
return tmp_str;
}
void          setup()
{  Serial.begin(74880);
Wire.begin();
Wire.beginTransmission(MPU_ADDR);
Wire.write(0x6B);
Wire.write(0);
Wire.endTransmission(true);
}
unsigned long time;
void          loop()
{  time=millis();
Wire.beginTransmi
ssion(MPU_ADD
R);
Wire.write(0x3B);

```



```
Wire.endTransmission(false);  
Wire.requestFrom(MPU_ADDR, 7*2, true);  
accel_x          =          Wire.read()<<8          |          Wire.read();  
Serial.print(convert_int16_to_str(accel_x));  
Serial.print(convert_int16_to_str(time));  
Serial.println(); }
```

ДОДАТОК В

Лістинг сигналу в середовищі MATLAB

```

clc clear all
%% 1) Зображення сигналу з акселерометра
M=dlmread('Data.txt'); %% файл який зчитуємо
Signal = M(:,1);
fd = 510; figure(1) %Plot original signal plot(M) figure(2)
Xa=fftshift(fft(Signal)); stem(Signal,Xa)
figure(3)
spectrogram(Signal,Xa,1000,1000,fd)
%% 2) обрізка сигналу та центрування по осі "X" cutmin= 1;
%% значення до якого сигнал обрізається
cutmax= 5500;
%% значення після якого сигнал обрізається
% cut signal
Signal=Signal(cutmin:1:cutmax);
% center signal
Mean=mean(Signal);
Signal=Signal-Mean;
figure(4) %Plot original signal plot(Signal)
figure(5)
Xa=fftshift(fft(Signal)); stem(Signal,Xa)
figure(6)
spectrogram(Signal,Xa,1000,1000,fd)
%% record telegramm signal
[B,FS]=audioread('recording_voice.ogg'); figure(10) plot(B) figure(11)
Xb=fftshift(fft(B)); stem(B,Xb) figure(12)
spectrogram(Signal,Xb,1000,1000,fd) td=1/fd;

```

```
leg =length(Signal)-1; time=leg/fd; T=(0:td:time); fs=10000; f = 0.1*exp(-T*fs); s =  
conv(Signal,f);  
Signal=s(1:length(Signal));  
Signal=Signal/1000;  
Signal=highpass(Signal,50,fd,'ImpulseResponse','iir','Steep ness',0.5);  
Signal=lowpass(Signal,300,fd,'ImpulseResponse','iir','Steep ness',0.9);  
leg =length(Signal)-1; time=leg/fd; T=(0:td:time);  
figure(7) plot(T,Signal)  
figure(8)  
Xa=fftshift(fft(Signal)); stem(Signal,Xa)  
figure(9)  
spectrogram(Signal,Xa,1000,1000,fd)  
%%      record test signal in .WAV filename = 'test_record.wav';  
audiowrite(filename,Signal,fd);
```

ДОДАТОК Г

ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ НА НАЯВНІСТЬ ТЕКСТОВИХ ЗАПОЗИЧЕНЬ

Назва роботи: Апаратно-програмний комплекс запису аудіо сигналу на
основі акселерометра

Тип роботи: бакалаврська дипломна робота
(БДР, МКР)

Підрозділ кафедра обчислювальної техніки
(кафедра, факультет)

Показники звіту подібності Unicheck

Оригінальність 81,1% Схожість 18,9%

Аналіз звіту подібності (відмітити потрібне):

- Запозичення, виявлені у роботі, оформлені коректно і не містять ознак плагіату.
- Виявлені у роботі запозичення не мають ознак плагіату, але їх надмірна кількість викликає сумніви щодо цінності роботи і відсутності самостійності її виконання автором. Роботу направити на розгляд експертної комісії кафедри.
- Виявлені у роботі запозичення є недобросовісними і мають ознаки плагіату та/або в ній містяться навмисні спотворення тексту, що вказують на спроби приховування недобросовісних запозичень.

Особа, відповідальна за перевірку _____ Захарченко С.М.
(підпис) (прізвище, ініціали)

Ознайомлені з повним звітом подібності, який був згенерований системою Unicheck щодо роботи.

Автор роботи _____ Федоров С. Ю.

Керівник роботи _____ Ткаченко О. М.